



Dicle Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

mühendislikdersi
journal of engineering

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
mühendislikdersi
Cilt: 10 Sayı: 2, Haziran 2019, 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

Gültekin AKTAŞ
Abdulnasır YILDIZ
Kadir TURAN
Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Bilal GÜMÜŞ
Sedat BİNGÖL
Nizamettin HAMİDİ
Mehmet Salih KESKİN
Abdurrahman SAYDUT
Mustafa AYHAN
Orhan ARPA
Muhammet Ali ARSERİM
Fevzi ÖNEN
Orhan KAVAK
İbrahim KAYA
Mehmet Emin ÖNCÜ

Tasarım-Dizgi / Designing-Editing
Mesut ŞEKER, Felat DURSUN

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.

- Hediye AYDIN (Dumlupınar Üniversitesi)
Ali Akın AKYOL (Hacı Bayram Veli Üniversitesi)
Ramazan TEKİN (Batman Üniversitesi)
Yılmaz KAYA (Siirt Üniversitesi)
Yusuf BİLGİÇ (Fırat Üniversitesi)
Mustafa GÜR (Fırat Üniversitesi)
Tayfun ABUT (Muş Alparslan Üniversitesi)
Sencer ÜNAL (Fırat Üniversitesi)
Lale ERGENE (İTÜ)
Elif ÖĞÜT (Kocaeli Üniversitesi)
Nevin ÇELİK (Fırat Üniversitesi)
Olca EKŞİ (Kırklareli Üniversitesi)
H. Lutfi YÜCEL (Fırat Üniversitesi)
Uğur ÇALIGÜLÜ (Fırat Üniversitesi)
Gülgün YILMAZ (Anadolu Üniversitesi)
Ali ATEŞ (Düzce Üniversitesi)
Kadir GÖK (Celal Bayar Üniversitesi)
Metin HÜSEM (KTÜ)
Erdem TÜRKELİ (Ordu Üniversitesi)
Tuna AYDIN (Kırıkkale Üniversitesi)
Zahide BAYER ÖZTÜRK (Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Yusuf YILMAZ (Gaziantep Üniversitesi)
Muhammet Fatih HASOĞLU (Hasan Kalyoncu Üniversitesi)
Hilal AÇAY (Mardin Artuklu Üniversitesi)
Ali Fuat Boz (Sakarya Üniversitesi)
Orhan ÖZDEMİR (İstanbul Üniversitesi)
Özcan ÖNEY (Uşak Üniversitesi)
Ayşegül UÇAR (Fırat Üniversitesi)
Canan ORAL (Amasya Üniversitesi)
Burak YÖN (Munzur Üniversitesi)
Onur ONAT (Munzur Üniversitesi)
Ömer DURSUN (İnönü Üniversitesi)
Muhammed Ali BİNGÖL (TÜBİTAK)

Mehmet Sabır KİRAZ (TÜBİTAK)
Mustafa GÖK (Bartın Üniversitesi)
Ahmet Altunışık (KTÜ)
Teoman KARADAĞ (İnönü Üniversitesi)
Doğay ALTINEL (İstanbul Medeniyet Üniversitesi)
Mete Onur KAMAN (Fırat Üniversitesi)
Nusret TAN (İnönü Üniversitesi)
Ali KIRÇAY (Harran Üniversitesi)
Özgür Koray ŞAHİNGÖZ (İstanbul Kültür Üniversitesi)
Yetkin TATAR (Fırat Üniversitesi)
Mehmet Sıraç ÖZERDEM (DÜ)
Erol KILIÇKAP (DÜ)
Gurbet ÖRÇEN (DÜ)
Mesut HÜSEYİNOĞLU (DÜ)
Haluk KEJANLI (DÜ)
Sedat BİNGÖL (DÜ)
Fevzi ÖNEN (DÜ)
Recep ÇELİK (DÜ)
İbrahim DOLAK (DÜ)
Abdulnasır YILDIZ (DÜ)
Tamer BAĞATUR (DÜ)
Nizamettin HAMİDİ (DÜ)
Recep ÇELİK (DÜ)
Abdulhalim KARAŞİN (DÜ)
Gurbet ÖRÇEN (DÜ)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme (Derleme Makalesi)
Deep Learning and Application Areas (Review Article)
Ferdi DOĞAN, İbrahim TÜRKOĞLU **409**
- Avuç açma/kapama hareketine dayalı EMG işaretlerin dalgacık dönüşümü tabanlı sınıflandırılması (Araştırma Makalesi)
Classification of hand opening/closing based discrete wavelet transform by using EMG (Research Article)
Necmettin SEZGİN **447**
- Pozitif Reel Fonksiyonlar için Devre Uygulamaları (Araştırma Makalesi)
Circuit applications for positive real functions (Research Article)
Bülent Nafi ÖRNEK, Timur DÜZENLİ **457**
- Yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma kullanılarak transformatör sargı en sıcak nokta sıcaklığının modellenmesi ve optimizasyonu (Araştırma Makalesi)
Design of 7 Element ESPAR Antenna for Adaptive Pattern Steering (Research Article)
Engin Ufuk ERGÜL, Cenk GEZEGİN, Aytaç YILDIZ **467**
- Blokzincir teknolojisi: uzlaşma protokolleri (Araştırma Makalesi)
Blockchain technology: consensus protocols (Research Article)
Süleyman KARDAŞ **481**
- Gömülü Derin Öğrenme ile Tehdit İçeren Nesnelerin Gerçek Zamanda Tespiti (Araştırma Makalesi)
Real-Time Detection of Threatening Objects with Embedded Deep Learning (Research Article)
İlhan AYDIN, Mehmet Umut SALUR, Mehmet KARAKÖSE **497**
- Bimetalik CuPt Nanoparçacıkların Stabilitesi, Yapısal ve Elektronik Özellikleri (Araştırma Makalesi)
Stability, Structural and Properties of Bimetallic CuPt Nanoparticles (Research Article)
Mikali ASLAN **511**
- Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı PI-PD ile Twin Rotor Denetimi (Araştırma Makalesi)
Particle Swarm Optimization based PI-PD Control of a Twin Rotor (Research Article)
Cuma Anıl TAKEŞ, Fadi ALYOUSSEF, İbrahim KAYA **523**
- Radio Frequency Energy Harvesting with Frequency Shift Keying Modulation Technique (Research Article)
Mustafa CANSIZ **531**

Kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli sistemler için optimal PI denetleyici tasarımı
(Araştırma Makalesi)
Optimal PI Controller Design for Controlling Stable Processes with Inverse Response and Dead Time (Research Article)
Hayriye CENGİZ, İbrahim KAYA **537**

Filtreleme Tabanlı Öznitelik Seçme Yöntemlerinin Anomali Tabanlı Ağ Saldırısı Tespit Sistemlerine Etkisi (Araştırma Makalesi)
Effect of Filter Based Feature Selection Methods to Network Anomaly Detection Systems (Research Article)
Ömer EMHAN, Mehmet AKIN **549**

Static Hand Gesture Recognition System Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machine (Research Article)
Julius BAMWENDA, Mehmet Sıraç ÖZERDEM **561**

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Bir güneş arabası için farklı kanat profillerinin deneysel olarak değerlendirilmesi
(Araştırma Makalesi)
Experimental evaluation of different airfoils for a solar car (Research Article)
Cem ONAT, Mahmut DAŞKIN, Mehmet ALTUĞ, Abdullah TURAN **569**

Kompozit Malzemeler için İlerlemeli Hasar Analizinde Çözümü Etkileyen Faktörler
(Araştırma Makalesi)
Factors Affecting Solution in Progressive Damage Analysis for Composite Materials (Research Article)
Mete Onur KAMAN, Kadir TURAN **581**

İki tekerlekli ve tek kollu robotik platformun kayan kipli denetimi ve parametre optimizasyonu (Araştırma Makalesi)
Sliding Mode Control and Parameter Optimization of Two-Wheeled and Single-Arm Robotic Platform (Research Article)
Sertaç Emre KARA, Kutluk Bilge ARIKAN **591**

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA5182/AA7075 alaşım bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi (Araştırma Makalesi)
Examination of the mechanical properties of AA5182/AA7075 alloy connections joined by friction stir welding method (Research Article)
Edip ÇETKİN, Yahya Hışman ÇELİK, Şemsettin TEMİZ **603**

Uçak İniş Takımında Kullanılan Al Esaslı Destek (Bracket) Parçasının Hata Analizi
(Araştırma Makalesi)
Failure Analysis of Al-based Bracket Parts Used in Aircraft Landing Gear (Research Article)
Yusuf ER **613**

Boru demeti üzerinden geçen Al₂O₃- su nanoakışkanın pulsatif akışının ısı transferine etkisi (Araştırma Makalesi)
The effect on heat transfer of pulsating flow of the Al₂O₃-water nanofluid passing through the tube bundle (Research Article)
Selma AKÇAY, Ünal AKDAĞ, Oktay HACIHAFIZOĞLU, Doğan DEMİRAL **621**

Kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu (Araştırma Makalesi) <i>The optimization of effects of die parameters on extrusion load by Taguchi method (Research Article)</i> Önder AYER	633
Hidroelektrik santrallerde generatör stator sargı arızaları ve çözüm yöntemleri (Araştırma Makalesi) <i>Generator stator winding faults and solution methods in hydroelectric power plants (Research Article)</i> Gökhan KAHRAMAN, Yahya Taşgın	641
Yüksek Fırın Cürufu Takviyeli Epoksi Kompozitin Kuru Kayma Davranışının İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Dry Sliding Behavior of Blast Furnace Slag Reinforced Epoxy Composite (Research Article)</i> Azmi ERDOĞAN	647
Termal Yaşlandırılmış Kompozit Levhaların Burkulma Davranışlarının Araştırılması (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Buckling Behaviors of Thermally Aged Composite Plates (Research Article)</i> Kadir TURAN, Baran ERKEK	655
Maden Mühendisliği / Mining Engineering	
Lavvar tesisi tikiner atığından kömürün geri kazanımı (Araştırma Makalesi) <i>An investigation of coal recovery from slurry waste of thickener in coal washing plant using Knelson Concentrator (Research Article)</i> Selçuk ÖZGEN, Zeyni ARSOY, Bahri ERSOY, Hakan ÇİFTÇİ	663
Çanakkale bölgesi alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyesi ısı ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi (Araştırma Makalesi) <i>The effect of alkaline source of Canakkale region on thermal and microstructural properties of ceramic sanitaryware body (Research Article)</i> Baran TARHAN, Müge TARHAN	675
Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları (Araştırma Makalesi) <i>Silver nanomaterial synthesis and antimicrobial applications (Research Article)</i> Mehmet Fırat BARAN, Abdurrahman SAYDUT, Adil UMAZ	689
Diyarbakır il merkezi ve çevresinin depremselliği ve zemin özellikleri (Araştırma Makalesi) <i>Seismicity and soil properties of Diyarbakır citycenter and its surroundings (Research Article)</i> Mehmet Şefik İMAMOĞLU	697

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

- Fatih Paşa Cami (Diyarbakır) Sıva ve Harç Örneklerinin Arkeometrik Karakterizasyonu
(Araştırma Makalesi)
*Archaeometric characterization of plaster and mortar samples from Fatih Paşa Mosque
(Diyarbakır, Turkey) (Research Article)*
Murat BEYAZİT, Dursun YILDIZ **709**
- Ahlat ilçesinde yer alan Bezirhane beden duvarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi
(Araştırma Makalesi)
*Analysis of the Bezirhane Main Wall in the Ahlat District by Using the Finite Element
Method (Research Article)*
Ercan IŞIK, Barış ANTEP, İbrahim Baran KARAŞİN, Mehmet Emin ÖNCÜ **721**
- Trapez Labirent Savakların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Kullanılarak Analizi
(Araştırma Makalesi)
*Analysis of Trapezoidal Labyrinth Weirs Using Computation Fluid Dynamics (CFD)
(Research Article)*
Mehmet Cihan AYDIN, Ömer BİLHAN, M. Emin EMİROĞLU **731**
- Jeoid yüksekliklerinin belirlenmesinde ağırlıklı ortalama ve polinomlarla enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)
*Comparison of Weighted Average and Polynomial Interpolation Methods in Geoid
Undulations Determination (Research Article)*
Nazan YILMAZ **743**
- Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi (Araştırma Makalesi)
Investigation of seismic safety of existing workshop buildings (Research Article)
Abdullah GÜNDOĞAY, Hakan ULUTAŞ, Hamide TEKELİ **755**
- Uçucu kül katkısının killi zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi (Araştırma Makalesi)
Effect of fly ash on the mechanical properties of clayey soils (Research Article)
Ermedin TOTİÇ, Fatih GÖKTEPE, Merve YAŞAR **769**
- Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkılı çimentolar
(Araştırma Makalesi)
*Sustainable blended cements containing alternative pozzolan calcined marl
(Research Article)*
Yasemin AKGÜN **779**
- Geosentetik türlerinin inşaat mühendisliğindeki uygulamaları ve sağladığı kolaylıklar
(Araştırma Makalesi)
*Applications of geosynthetic types in civil engineering and facilities provided
(Research Article)*
Mehmet Hayrullah AKYILDIZ **791**

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlemin 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.



Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme

Ferdi DOĞAN*

Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kahta, Adıyaman.
fdogan@adiyaman.edu.tr ORCID:0000-0002-9203-697X, Tel: (416) 725 81 50 (1188)

İbrahim TÜRKÖĞLU

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Merkez, Elazığ.
iturkoglu@firat.edu.tr ORCID: 0000-0003-4938-4167

Geliş: 30.03.2018, Kabul Tarihi: 19.12.2018

Öz

Derin öğrenme makine öğreniminin bir koludur. Makine öğreniminin başlarından günümüze kadar geçen süreçte yapay zekaya olan ilgi giderek artmış ve günümüzde en çok kullanılan yapay zeka algoritmaları olan derin öğrenme mimarilerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Derin öğrenme mimarileri ile birlikte yapay zeka problemlerinin çözümü için pek çok derin öğrenme yaklaşımları geliştirilmiştir. Endüstri, tıp, robotik, görüntü işleme, bilgisayar görmesi, nesne tespiti, ses işleme-tanıma, çeviri, gelecek tahmini, finansal gibi pek çok alanda akıllı çözümler üretmektedir. Bu çalışmada, derin öğrenme mimarileri ve algoritmaları incelenerek, literatürde yapılmış çalışmalar ışığında uygulama alanları temelinde başarımları değerlendirilmiştir. Derin öğrenme mimarileri ile birlikte derin öğrenmede kullanılan kütüphanelere yer verilmiştir. Bununla beraber farklı problemlerin çözümlerine yönelik geliştirilen derin öğrenme mimarileri yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Derin öğrenme, Yapay sinir ağları, Derin CNN, Konvolüsyonel sinir ağları

* Yazışmaların yapılacağı yazar

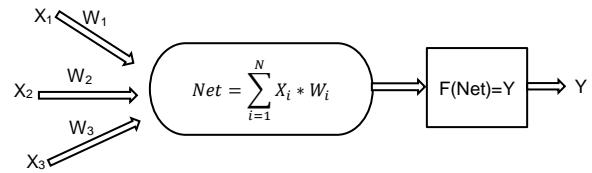
Giriş

Günümüz mühendislik uygulamalarında insan gibi düşünen, insan gibi davranışlar sergileyen uygulamalara ağırlık verilmektedir. İnsan olgusunun mühendislik uygulamalarında yer alması için kullanılan adlandırma makine öğrenmesi olarak bilinir (Goldberg ve Holland, 1988; Quinlan, 1986). İnsanın hayatı boyunca öğrendiği şeylerin günlük yaşamda hayatını kolaylaştırdığı ve deneyimlerine göre hareket ettiğini örnek olarak aynı şekilde makine öğrenmesi gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Makine öğrenmesinin özellikle sanayide üretim kademesinde işlerin hızlandırılması, ürün kalitesinin artırılması, ürünlerin sınıflandırılması vb. gibi işlemleri hızlıca yapması için kullanımı tercih edilmektedir (Sebastiani, 2002; Jordan ve Mitchell, 2015). Bunun dışında güvenlik uygulamalarında, sınıflandırma, medikal teşhis ve tanı uygulamalarında, ileriye dönük tahminsel yaklaşımlarda vb. (Michalski vd, 20013; Sommer ve Paxson, 2010; Buczak ve Guven, 2016; Kourou vd, 2015; Holder vd., 2017) gibi pek çok alanda kullanımı artmakta ve hayatı kolaylaştırmaktadır. Bu gibi uygulamaların gerçekleştirilmesi için kullanılan makine öğrenmesindeki temel nokta insan beynindeki nöronların çalışmasından faydalanılarak benzer bir yaklaşımla makinanın öğrenmesini ve buna göre davranmasını sağlamaktır (Fukushima, 1975). İnsan beynindeki sinir hücrelerinin çalışma mantığından faydalanılarak yapay sinir hücre modeli oluşturulmuştur (Harvey, 1994). Bu yapay sinir hücre modeli zaman içerisinde geliştirilmiş ve makine öğrenmesinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bu yapay sinir hücre mantığı daha ileri seviyelere taşınarak derin öğrenme mantıklı bir model kullanılmaya başlanmıştır (Hinton vd., 2006).

Yapay sinir ağı insan beyninin öğrenme sürecinden etkilenerek ortaya atılmış bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ilk kez 1943 yılında insan beynindeki hücrelerin yapısının matematiksel modellenmesi oluşturularak gerçekleştirilmiştir (McCulloch ve Pitts, 1943).

Burada temel amaç insan beyninin öğrenmesini sağlayan sinir hücrelerinin matematiksel olarak modellenerek bir bilgisayar sisteminin benzer bir yaklaşım sergilemesini sağlamaktır. Bir insanın öğrenmesi yan yana gelen sinapsların birbiriyle olan bağlantılarıyla gerçekleşir (Hebb, 1949). Sayısallaştırılmış bir sinir hücresi mantığı ile yapay sinir ağı oluşturulmuştur.

Yapay sinir ağındaki matematiksel yaklaşımla basit bir sinir ağı modellenmesi yapılmış ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması amaçlanmıştır. Sonraki yıllarda Hebb bu sinir hücrelerinin tekrar eden durumlar karşılığında öğrenmenin arttığını belirlemiştir. Bu işlemde nöronların matematiksel modellenmesi nöronların gücünün artırılması gerektiğini ortaya koymuştur (Hebb 1949).



Şekil 1. Bir Sinir Hücresinin Matematiksel Modeli-Perceptron Sinir Hücresi Modeli

Şekil 1'de bir sinir hücresinin matematiksel modeli gösterilmiştir. Burada X1, X2, X3 ile belirtilen her bir dendriti göstermektedir. Dendritlere ait ağırlıklar ise W1, W2, W3 ile gösterilmektedir (Sarle, 1994). Her bir sinyalin toplandığı Net ise çekirdeği temsil etmektedir. Tüm sinyallerin ağırlıkları ile çarpılarak toplam elde edilmektedir. Elde edilen Net toplam değeri bir sonraki nörona belirli bir eşik değeri ile gönderilmesi için F(Net) transfer fonksiyonu ile gerçekleştirilmekte. F(Net) için kullanılacak 3 temel fonksiyon vardır. Keskin limitli transfer fonksiyonun da giriş değeri 0'dan küçük içe çıkış değeri 0'dır. Giriş değeri 0'dan büyük ise çıkış değeri +1 değerini alır. Eşik değeri fonksiyonunda ise girdi değeri toplamda 0 ve daha küçük ise 0, 1 ve daha büyük girişler için 1, 0 ile 1 arasındaki değerlerde ise kendini alır. Sigmoid fonksiyonu süreklilik gösteren ve türevi alınabilen bir fonksiyondur. Doğrusal olmaması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Girdi

değerine bağlı olarak 0-1 aralığında bir değer alır (Stein, 1956).

1956 yılında Dartmouth'ta düzenlenen bir konferansta zeka ile donatılmış bir bilgisayar programını gerçekleştirme olanağını araştırmayı öne sürmüşlerdir. Böylelikle yapay zeka terimi kullanılmıştır. (J. McCarthy vd., 1956), LISP ile yapılan satranç oyunu oynayan mantık teorisi üzerine kurulu ilk yapay zeka programı üretilmiştir. 1958 yılında Frank Rosenblatt örüntü sınıflandırma için iki katmanlı perceptron ağını önermiştir (Rosenblatt, 1958). Daha sonra Robinson geliştirdiği yapay zeka algoritmasında çözünürlük ilkesine dayanan makine odaklı bir mantık makalesini yayınlamıştır (Robinson, 1965). 1970'li yılların ortalarına kadar yapay sinir ağlarının karanlık döneme girip durma noktasına gelmiştir. Bu dönemde XOR probleminin çözülmemiş olması yapay zekanın geleceği konusunda ciddi kaygılara yol açmıştır. Ve yapay zeka bu noktadan sonra duraklama dönemine girmiştir (Minsky, 1969). 1970 ve 1980'li yıllar arasında bilgiye dayalı sistemler ağırlıkla yer almıştır. 1970'lerin ortalarında XOR probleminin çözümü üzerine yaklaşım getirmiştir (Werbos, 1974). Hopfield neuro biyolojik yapıların makinalar içinde uygulanabilirliği konusunda yayınladığı bir makale ile makine öğrenimine dikkat çekmiştir (Hopfield, 1982). 1986 yılında yayınlanan bir kitapta paralel dağıtık sistemlere ait problemlerin çözümleri ortaya konmuştur. Burada XOR probleminin çözümü de yer almaktadır (McClelland, 1986). Aynı yıl Fukushima yaptığı çalışma ile örüntü tanıma için bir yaklaşım getirmiştir (Fukushima, 1986). Daha sonra Broomhead ve Lowe yaptıkları çalışma ile radial tabanlı sistemleri çok katmanlı sistemlere alternative olarak geliştirmişlerdir (Broomhead ve Lowe, 1988). Probalistik ağlar (Specht 1988) ve genel regresyon ağları (Specht, 1991) ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarla yapay zeka, yeniden yön bulmuştur. Pek çok bilimsel çalışmada kullanılır hale gelmiştir (Yadav, 2015).

Yapay sinir ağı modeli teorisiyle birlikte makine öğrenmesi konusunda bir çağ başlatılmıştır. İnsan düşüncelerine göre karar verme yetisi yapay sinir ağı modeli ile makinelerle de geçmiştir. Lineer denklemlerin çözümünde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Sajikumar ve Thandaveswara, 1999). Literatüre bu yöntemle kazandırılmış pek çok yaklaşım yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılmış ve başarı oranı belirli bir sınırdan kalmıştır (Morris ve Rubin, 1991).

İlk yapılan yapay sinir ağı modelinde tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır (Lippmann, 1987). Elde edilen sonuçlar belirli bir oranda kalmış ve üzerine çıkamamıştır. Daha sonrasında yapılan çalışmalarda geri beslemeli sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Geri beslemeli sinir ağı modeli ile elde edilen sonuçlar üzerinde düzenlemeler yapılarak daha başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağı modelleri ile yapılan çalışmalar artarken halen lineer denklemlerde sağlıklı çalışan bu sistem lineer olmayan sistemlerde çalışmamakta ve doğru sonuçlar üretilmemekteydi (Jain vd., 1996).

Linear olmayan problemlerin çözüme ulaşması çok katmanlı yapay sinir ağı modeli ortaya çıkarmış ve geri beslemeli çok katmanlı sinir ağı modeli ile lineer olmayan denklemler çözüme kavuşmuş. Ve sinir ağlarına olan ilgi yeniden artmıştı (Eberhart ve Kennedy, 1995).

Çok katmanlı sinir ağı modelinin ortaya çıkmasıyla birlikte katman sayısının artırılarak daha iyi sonuçlar vermesi için Convolutional Neural Network (CNN) geliştirilmiştir. Burada yer alan sinir ağı modelinde gizli katmanlar yer almakta ve elde edilen sonuçlar oldukça başarılı olmaktadır (Pan vd., 2000).

Konvolüsyonel sinir ağlarının gelişmesi ile birlikte sınıflandırma işlemleri daha başarılı sonuçlar vermiştir. Konvolüsyon işlemi ile obje üzerindeki hatlar belirli hale getiriliyor ve sinir ağı modeli içine dahil ediliyordu (LeCun ve

Bengio, 1995). 2006 yılında Geoffrey Hinton ve Ruslan Salakhutdinov tarafından yayınlanan makale ile derin öğrenme terimi ortaya atılmış ve derin öğrenme çalışmaları başlamıştır (Hinton ve

Salakhutdinov, 2006). Sinir ağlarının gelişim süreci tablo 1’ de verilmektedir.

Tablo1. Sinir ağlarının tarihsel dönüm noktaları

Yıllar	Gerçekleşen	Yayıncı
1940	Elektronik Beyin (1943)	S. McCulloch, W. Pitts
1950	Perceptron – Tek katmanlı algılayıcı (1957)	M. Hoff, B. Widrow, F. Rosenblatt
1960	Adaline (1960) Multi Layer Perceptron- Çok katmanlı algılayıcı (1965)	A.G. Ivakhnenko, V.G. Lapa
1970	Neocognitron (1979)	K. Fukushima
1980	Backpropagation (1986)	D.Rumelhart, G.Hinton, R.Williams
1990	XOR probleminin ortaya çıkışı (1991) Destek Vektör Makineleri (SVM-Support Vector Machine)	S. Hochreiter Schölkopf, Burges, Vapnik
2000		
2010	Deep Neural Networks – Derin Sinir ağları (2006)	G. Hinton

Materyal ve Yöntem

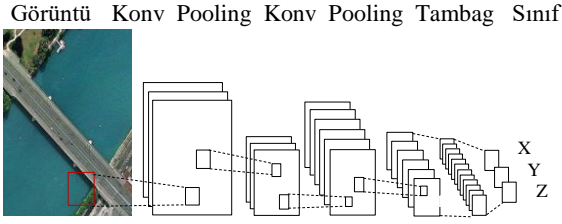
Derin Öğrenme

Hinton’un yapmış olduğu çalışmalarla yayınlamış olduğu makalede yapay sinir ağlarına yeni bir yaklaşım getirmiştir. Bu yaklaşım derin öğrenme (Deep Convolution Neural Network) olarak adlandırılmıştır (Hinton vd., 2006). Konvolüsyonel sinir ağları çok katmanlı sinir ağları olarak bilinmektedir. Bu sinir ağı sistemiyle önemli çalışmalar yapılmış ve başarıları yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Derin konvolüsyonel sinir ağı elde edilen bu başarıları daha yüksek seviyelere çıkararak önemli bir başarıya imza atmıştır (Krizhevsky vd., 2012; LeCun vd., 1998; Szegedy vd., 2015; Zeiler ve Fergus, 2013; Szegedy vd., 2015).

Konvolüsyonel sinir ağı ile sinyal işleme, video analizi, görüntü analizi ve tespiti, sınıflandırma, medikal görüntü işleme gibi pek çok alanda önemli işler çıkarmıştır. Bu sinir ağı kullanılırken bazı aşamalar gerçekleştirilmektedir. Bunlar ön işlem, özellik çıkarımı ve sınıflandırma-tespit şeklinde tanımlanmaktadır. Her bir aşamasında özel yaklaşımlar sergilenmekte ve doğruluğu artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle özellik çıkarım işlemi için pek çok farklı yaklaşım sunulmuştur. Özellik çıkarımı ile tespit edilmesi istenen olaya ait belirgin noktalar

ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Sonraki süreçte ise yapay sinir ağları kullanılarak belirlenen özelliklere ait sınıfın tespiti için sinir ağları kullanılmaktadır (Snoek vd., 2005; Li vd., 2010; Scherer vd., 2010).

Derin öğrenme ile daha önce yapılan pek çok işlem bir arada yürütülerek sonuca gidilmektedir. Burada özellikle ön işlem ve özellik çıkarımı gibi yapılar göz ardı edilmekte ve sinir ağı içerisinde bu işlemler otomatik olarak yapılmaktadır. Derin konvolüsyonel sinir ağında özellik çıkarımı ağı içerisinde belirlenmekte ve katmanlar içerisinde tespit edilmesi istenen yapıya ait özellikler belirlenmektedir. Alt katman ile üst katman arasında bağlantılı hiyerarşik bir yapı bulunmaktadır. Özellik çıkarımı için özel bir safha bulunmamaktadır. Katmanlar içerisindeki yapısında nesne-olaya ait belirgin özellikler belirlenmekte (Hinton ve Salakhutdinov, 2006) ve sonraki katmana aktarılmaktadır (Bengio, 2009). Şekil 2’ de yer alan görüntüde uydur görüntülerini sınıflandırılmasını sağlayan konvolüsyonel sinir ağı modeli yer almaktadır (Doğan ve Türkoğlu, 2017).



Şekil 2. Uydu görüntülerini sınıflandıran konvolüsyonel sinir ağı modeli

Yapay sinir ağlarında sınıflandırma yapılırken kullanılan 3 temel öğrenme yapısı vardır bunlar öğretmenli öğrenme (Supervised) (Shipp vd., 2002), öğretmensiz öğrenme (Unsupervised) (Hastie, 2009) ve takviyeli öğrenmedir (Reinforcement) (Chapelle, 2006).

Öğretmenli öğrenmede yapay sinir ağına giriş verisi olan $y(t)$ verisi, çıkışta $d(t)$ olarak çıkacağı bilgisi verilmiştir. Oluşturulan sinir ağı içerisinde sonuca ulaşmak için ağırlıklar belirlenir. Bu ağırlıklara göre $y(t)$ girdi verisinin $d(t)$ çıkış sonucunu elde edilmesi için verilen örnekler göre ağırlıklar güncellenir. Ağırlıkların güncellenmesi işlemi belirlenen iterasyon sayısı kadar devam ederek öğrenme işlemi gerçekleşir (Shipp vd., 2002).

Öğretmensiz öğrenmede ise bir çıkış bilgisi verilmeksizin giriş görüntüleri ağın girişine uygulanır. Ağdaki katmanlarda sonuç verisi oluşturulur. Buna göre oluşan çıkışlarda benzer değerlere sahip olan sonuçlar bir kümeye alınır. Oluşan her bir küme bir sınıfı temsil eder (Hastie, 2009).

Takviyeli öğrenmede ise ağa giren verinin çıkış verisi ne olması gerektiği konusunda bir bilgi verilmez. Girdi verisinin çıkışı üretilmesi beklenir. Bir öğretmen yardımıyla üretilen çıkışa göre sonucun doğru ya da yanlış olduğu bilgisi verilir. Girdi verisi yanlış sonucu ürettiğinde ağın ağırlıklarının doğru sonucu üretmesi için tekrar güncelleme yapar (Chapelle, 2006).

Her problemin çözümü için aynı yapay sinir ağı modeli kullanılamaz. Yapay sinir ağları

kullanıldıkları yerlere ve amaca göre farklılık göstermektedir. Problemlerin yapısına göre tercih edilecek olan model değişkenlik göstermektedir. Aşağıda yer alan bölümde yapay sinir ağları modelleri görülmektedir. Sınıflandırma, tespit, tanı, tahmin, teşhis vb. sonuçların üretilmesi için farklı sinir ağı modelleri tercih edilir. Bu durum verinin yapısına göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Verinin görüntü, ses, sinyal olması da seçilecek olan sinir ağı modelini belirlemede etkili olmaktadır.

a) Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network)

Çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı olan konvolüsyonel sinir ağı (CNN) özellikle görüntü analizlerinin yapılması için kullanılmaktadır. Hayvan görü sistemine dayanan bir yaklaşımla ortaya atılmıştır (Hubel ve Wiesel, 1968). Filtrelemeye dayalı bir yapıdadır. Kullanılacak olan filtre ile görüntünün özelliğini belirtecek öznitelikleri belirgin hale getirir. Özellikle sınıflandırıcı işlemlerinde başarılı sonuçlar üretmektedir. Filtreler farklı boyut ve değerlerde kullanılarak baskınlık düzeyi az olan özniteliklerin ortaya çıkmasını sağlar (Fukushima, 1982; Simard, 2003). Şekil 2'de konvolüsyonel sinir ağına ait örnek bir mimari görülmektedir.

İlk olarak LeCun ve arkadaşları tarafından gradyan temelli bir yaklaşım sunularak ortaya çıkan ağ yapısına konvolüsyonel sinir ağı adı verilmiştir. Oluşturulan bu yapay sinir ağına ise LeNet adı verilmiştir (LeCun vd., 1998).

Çok katmanlı bu sinir ağı içerisinde birden fazla konvolüsyon katmanı, tam bağlı katman, aktivasyon katmanı, sınıflandırıcı katman, havuzlama katmanı ve bunlara ek katmanlar yer almaktadır. Her katman kendi işlevini yürüterek sınıflandırıcı katmanda sonuç üretilmektedir.

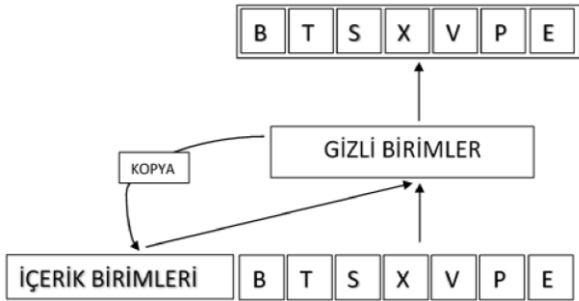
Derin öğrenme yapıları içerisinde en çok kullanılan sinir ağı konvolüsyonel sinir ağlarıdır. Daha çok sınıflandırma ve tespit işlemleri için kullanılmaktadır. Sinir ağı içerisindeki katmanlarla sınıflandırılacak öğelere ait

öznitelikler belirlenerek sınıflandırıcı katmanı ile öğeler sınıflandırılır.

Imagenet tarafından 2012 ve 2014 yılında yapılan gerçekleştirilen en büyük nesne tanıma yarışması olan Büyük Ölçekli Görsel Tanıma yarışmasında en başarılı sonuçlar Konvolüsyonel sinir ağları ile elde edilmiştir (Girshick vd., 2014).

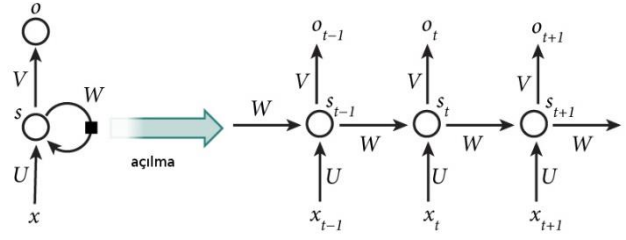
b) Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural Network)

Elman tarafından tasarlanan basit tekrarlayan sinir ağları (Simple Recurrent Network-SRN) dil bilimciler ve psikanaliz için çığır açan bir yaklaşım olmuştur. Elmanın yayınladığı makalede konuşma akışı üzerindeki gizli yapı üzerinde çalışılan bir öğrenme sürecini temsil ediyordu. Örüntü kümelemesinde fiil ve isim kategorizasyonu açık şekilde birbirinden ayrılıyordu. Ayrıca canlı-cansız, insan-hayvan, avcı-yırtıcı gibi kategorilerde ayrılmıştı. (Elman, 1990). Şekil 3'te elman basit tekrarlayan sinir ağı örneği yer almaktadır (Şeker, 2017).



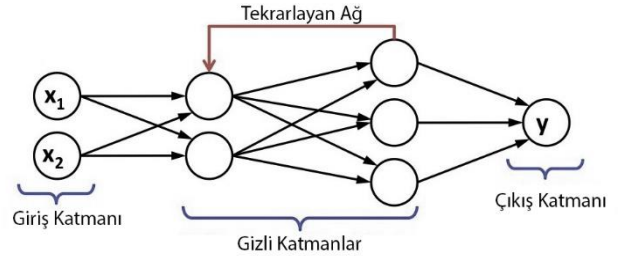
Şekil 3. Basit tekrarlayan ağı mimarisi

Tekrarlayan sinir ağları (RNN), sadece ağı giren giriş örneklerini değil daha önce zaman serisi içerisindeki giriş örneklerini de alırlar. Bu sinir ağının amacı ardıl şekilde gelen verilerin kullanılmasıdır. Geleneksel sinir ağlarında girişler birbirlerinden bağımsız olarak ağı giriş yapar. Ancak tekrarlanan sinir ağlarında dizideki her verinin çıktısı önceki hesaplamalara bağlıdır. Şekil 4'te tekrarlayan sinir ağının nasıl açıldığı gösterilmektedir.



Şekil 4. Tekrarlayan sinir ağının açılması

Tekrarlayan sinir ağları daha çok dil çevrimleri için kullanılmakla birlikte arka arkaya meydana gelen bir dizi yapıdan bir sonraki noktayı tahmin edilmesi işlemini yapar. Buna basitçe örnek vermek gerekirse finansal bir hareketin dizi şeklinde zaman serileri ile giriş verisi olarak kullanılarak sonraki bir zamanda hangi durumda olacağını tahmin edilmesi olarak gösterilebilir. Ya da kurulacak bir cümlede art arda gelen kelimelerin akabinde cümlenin devamının nasıl geleceğini gösteren kelimenin tahmin edilmesi işlemi örnek olarak verilebilir. İki tür RNN vardır bunlar; İki yönlü RNN'ler (Bidirectional RNNs) (Schuster ve Paliwal, 1997) ve Derin RNN'lerdir (Deep RNNs) (Schmidhuber, 1992).



Şekil 5. Tekrarlayan sinir ağı modeli

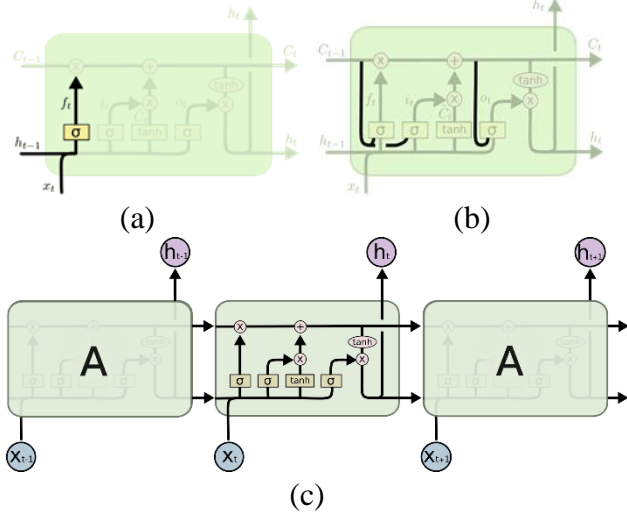
Şekil 5'te tekrarlayan sinir ağı modeli yer almaktadır.

c) Uzun-Kısa Süreli Hafıza (LSTM- Long Short-Term Memory)

RNN mimarilerinde zaman dizeleri aralarında bağlam boşlukları olması halinde sonraki dizinin tahmin edilmesi çok zor bir durumdur (Bengio vd, 1994). Bu durum RNN'ler için oldukça dezavantajlı bir durumdur. Hochreiter ve Schmidhuber yapmış oldukları çalışmada bu durumu ortadan kaldıracak uzun ve kısa süreli

hafıza LSTM öne sürmüşlerdir (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997).

LSTM ağlarının RNN ağlarından bir farkı yoktur. Fakat gizli durumu hesaplamak için LSTM ağlarında bir yapı kullanılır. LSTM içerisinde hafıza hücreleri yer alır. Önceki durumu ve girdi bilgisini tutan bir hücredir. Ağ mimarisi içerisinde yer alan bu hücreler hangi verinin tutulacağına ya da hangi verinin sileneğine karar verirler. Sonraki aşamada ise önceki durumu mevcut bellek ile giriş verisini birleştirirler. Böyle bir yaklaşımla uzun vadeli bağımlılıkların ortadan kaldırılarak veri dizilerinin devam ettirilmesi mümkün kılınır.



Şekil 6. (a)Unutma kapısı (b)Alan gözetleme (c)LSTM bloğu

Şekil 6'da LSTM bloğu yer almaktadır. Burada yer alan gözetleme ve unutma kapısında unutma kapısı durumu sıfırlamak, gözetleme kapısı bağlantıları öğrenmeyi kolaylaştırmak için kullanılmaktadır (Gers vd., 1999; Gers ve Schmidhuber, 2000).

d) Kısıtlı Boltzmann Makinesi (RBM-Restricted Boltzmann Machine)

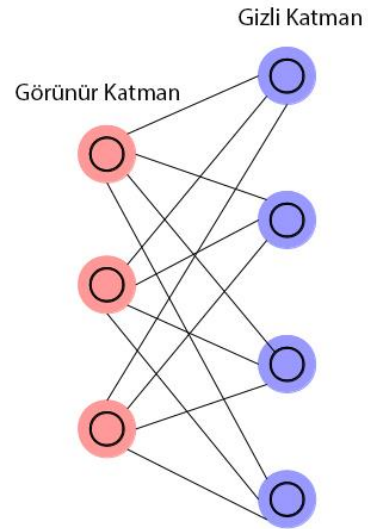
1987 yılında Hinton, Sejnowski ve Ackley tarafından yayınlanan "A Learning Algorithm for Boltzmann Machines" adlı makale ile öğrenme algoritmalarının prensipleri anlatılmıştır. Simetri prensibiyle hücreler arası bağlantılarla yenilemeli kısıtları yapmanın Boltzmann

Makinesi ile olabileceğini ortaya atmışlardır (Ackley vd., 1987).

1993 yılında Kappen yayınladığı "Olasılık Tahmininde Boltzmann Makinelerini Kullanmak: Sinir Ağı Öğrenimi için Genel Bir Yapı" başlıklı makalesinde, Boltzmann Perceptron modeli ile bir uygulama yapmıştır. Bu uygulamada bileşik olasılıksal dağılımları tahmin edebileceğini belirtmiştir (Kappen, 1994).

Sınıflandırma, regresyon ve özellik öğrenimi işlemlerini yapan boltzman makinesi giriş veri seti üzerinde olasılıksal dağılımları öğrenebilen bir sinir ağıdır. İki katmanlı bir yapıya sahiptir. Girdi(görünür) katman ve gizli katman. Örnek bir boltzman makinesi katman yapısı şekil 7'de yer almaktadır.

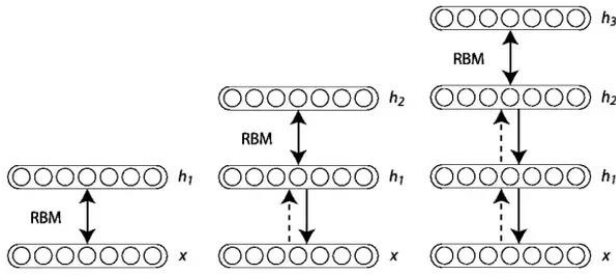
Her bir düğüm bir nörondur. Ve hesaplamalar bu düğümlerde yapılır. Her düğüm gizli katmanda yer alan bir başka düğümler (nöron) ile bağlanır. Aynı katmandaki düğümler birbirleriyle bağlanmazlar. Yani katmanlar arası iletişim yoktur. Bu yüzden kısıtlı boltzman makineleri olarak adlandırılır. Görünür katmanda girdiler hesaplanır ve bir sonraki düğüme o girdiyi iletilip iletilmeyeceği rastgele olarak belirlenir (Hinton, 2012).



Şekil 7.Kısıtlı Boltzmann Makinesi

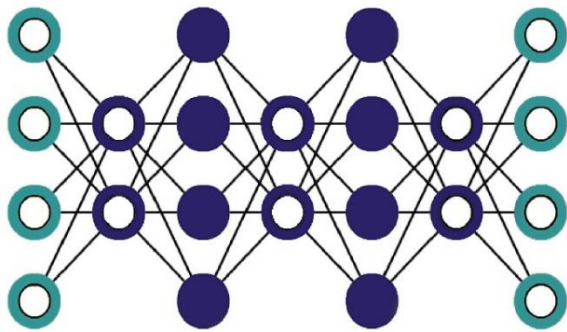
e) Derin İnanç Ağı (DBN-Deep Belief Network)

Hinton RBM'i kullanarak Derin İnanç Ağları (DBN) yığını oluşturmuş ve bu ağın eğitilip eğitilebileceğini göstermiştir. Derin inanç ağları veri setinin hiyerarşik temsilini çıkarmayı amaçlayan grafiksel modellerdir. Örnek bir makine yapısı, şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilde görünür giriş katmanını h ise gizli katmanı temsil eder. Art arda eklenen kısıtlı boltzman makineleri katmanlarından oluşan bir sinir ağı yaklaşımıdır. Kısıtlı boltzman makinelerinin sırasıyla eğitilerek öğrenilmesiyle gerçekleşir. Giriş uygulanan veri ile gizli katman arasında olasılıksal bir dağılım modellenir (Hinton, 2006).



Şekil 8. Ard arda gelen kısıtlı boltzman makineleri örneği

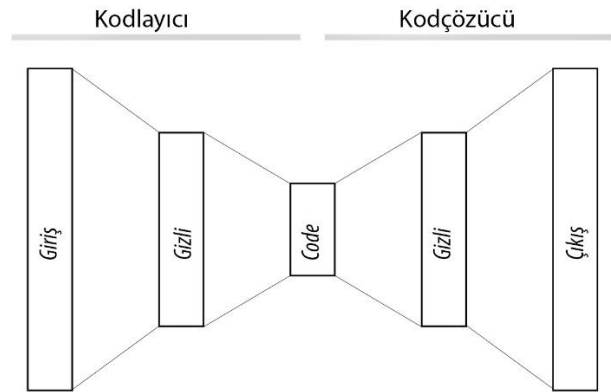
Grafiksel model katmanından oluşan hem yönlendirilmiş hem de yönsüz kenarlı bir sinir ağı sınıfıdır (Boureau, 2008). Örüntü tanıma ve üretme konularında etkindir (Huang vd., 2007; Bengio vd., 2007). Denetimsiz ön tanımlı bir sinir ağıdır. Derin inanç ağı modeli örneği şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Derin inanç ağı modeli

f) Derin Oto-kodlayıcılar (Auto Encoder)

Yapay sinir ağı modellerinden biri olan derin oto kodlayıcılar denetimsiz öğrenme tabanlı makine öğrenme sistemidir. Bu sinir ağı diablo ağı olarak adlandırılmaktadır (Bengio, 2009; Lu, 2013). Yıllarca sinir ağlarının temel bir parçası olmuştur (Hinton ve Zemel, 1994). Derin öğrenme mimarilerinin ortaya çıkmasıyla beraber derin öğrenme mimarileri içerisinde yer almaya başlamıştır (Baldi, 2012). Oto kodlayıcılar giriş veri kümesini sıkıştırarak en az kayıpla en iyi öğrenmeyi amaçlar. İleri beslemeli bir sinir ağıdır (Krizhevsky ve Hinton, 2011). Temel olarak 3 katmandan oluşmaktadır. Girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı. Giriş ve çıkış katmanındaki nöron sayıları eşit olmakla birlikte gizli katmandaki nöron sayısı değişkenlik göstermektedir. Şekil 10'de bu durum gösteren oto kodlayıcı görülmektedir. Gizli katman içerisindeki nöronların sayısı giriş ve çıkış katmanında yer alan nöronlardan daha az olduğunda veri kümesi sıkıştırılır. Böylelikle daha az veri ağ içerisinde yer alır. Bu da ağın performansında etkili olmaktadır (Vincent vd., 2010; Vincent vd., 2008).



Şekil 10. Oto Kodlayıcı şeması

Derin öğrenme katmanları

Giriş (Input) Katmanı

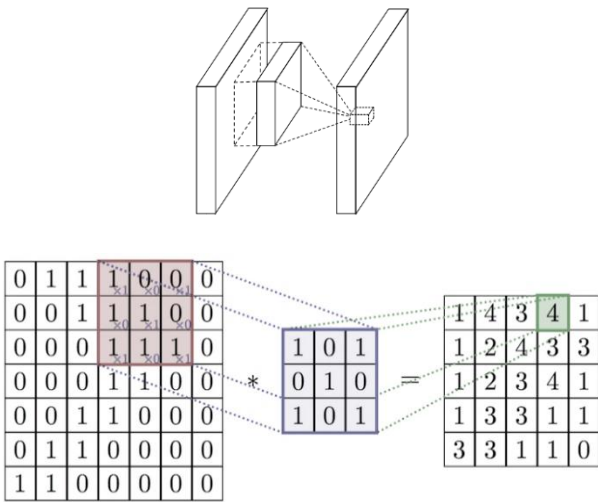
Veri giriş katmanı olarak bilinmektedir. Sinir ağlarında oluşturulacak olan veri seti ağın mimarisine göre belirlenmesi gerekmektedir. Sinir ağına girecek olan her bir örneklem giriş katmanına ağın eğitimi için girdi verisi olarak

kullanılır. Her bir öğeye ait veri arka arkaya gelerek bir veriseti oluşturmaktadır. Bu verisetinin boyutu ağı hızını, test süresini ve bellek ihtiyacını artırmaktadır (Inik ve Ulker, 2017; Tamura vd., 1997).

Konvolüsyon(Convolution) katmanı

Konvolüsyonel sinir ağlarının temelini oluşturan katmandır. Bu katmanda girdi verisi üzerinde daha önceden belirlenmiş bir filtrenin girdi verisi üzerinde gezdirilerek girdinin belirgin özelliklerinin ortaya çıkmasını amaçlamaktadır. Filtreleme sonucunda giriş verisinden daha küçük bir matris elde edilmesini sağlar (Ciresan vd., 2011).

Derin öğrenme algoritmalarında farklı boyutlarda filtrelemeler kullanılarak konvolüsyon yapılmıştır. AlexNet'te kullanılan 11x11 boyutunda matrisler yer almaktadır. ZfNet'te ise 7x7 filtreler kullanılmıştır. GoogleNet, VggNet, ResNet derin öğrenme mimarilerinde ise 5x5, 3x3, 2x2, 1x1 şeklinde filtrelemeler kullanılmıştır. NxN boyutundaki bir matrise MxM boyutunda bir matris uygulanmaktadır. Şekil 11'de konvolüsyon işlemi yer almaktadır.



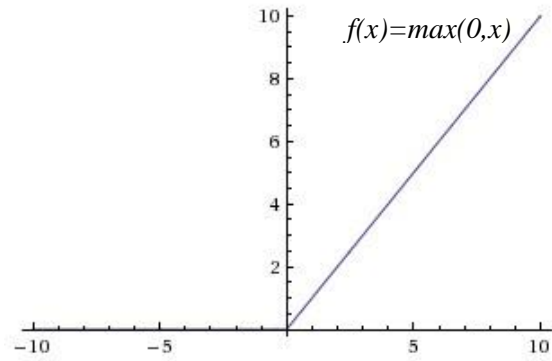
Şekil 11.Konvolüsyon işlemi

Konvolüsyon işlemi derin konvolüsyon sinir ağlarının önemli bir parçasıdır. Bu katmanda yapılan filtreleme işlemi ile öğeye ait özellikler

ağa daha iyi şekilde yansımış olacaktır. Tercih edilecek olan filtre ağı eğitim sürecini ve başarısını doğrudan etkileyecektir (Pang vd., 2017).

Aktivasyon (Relu) katmanı

Genellikle konvolüsyon katmanından sonra aktivasyon katmanı gelir. Aktivasyon fonksiyonu olarak simoid, hiperbolik tanjant, sinüs, step, eşik değer fonksiyonları kullanılmaktadır. Çok katmanlı yapay sinir ağları içerisinde doğrusal olmayan dönüşümler kullanılmaktadır. Pek çok aktivasyon fonksiyonu olmasına karşın derin öğrenme mimarilerinde Relu (Rectified Linear Unit) (Nair ve Hinton 2010) $f(x) = \max(0, x)$ fonksiyonu kullanılmaktadır (Krizhevsky vd., 2012).



Şekil 12.Relu Aktivasyon fonksiyonu

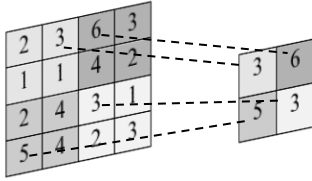
Aktivasyon işlemi sonucunda elde edilen değer negatif ise 0 pozitif ise 1 değerini alır. Bu durum şekil 12'te gösterilmiştir (Jarrett vd., 2009).

Havuzlama (Pooling) Katmanı

Daha çok relu katmanı sonrasında yer alan havuzlama katmanı verilerin indirgenerek ağda sonraki katman için giriş boyutunu azaltır. Havuzlama işlemi ile veri üzerinde kayıplar oluşmaktadır. Ancak ağda dolaşacak olan veri miktarındaki azalma ağı daha hızlı olmasını sağlamaktadır. Ağdaki veri miktarının azalması ağdaki hesaplama miktarlarının ve kullanılacak olan bellek miktarının da azalması anlamına gelmektedir (Hinton vd., 2012).

Havuzlama katmanında uygun bir filtre kullanılarak işlem yapılır. Kullanılacak olan

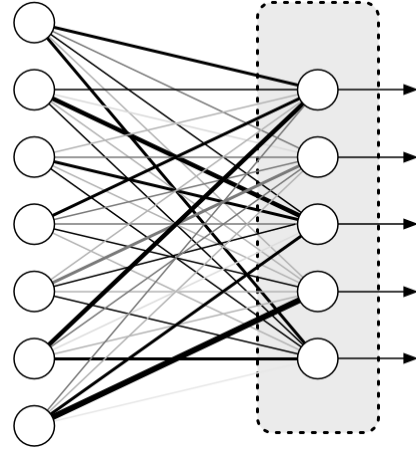
$N \times N$ boyutlu bir filtre veri havuzunda gezdirilerek matris içerisinde kalan uygun değerlerin bulunmasını sağlar. Değerin elde edilmesi için en çok kullanılan ortalama (average pooling) ve en büyük değer (max pooling) işlemleridir. En büyük değer havuzlamasında $N \times N$ boyutlu matris içerisinde kalan en büyük değer oluşturulacak olan yeni veri matrisinin 1×1 boyutundaki yeni değeri olur. Bu durum şekil 13'de gösterilmektedir (Zeiler ve Fergus, 2013). Ortalama havuzlamada ise $N \times N$ boyutundaki matris içerisinde kalan tüm değerlerin ortalaması alınarak elde edilecek yeni veri matrisinin 1×1 boyutundaki değerini içerir.



Şekil 13. En büyük değer havuzlama örneği

Tam Bağlı (Full-Connected) Katman

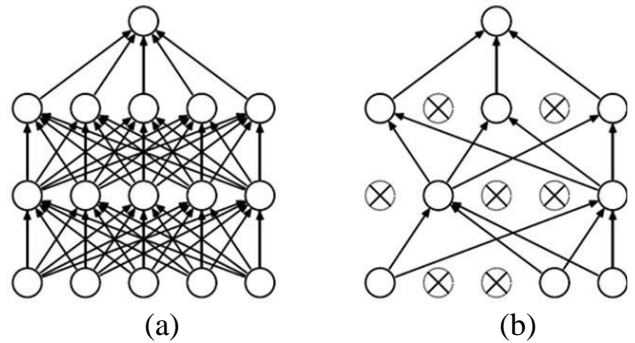
Bu katmandaki tüm nöronlar bir dizi şeklinde görünür. Katmandaki nöronların tamamı bu katmana bağlı önceki katmandaki aktivasyonların hepsine tam bağlı durumdadır. Tam bağlı katmanın özelliği önceki katmana bağlı olarak ortaya çıkar. Nesneyi belirleyecek olan özelliklerin hangi sınıfla ilişkili olduğu belirlenir. Bir örüntü ele alınacak olursa; örüntüdeki bir insanın tespit edilmesini sağlayan özellikler aktivasyon haritalarında yüksek değere sahip nöronlarda yer alacaktır. Bir tam bağlı katman bir sınıfla ilişki derecesi yüksek olan yüksek seviyeli özelliklere bakar. Bu özellikleri belirten ağırlıkların olduğu nöronlara bakılarak hangi sınıfa ait olduğu ortaya çıkmış olur (Lin vd., 2013; LeCun ve Bengio, 1995). Şekil 14'de tam bağlı katman yapısı örneği görülmektedir.



Şekil 14. Tam bağlı (full connected) katmanı

Dropout Katmanı

Çok katmanlı yapay sinir ağlarında sinir ağı eğitilirken aşırı öğrenme adı verilen ağı ezberlenmesi olayı gerçekleşir. Bu istenmeyen bir durumdur. Ağı ezberlenmesinin önüne geçmek için ağda ezber yapan bazı düğümlerin ortadan kaldırılmasıdır. Böylelikle ağı ezberlenmesi ortadan kaldırılmaya çalışılır (Srivastava vd., 2014). Dropout katmanı tam bağlı katmanlar için bir düzenleme katmanı olarak Hinton ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Dropout işlemi, sinir ağının düzenlenmesi yeteneğini artırdığı yapılan test performanslarıyla ortaya konmuştur (Hinton vd., 2012). Şekil 15'de çok katmanlı sinir ağı ve dropout yapılmış sinir ağı yapısı gösterilmektedir. Dropout işlemi yapılmış olan sağdaki şekilde bazı düğümler ortadan kaldırılmış olarak görülmektedir.



Şekil 15. (a)Yapay sinir ağı (b)Dropout uygulanmış sinir ağı (Çarpı atılmış nöronlar ağdan çıkarılmıştır)

Sınıflandırma (Classification) katmanı

Tam bağlı katmandan sonra gelen sınıflandırma katmanı sınıflandırılması yapılacak öge sayısı kadar sonuç üretir. Bu sonuçların her biri bir sınıfı temsil eder. Son katman olarak bilinen sınıflandırıcı katman için farklı türde sınıflandırıcılar kullanılsa da genellikle softmax sınıflandırıcı kullanılır (Ciresan, 2001).

Yumuşatma (Softmax) Katmanı

Sınıflandırma katmanı olarak yer alan softmax katmanı kendisinden önce gelen tam bağlı katmandan girdi verisini alır ve sınıflandırmak için kullanır. Olasılıksal bir girdi verisinin belirli bir sınıfa ait olma durumunu ortaya koyar. Hangi sınıfa daha yakın olduğuna dair değer üretir. Derin öğrenme ağı içerisinde üretilen olasılıksal hesaplama gerçekleştirerek her bir sınıf için olasılık değerini çıkarır. Bu işlemler için çapraz etnropi kullanılır (Tang, 2013).

Normalizasyon (Normalization) Katmanı

Derin konvolüsyonel sinir ağlarının eğitilmesi hesapsal olarak ciddi bir süreç almaktadır. Eğitim süresinin azaltılmasının bir yolu nöronların aktivasyonlarını normalize etmektir. Normalizasyon katmanı geri beslemeli ağlarda gizli katmanlardaki durumları stabil hale getirmede oldukça etkilidir. Genellikle Relu katmanı sonrasında normalleştirme gerçekleştirilir (Li vd., 2015).

Normalizasyon ağın performansını etkilemektedir. Bu sebeple katmanlardan gelen veriler belirli bir düzen içerisinde olmalıdır. Girdi verileri çok büyük ya da çok küçük içerebilir. Bu değerlerin normalize edilerek belirli aralıkta kullanılması eğitim ve süreç açısından önemlidir. Girdi verilerinin normalize edilerek belirli aralıkta temsil edilmesi gereklidir (Ioffe ve Szegedy, 2015).

Derin Öğrenme Algoritmaları

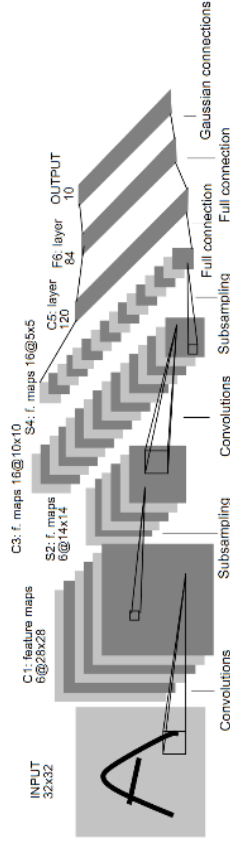
Gradyan temelli Konvolüsyonel sinir ağları kullanılarak 0'dan 9'a kadar olan el yazısı sayılarını öğrenerek sayıların sınıflandırılmasını sağlayan ilk temel derin öğrenme ağı LeNet'tir. 2006 yılında derin öğrenme yapısı gösterilmiş olsa da (Hinton, 2006) derin öğrenme daha çok ImageNet yarışması ile popüler hale gelmiştir. ImageNet tarafından yapılan yarışmada görüntü tanıma için algoritmalar ortaya konmuştur. Bu algoritmalarda derin öğrenme mimarileri ön plana çıkmıştır. Derin öğrenme mimarileri ile nesne tanımda ortaya çıkan sonuçlar oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Derin öğrenme mimarileri örüntü tanıma, tespit, sınıflandırmanın yanı sıra gelecek tahmini, ilaç üretim, sözlük, sinyal işleme, tıbbi pek çok alanda, finans sektöründe, savunma sanayinde kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında derin öğrenme yapılarının bilinen pek çok yöntemden çok daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

a. LeNet

LeCun tarafından hazırlanmış ilk konvolüsyonel yapay sinir ağı olarak bilinmektedir. LeCun banka çekleri üzerindeki sayıları tanımlamak için geliştirdikleri bu ağa LeNet adını vermiştir (LeCun vd., 1998). 0-9 arasındaki sayıları sınıflandırdığı için 10 sınıflı bir yumuşatma katmanı kullanılmaktadır. Bu ağ içerisinde Average pooling (ortalama havuzlama) kullanılmıştır.

LeNet mimarisi içerisinde tambağlı bir katman, relu(aktivasyon) katmanı, havuzlama katmanı, yumuşak bağlı katmanlardan oluşmaktadır.

Şekil 16'da LeNet mimarisinin yapısı görülmektedir. Burada bir dijit verisinin sınıflandırılması için bir mimari örneği gösterilmektedir. Giriş verisi 32x32 piksellik bir görüntüyü içermektedir.



Şekil 16. LeNet mimarisi

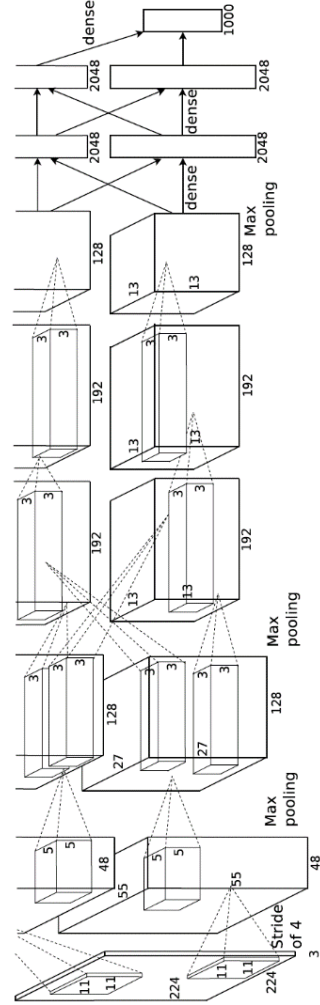
LeNet mimarisi MNIST veritabanını kullanarak rakamların tanınması için kullanılmıştır. LeNet mimarisi şekil 16’de gösterilmiştir.

b. AlexNet

2012 yılında yapılan 2012 ILSVRC ImageNet Büyük ölçekli görsel tanıma yarışmasında AlexNet (Krizhevsky vd. 2012) derin öğrenme mimarisi birinci olmuştur. Örüntü tanımada hata oranını %26’lardan %15’lere indirgemmiştir. Bu başarıyı AlexNet’in en çok bilinen derin öğrenme mimarilerinden biri haline getirmiştir.

Doğrusal olmayan fonksiyonlar için aktivasyon fonksiyonu (Relu) kullanıldı. Bu aktivasyon fonksiyonu klasik tanh fonksiyonundan daha hızlı olduğundan eğitim süresini kısaltmak için kullanılmıştır. Eğitim sürecinde aşırı öğrenme ve takılmaları önlemek için bırakma(dropout) katmanı kullanıldı. Ağırlık gecikmeleri ve momentum değerleri için gradyan iniş modeli kullanıldı. 25 katmandan oluşan AlexNet derin

öğrenme ağı içerisinde 5 temel konvolüsyon katmanı yer almaktadır. Genellikle her konvolüsyon katmanından sonra bir aktivasyon katmanı olan relu katmanı kullanılmaktadır. Bununla beraber giriş katmanı, normalizasyon katmanı, havuzlama(pooling) katmanı, dropout katmanı, tam bağlı(full-connected) katman, yumuşak bağlı (SoftMax) katman ve çıkış katmanı yer almaktadır (Iandola vd., 2016; You vd., 2017; Krizhevsky vd., 2012).



Şekil 17. AlexNet Mimarisi

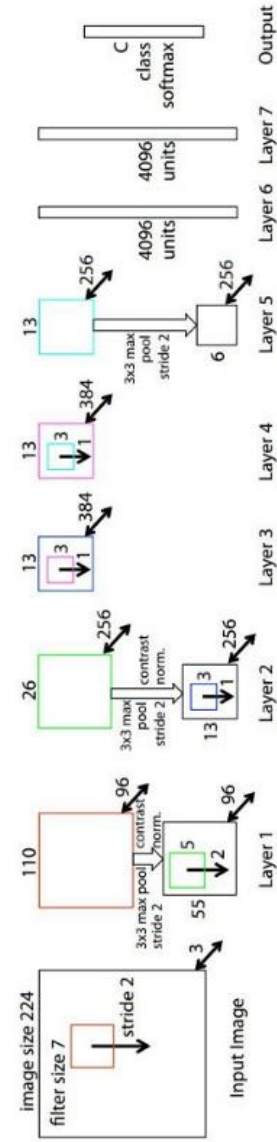
AlexNet mimarisi şekil 17’de görülmektedir. Bu çok katmanlı yapıda her katmanın kendi işlemini yaptıktan sonra bir sonraki katmana verileri aktarması gerekmektedir. Giriş verisi ağ içerisinde aktarılırken katmanlar arasında veri miktarları oldukça fazladır. Normal bir işlemci

ile bu işlemlerin yürütülmesi oldukça zaman almaktadır. Bu işlem sürecini düşürmek için GPU'lar kullanılması daha fazla işlemin aynı anda yapılması anlamına geleceğinden, derin öğrenme mimarilerinde GPU (Grafical Processing Unit) grafik işlemcileri kullanılmaktadır (Krizhevsky vd., 2012).

c. ZF Net

Derin öğrenme mimarileri AlexNet ile popüler hale gelmeye başlamış ve 2012 yılından itibaren farklı mimariler ortaya çıkmaya başlamıştır. Matthew Zeiler ve Rob Fergus 2013 ILSVRC ImageNet yarışması için ZFNet adında bir mimari geliştirmiş ve bu yarışmada elde ettiği %11.2 hata oranı ile yarışmayı kazanmıştır.

Şekil 18'de yer alan ZFNet; AlexNet mimarisinin üzerinde değişiklikler yapılarak ortaya çıkan bir mimari yapısı vardır. AlexNet'te giriş katmanında bulunan konvolüsyon işlemi için 11x11 filtre kullanılırken ZFNet'te kullanılan filtre 7x7 matrislidir. Aktivasyon için RELUs fonksiyonu, eğitim için gradyan iniş, hata kaybı için çarpaz entropi kaybı kullanılmıştır. ZFNet mimarisinde Deconvolutional Network adında bir görselleştirme tekniği geliştirilmiştir. Bu teknik ile mimariye farklı bir boyut getirilmiş ve derin öğrenme mimarisini daha başarılı bir noktaya taşımıştır (Zeiler ve Fergus, 2013).



Şekil 18.ZFNet mimarisi

d. VggNet

2014 yılında geliştirilen bir derin öğrenme modelidir. ImageNet 2014 yarışmasında %7.3 hata oranı ile oldukça başarılı bir performans sergilemiştir. Simonyan ve Zisserman tarafından oxford üniversitesinde tasarlanan bu mimari 6 farklı mimari ortaya koymuşlardır. Bu 6 farklı modelde 11, 13, 16, 19 konvolüsyon katmanlıdan oluşmaktadır (Simonyan ve Zisserman, 2015).

Önceki derin öğrenme mimarilerinde yer alan konvolüsyonlardan farklı olarak burada 2x2 ve 3x3'lük filtreler uygulanmıştır. Tablo 2'de bu filtreler gösterilmiştir.

Tablo2. VggNet model yapısı

ConvNet Configuration					
A	A-LRN	B	C	D	E
11 weight layers	11 weight layers	13 weight layers	16 weight layers	16 weight layers	19 weight layers
input (224 × 224 RGB image)					
conv3-64	conv3-64 LRN	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64
maxpool					
conv3-128	conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128
maxpool					
conv3-256	conv3-256	conv3-256	conv3-256 conv1-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv1-256 conv1-256
conv3-256	conv3-256	conv3-256	conv3-256	conv3-256	conv3-256
maxpool					
conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512 conv1-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512
conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512
maxpool					
conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512 conv1-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512
conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512	conv3-512
maxpool					
FC-4096					
FC-4096					
FC-1000					
soft-max					

Tablo3. VGGNet tek bir test ölçeğinde hata oranları

VggNet Modeli (Tablo2)	smallest image side		top-1 valerror (%)	top-5 valerror (%)
	train (S)	test (Q)		
A	256	256	29.6	10.4
A-LRN	256	256	29.7	10.5
B	256	256	28.7	9.9
C	256	256	28.1	9.4
	384	384	28.1	9.3
	[256;512]	384	27.3	8.8
D	256	56	27.0	8.8
	384	384	26.8	8.7
	[256; 512]	84	25.6	8.1
C	256	256	27.3	9.0
	384	384	26.9	8.7
	[256; 512]	384	25.5	8.0

Bu mimaride art arda bağlı bulunan 3 tam bağlı(FC-FullConnected) katman yer almaktadır. Son tam bağlı katmanda 1000 nöron yer almakta olup çıkış için üretilecek sınıflandırma katmanında ise yumuşak bağlı(SoftMax) katmanı bulunmaktadır. Tablo 2’de yer alan modellerin elde etmiş oldukları hata oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Bu modellerden Vgg-16(Han vd., 2015; Ren vd., 2015) ve Vgg-19 (Gatys vd., 2015) modelleri literatürde daha fazla yer almaktadır.

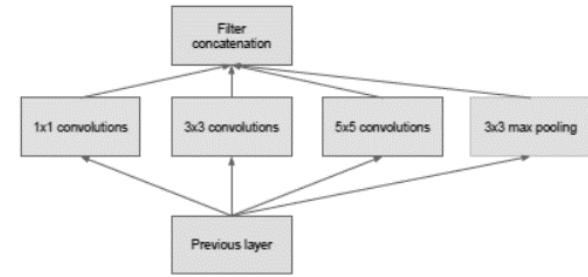
e. GoogleNet

2014 yılında yapılan ILSVRC yarışmasının galibi olmuştur. GoogleNet (Inception) (Szegedy vd, 2015) kompleks bir yapısı vardır. %5.7 gibi düşük bir hata oranı ile yüksek bir başarımla elde etmiştir. 22 katman derinliğe sahip olup GoogleNet 144 katmandan oluşan bir yapıya sahiptir. Inception modülü ile farklı boyutlarda filtreleme yaparak daha önce ortaya çıkan derin öğrenme mimarilerinden farklı bir oluşum ortaya koymuştur. Şekil 19’de GoogleNet naive ve inception modülü yer almaktadır.

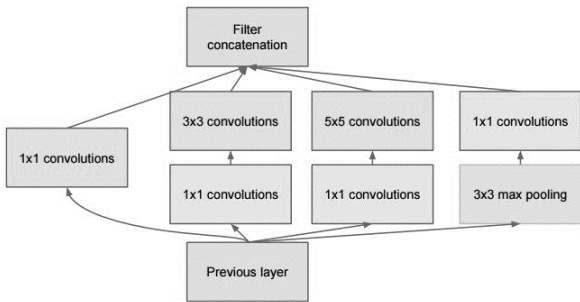
Inception modülü ile birlikte farklı boyutlarda filtrelemeler yapılmıştır. Bu filtrelemeler boyut azaltmak için kullanılan filtrelerdir. AlexNetten 12 kat daha az parametre içermektedir. Kullanılan katman sayısı bağımsız yapı taşlarına göre farklılık gösterebilmektedir.

Inception modülünde yer alan filtre elemanları 1x1, 3x3, 5x5 şeklindedir. Diğer derin öğrenme mimarilerinde yer alan art arda yer alan katmansal yapıdan farklılaşarak derinlikli bir yapı oluşturulmuştur. Bu derinliği oluşturan modüler bir filtreleme mantığı getirilmiştir.

GoogleNet mimari yapısı Şekil 20’de gösterilmiştir.

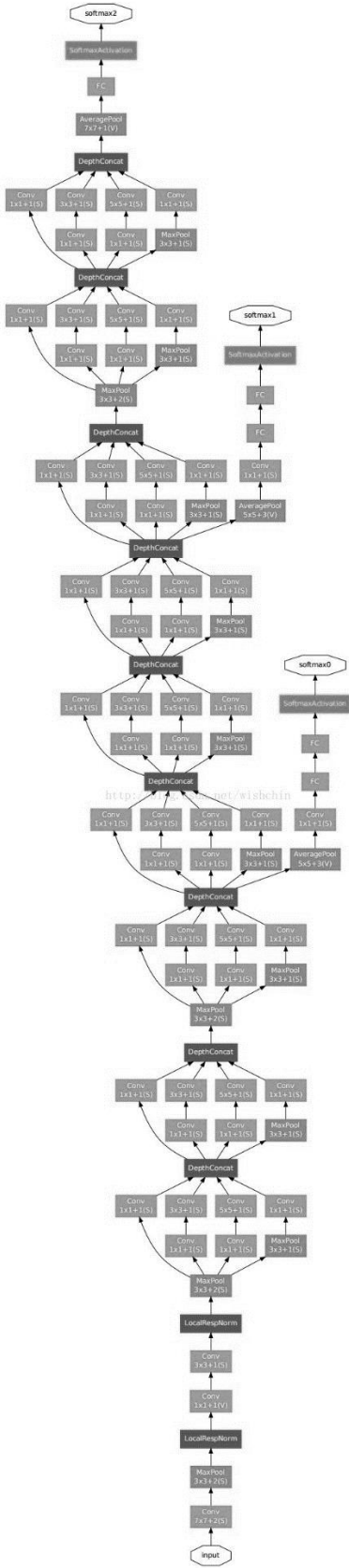


Naive Modülü



Inception Modülü

Şekil 19. GoogleNet inception boyut azaltma modülü

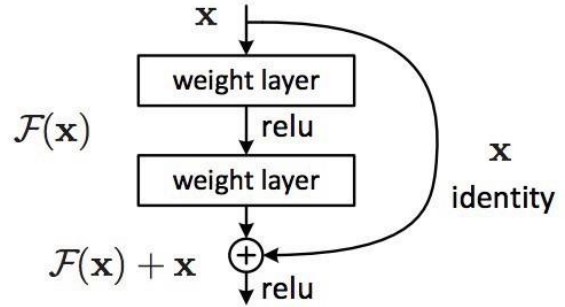


Şekil 20. GoogleNet mimarisi

f. ResNet

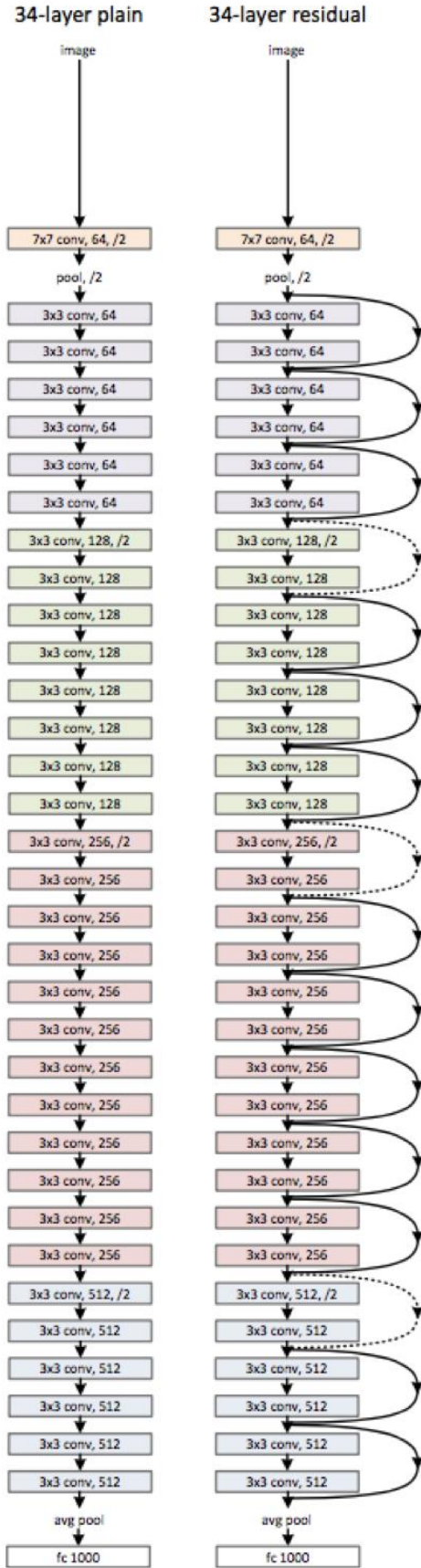
Microsoft Resnet 2015 yılında gerçekleştirilen ILSVRC ImageNet yarışması kazananı olmuştur. Bu yarışmada %3.6 gibi bir hata oranı yakalamıştır. İnsanlar ortalama %5-%10 hata oranı ile görüntüyü sınıflandırırken %3.6'lık bir hata oranı insandan daha iyi görsel tanıma yaptığını göstermiştir. Daha önceki mimarilerin üzerinde bir derinliğe sahip olan bu mimarinin katman sayısı diğer derin öğrenme mimarilerindeki katman sayılarından fazladır (Russakovsky, 2015).

Microsoft ResNet mimarisinde iki RELU ile doğrusal katman arasında bir kez kalıntı değeri (Residual Value) beslenen bir bloktan (Residual Block) oluşturulmuştur. Bu yapı ile öğrenme daha hızlı şekilde gerçekleşeceği düşünülmüştür. Şekil 21'de bu kalıntı modülü görülmektedir (He vd., 2016).



Şekil 21. ResNet kalıntı modülü

Resnet 152 katmandan oluşan bir mimaridir. Şekil 22'te örnek Resnet mimarisi görülmektedir.



Şekil 22.Resnet Mimarisi

Tablo 4.Derin öğrenme algoritmaları

Yıl	Derin öğrenme Algoritması	Geliştirici	Hata Oranı	Parametre sayısı
1998	LeNet	Yann LeCun ve ark		60 Bin
2012	AlexNET	Alex Krizhevsky, Geoffrey Hinton, Ilya Sutskever	% 15.3	60 Mil.
2013	ZFNet	Matthew Zeiler ve Rob Fergus	% 14.8	
2014	GoogLeNet	Google	% 6.67	4 Mil.
2014	VGG Net	Simonyan, Zisserman	% 7.3	138 Mil.
2015	ResNet	Kaiming He	% 3.6	

Tablo 4’te derin öğrenme algoritmalarının ortaya çıkış tarihleri parametre sayıları ve hata oranları yer almaktadır.

Derin Öğrenme Kütüphaneleri

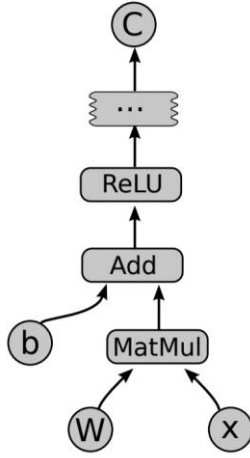
a. TensorFlow

2011 yılında TensorFlow Google araştırma ekibi olan Google Brain tarafından geliştirilen bir derin öğrenme kütüphanesidir. Bu grup ilk olarak DistBelief makine sistemini oluşturmuşlardır (Abadi vd., 2016).

DistBelief ile öğretmensiz öğrenme, dil çevrimi (Mikolov vd., 2013; Vinyals vd., 2015), görüntü sınıflandırması ve nesne tespiti (Frome vd., 2013), video sınıflandırması (Karpathy vd., 2014), konuşma tanıma (Hinton vd., 2012; Zeiler vd., 2013), dizi tahmini (Sutskever, 2014), yaya saptama (Angelova vd, 2015), takviyeli öğrenme (Nair vd, 2015) gibi pek çok çalışmada kullanılmıştır.

Daha sonra makine öğrenimini daha etkin hale getirebilecek için ikinci nesil derin öğrenme kütüphanesi olan TensorFlow’u geliştirmişlerdir. Bu kütüphanedeki yapıda temel olarak bir dizi hesaplamalardan oluşan veri akış grafiklerinden oluşmaktadır. Bu akış grafikleri düğümlerin durumunu korumak, güncellemek için dallanma

ve döngü kontrolüne izin veren bir veri akışı hesaplamasını sunar. Her bir düğüm 0 veya daha fazla girişe ve 0 veya daha fazla çıkışa sahip olan işlem örneği gösterir. Şekil 23'te görülmektedir.



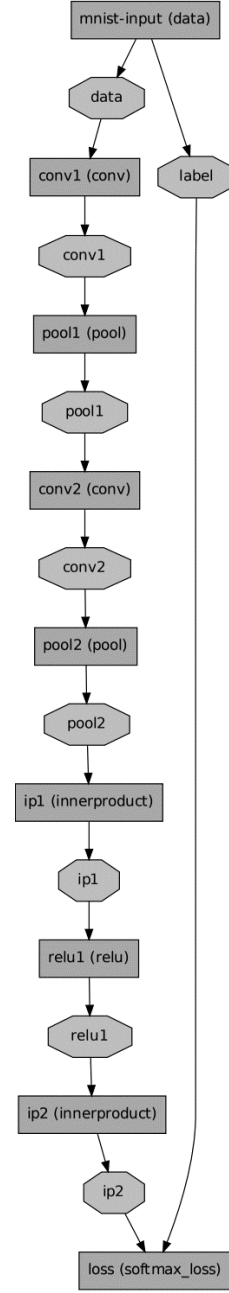
Şekil 23. Örnek bir akış grafiği

Açık kaynaklı yapısı ile geniş çaplı şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Mobil cihazlar, tabletler, telefonlar, büyük ölçekli dağıtık sistemlerde, GPU kartları gibi pek çok hesaplama aygıtlarında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilmesi mümkündür (Abadi vd., 2016).

b. Caffe

Berkley üniversitesinde geliştirilmiş olan Caffe (Convolution Architecture For Feature Extraction) açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesidir. Bununla beraber GPU kullanımına olanak verir. Ve açık kaynak kodlu olması sebebiyle ticari kullanıma olanak veren bir imkan sunar.

CaffeNet'te konvülyasyon, havuzlama, iç-gizli katmanlar, relu, normalizasyon, elemanlı işlemler, softmax ve hinge gibi bir dizi katman tipi sunmaktadır (Jia vd., 2014). Şekil 24'te bir CafeNet örneği gösterilmektedir.



Şekil 24. MNIST veritabanı sınıflandırmasını yapan bir cafe modeli

C++, CUDA, Python, Matlab yazılımlarında yer alan bir derin öğrenme kütüphanesidir. Model Zoo adında önceden eğitilmiş kütüphaneleri mevcuttur.

c. Theano

Makine öğrenim algoritmalarının verimli ve hızlı şekilde gelişimini desteklemek için LISA laboratuvarlarında yazılmıştır. Theano, bir yunan

matematikçisinden adını almıştır. Çok boyutlu matrisleri barındıran matematiksel ifadelerin optimize edilmesi ve verimli şekilde kullanılmasını sağlayan bir Python kütüphanesidir. Açık kaynak kodludur. Yapay sinir ağı sınıfları yerine sınıf oluşturmayı gösteren derin öğrenme öğreticisi mevcuttur (The Theano Development Team, 2016; Bastien vd., 2012).

d. *Torch*

Ronan Collobert ve arkadaşları tarafından derin öğrenme ve makine öğrenmesine destek olmak için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir kütüphanedir. Birkaç satır kod ile çok kolay şekilde derin öğrenme yapısı oluşturulabilmektedir. Sayısal optimizasyon yapılması mümkündür (Collobert vd., 2011). Açık kaynak kodlu olması sebebiyle ticari olarak kullanılabilir. Bunlara örnek olarak Facebook, twitter, Google DeepMind verilebilir. Pek çok üniversite ve araştırma merkezleri tarafından kullanılmaktadır.

e. *DeepLearning4j*

Derin öğrenme kütüphanelerinden biri olan DeepLearning4j(DL4J) Java ve Scala için yazılan açık kaynak kodları verilen bir derin öğrenme kütüphanesini içerir (Team D.J.D. 2016). Matlab, Python, C++ gibi dillerde yazılanların aksine java ortamında yer almaktadır. Pek çok derin öğrenme mimarilerine alternatif bir dil ile makine öğrenimine destek verir. Dağıtık CPU ve GPU platformlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Kochura vd., 2017).

f. *Keras*

Phyton dilinde yazılmış Theano ve TensorFlow için kullanılan bir kütüphanedir. Google yazılım mühendisi Francois Chollet tarafından yazılmıştır. Keras gelişmiş algoritmaları optimize eder, normalleştirme rutinleri ile destekleyen, aktivasyon fonksiyonları olan en iyi

seçim olanakları sunar. TensorFlow ve Theano desteklese de giriş verilerinin boyutları farklıdır bu yüzden her iki kütüphane içinde arka uçta çalışabilmesi için dikkatli şekilde tasarlanmalıdır (Chollet, 2016).

g. *Lasagne*

Python da yazılan ve Theano tepesini oluşturmak için geliştirilen bir kütüphanedir. Keras'a alternatif olarak geliştirilmiş bir kütüphanedir. Theano kütüphanesini kullanımını daha kolay hale getirmek için hazırlanmıştır. Performansı Theano ile aynıdır (Jones, 2015).

h. *Cognitive Network Toolkit (CNTK)*

Microsoft tarafından derin öğrenmeyi destekleyen Visual Studio da kullanılan açık kaynaklı kütüphanedir. İleri beslemeli derin sinir ağları, konvolüsyonel sinir ağları, tekrarlayan sinir ağları gibi çok bilinen ağ modellerinin kolayca gerçekleştirilmesini sağlar (Yu vd., 2014).

i. *DIGIT*

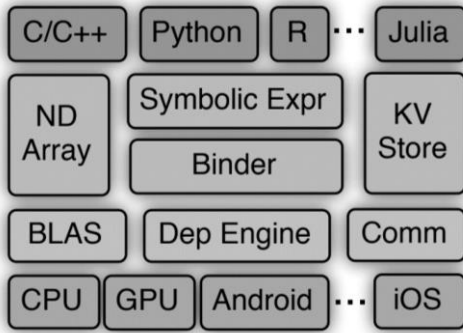
Nvidia firması tarafından geliştirilmiştir. Derin öğrenme ağlarını geliştirmek için oluşturulan web tabanlı bir araçtır. Bir metin dosyası kullanır. Bu metin dosyası ağı oluşturulması için parametrelerin tanımlanması için kullanılır. Bir programlama dili yoktur. Ağ görselleştirme aracına sahiptir. Öğrenme sürecini görselleştirir. Metin dosyasındaki hataları kolayca ortaya çıkarır. GPU desteği sağlar (Nvidia, 2016).

j. *Pylearn2*

Montreal üniversitesi LISA laboratuvarında geliştirilen makine öğrenme kütüphanesidir. Makine öğrenme algoritmalarının yanı sıra Pythonda yazılan derin öğrenme koleksiyonu sunar. Bu kütüphane ile genişletilebilirlik ve esnekliğe odaklanılmıştır. Hedef kullanıcıları makine öğrenimi üzerine çalışmalar yapan kişilerdir (Goodfellow vd., 2013).

k. MXNET

MXNet, polyglot (çoklu dil) bir yapıya sahiptir. Farklı dilleri destekliyor olması derin öğrenme konusunda uğraşanlar için oldukça cezbedici bir durum oluşturmaktadır. Dağıtık durumda bulunan işlemci desteği vardır. Çoklu işlemci ya da çoklu Gpu desteği vardır. Veri akış grafikleri üzerine kuruludur. Kendi belleğini yönetir ve yeniden konumlandırabilir. Python, R, Julia, Go, Javascript gibi dilleri desteklemektedir. Mobil olarakta kullanılabilir. MXNet desteklediği yapılar-mimariler şekil 25’de yer almaktadır.



Şekil 25. MXNET mimarisi

Uygulama ve Başarımlar

Derin Öğrenmenin Uygulama Alanları

a. Bilgisayar Görmesi (Computer Vision)

2015 yılında yayınlanan bir makalede bilgisayar görmesi ile konuşma sesleri birleştirilerek belirli bir videoya başka bir konuşmayı benzer bir yüz ve mimik hareketleriyle birleştirip söyleten bir tekrarlayan sinir ağları (RNN) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada Amerika birleşik devletleri eski başkanı Barack Obama’nın bir video görüntüsü alınıp daha önce yapmış olduğu farklı konuşmaları bu video görüntüsüne adapte etmişlerdir (Suwajanakorn vd., 2015). Iizuka, Simo-Serra, Ishikawa tarafından gerçekleştirilen çalışmada gri tonlamalı siyah beyaz görüntülerin başarılı şekilde renklendirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma konvolüsyonel sinir ağlarına dayanan

derin öğrenme algoritmalarına ek olarak bir füzyon katmanı kullanılmıştır. Genel ve bölgesel öncelikler içeren tüm çerçeveler uçtan uca doğru eğitilmiştir. Bu modelin eğitilmesi için geniş bir sahne sınıflandırma veritabanı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada yüzlerce yıl öncesine ait görüntülerin otomatik olarak renklendirilmesi sağlanmıştır. Derin öğrenme ağları tarafından gerçekleştirilen bu çalışma kendisine verilen kalıpları öğrenir. Örneğin deniz mavidir, gökyüzü mavidir, bulutlar beyaz-gridir. Yapılan bu çalışmada gri renkli görüntüleri renklendirmek için farklı sonuçlar ortaya çıkabilmekte. Ancak bu insan tarafından da fark edilmesi pek mümkün değildir. Aynı resim için farklı renklendirmeler sunabilir. Ancak insan hangisinin gerçek olduğunu pek ayırt edemez (Iizuka, 2016). Derin öğrenme ile siyah beyaz görüntülerin renklendirilmesi için yapılmış farklı çalışmalarda literatürde yer almaktadır (Zang vd., 20016; Cheng vd., 2015; Larsson vd., 2016). Google Brain araştırmacılarından Dahl, Norouzi ve Shlens tarafından yapılan çalışmada çok düşük çözünürlüklü yüz görüntülerinden yola çıkarak bu yüzün nasıl göründüğünü bulmaya çalışan derin öğrenme tabanlı bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Video görüntülerinde yer alan insan yüzlerinin çok düşük çözünürlüklü olması sebebiyle seçilemiyor olması ve yüzün net şekilde görüntülenmemesinden dolayı bu durumu ortadan kaldıracak bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Düşük çözünürlük yüz görüntülerinin yüksek çözünürlüklü yüz görüntülerine çevrilmesi için olasılıksal derin öğrenme mimarileri kullanılmıştır (Dahl vd., 2017). Bilgisayar görmesi ile yapılan bir başka çalışmada animatörlere yardımcı olabileceği düşünülen insan hareketlerinin iskelet yapısını derin öğrenme yoluyla ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Gerçek zamanlı video görüntülerinde pek çok insanın yer aldığı ortamda her insanın o anki iskelet yapısı insan üzerinde gösterilmiştir (Cao vd., 2017). Bilgisayar görmesinin sonucunda görüntünün yorumlanmasına yönelik yapılan bir çalışmada bir görüntüdeki pek çok alanın belirlenmesi ve bu alanlarda neler olduğunun tanımlanarak cümle

yazılması için derin öğrenme yapıları kullanılmıştır. Görüntülerin sınıflandırılması için konvolüsyonel sinir ağı bu sınıfların tanımlanarak cümle yapılarının oluşturulması için tekrarlayan sinir ağları kullanılmıştır (Karpathy ve Fei-Fei, 2015). Nguyen ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada derin öğrenme kullanılarak bir fotoğraftan yeni fotoğraflar oluşturmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada bir görüntü içerisinde daha önceden yer almayan bir nesneyle nasıl oluşturulduğu gösterilmiştir (Nguyen vd., 2017). Isola ve arkadaşları haritalanmış bir görüntüden renklendirilmiş ve tamamlanmış yeni bir görüntü elde etmek için derin öğrenme ağlarını kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada pix2pix yazılımında bu derin öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır (Isola vd., 2017).

b. Sınıflandırma (Classification)

Görüntü sınıflandırma ile yapılmış pek çok çalışma vardır. Sınıflandırma için kullanılan derin öğrenme algoritması ve yöntemleri başarı oranlarında kısmi farklılıklar oluşturmaktadır. Kullanılan farklı yöntemler sınıflandırma başarımına katkı sağlamışlardır. Trafik işaretlerinin sınıflandırılması (Ciregan vd., 2012), uydu görüntülerinin sınıflandırılması (Doğan ve Türkoğlu, 2017; Hu vd., 2015; Zou vd., 2015), yüz tanıma-sınıflandırma (Chan vd., 2015; Parkhi vd., 2015; Sun vd., 2014; Sun vd., 2015), hiperspektral verilerin sınıflandırılması (Chen vd., 2014; Zhao vd., 2016), üç boyutlu görüntülerin sınıflandırılması (Glorot vd., 2011; Qi vd., 2017), Kolon kanseri görüntülerinin sınıflandırılması (Sirinukunwattana vd., 2016), elektrodyagram sinyallerinin sınıflandırılması (Al Rahhal vd., 2016), Toprak örtüsü ve mahsul türlerinin sınıflandırılması (Kussul vd., 2017), göğüs röntgenlerinin sınıflandırılması (Baltruschat vd., 2018), kötücül yazılımların sınıflandırılması (Dahl vd., 2013), arazi kullanımının sınıflandırılması (Luus vd., 2015), cilt kanserlerinin sınıflandırılması (Esteva, 2017), insan hücrelerinin sınıflandırılması (Chen vd., 2016), ses kayıtlarından sosyal sinyallerin

sınıflandırılması (Brueckner ve Schuler, 2014), gen verilerinden kanser sınıflandırma (Fakoor vd., 2011), cümle düzeyinde sınıflandırma (Kim, 2014), hafif bilişsel bozulma ve alzheimer hastalıklarının sınıflandırılması (Suk ve Shen, 2013), twitter'da duygu sınıflandırılması (Tang, 2014), derin inanç ağları ile ses verilerin sınıflandırılması (Lee vd., 2009), doku tabanlı medikal görüntü sınıflandırılması (Murugappan ve Sabeenian, 2017), tomografi görüntülerinden akciğer keseciklerinin sınıflandırılması (Hua vd., 2015), EEG verilerinin sınıflandırılması (An vd., 2014), video sınıflandırma (Ng vd., 2015), hastalık durumlarının sınıflandırılması (Tamilselvan ve Wang, 2013), iyi ve kötü huylu memem tümörlerinin sınıflandırılması (Zhang vd., 2016), çevresel seslerin sınıflandırılması (Piczak vd., 2015), proteinlerin sınıflandırılması (Asgari ve Mofrad, 2015) gibi derin öğrenme ile daha pek çok sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır.

c. Nesne Tespiti (Object Detection)

Görüntü sınıflandırma ve nesne tespiti benzer bir yapıda gibi görünse de birbirinden farklıdır. Sınıflandırmada elde bulunan etiketlere göre görüntüler bir sınıfa alınır. Nesne tespitinde ise bir görüntü içerisinde bir nesne aranır. Bu nesne görüntü içerisinde nerede olduğu tahmin edilir (Guo vd., 2016). Yapılan bir çalışmada AlexNet mimarisinin son katmanı değiştirilerek DetectorNet adı verilen bir algoritma sunulmuştur. Bu çalışmanın gayet iyi sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada görüntüde aynı nesneden birden fazla tespit edilmesine olanak veren bir derin öğrenme mimarisi de DeepMultiBox sunulmuştur (Erhan vd., 2014). Daha sonra Girshick ve arkadaşları tarafından RCNN mimarisi önerilmiştir (Girshick vd., 2014). Bu yaklaşımda arama için nesne seçici kullanılır. Her seçim için konvolüsyonel sinir ağı özellikleri ayklanır. Belirlenen aday nesne penceresi içerisinde nesnenin varlığının var olup olmadığına bakılır ve SVM sınıflandırıcı ile sınıflandırılır (Girshick, 2015). Bu algoritma ile bazı çalışmalar yapılmış

ve pek çok algoritma için temel oluşturmuştur (Zhu vd., 2015; Zhang vd., 2015). Nesne tespitinin daha hızlı şekilde gerçekleştirilmesi için yapılan bir çalışmada F-RCNN (Fast-Reccurent Convolution Neural Network - Hızlı tekrarlayan konvolüsyonel sinir ağı) (Ren vd., 2015). Nesne tespiti algoritmalarında daha çok nesnenin yerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bunun için seçici arama, bağımsız nesne önerileri, kenar kutu belirleyici v.b. gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir (Alexe vd., 2012; Uijlings vd., 2013; Zitnick vd., 2014; Cheng vd., 2014). Cruz-Roa ve arkadaşları bir tür deri kanseri bazal hücreli kanser tespiti için deri histopathology görüntülerinden kanserin tespit edilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Kanseri bölgenin tespit edilmesi, sınıflandırılması ve yorumlanması yapılmaktadır (Cruz-Roa vd., 2013). Başka bir çalışmada bir görüntü içerisinde yüz tespiti için yeni bir derin öğrenme yapısı önermişlerdir. Diğer yüz tespit yapılarından daha üstün bir performans sergilemişlerdir (Yang vd., 2015). Yayaların tespiti için yapılan bir çalışmada özellik çıkarımı, bozulma, oklüzyon ve sınıflandırma işlemlerinin bir arada kullanılacağı bir derin öğrenme yapısı önerilmiştir (Ouyang vd., 2013). Chen ve arkadaşları uzaktan algılama ile elde edilen görüntülerden uçak tespit için bir yöntem önermişlerdir. Değişken boyutlar, renkler, karmaşık arkaplanlar nedeniyle yer yüzeyi üzerindeki nesnenin tespiti oldukça zordur. Bu çalışma geometrik merkezini, yönünü, konumunu çıkararak nesneyi tam olarak konumlandıran etkili bir uçak tespit yöntemi önerilmiştir. Derin inanç ağları kullanılarak iyi bir performans alınmıştır (Chen vd., 2013). Uzaktan algılama ile yapılan uçak, bina, hava alanı, araç gibi pek çok nesne tespiti çalışmaları yapılmıştır (Chen vd., 2016; Zhang vd., 2016; Vakalopoulou vd., 2015; Diao vd., 2015; Cheng ve Han, 2015).

d. Ses (Audi-Wave-Speech)

Google 2016 yılında ham ses verilerini oluşturmak için WaveNet'i tanıtmışlardır. Bu model olasılıksal ve otoregresif bir yapıya

sahipti. Metin konuşması uygulamalarında İngilizce ve çince olarak dönüştürme olanağı vermektedir (Oord vd., 2016). Ayrıca Baidu araştırmacıları tarafından ses için Deep Speech adında bir derin öğrenme mimarisi oluşturuldu. Deep Speech uçtan uca konuşma tanıma sistemidir. Gürültülü ortamlarda bile gayet iyi çalışmaktadır (Hannun, 2014). Video görüntülerinde yer alan nesnelere vurulduğunda ya da çizildiğinde bazı sesler çıkarmaktadır. Bu sesler nesnenin fiziksel olarak nasıl olduğu ve buna göre nasıl bir ses çıkaracağını ortaya koyar. Owens ve arkadaşları bir video sahnesinde oluşabilecek seslerin tahmin edilip bu seslerin çıkarılmasını sağlayacak bir derin öğrenme ağı sunmuşlardır. Buna örnek olarak bir davula vuran insanların sessiz videosu ile ses verilerinin sentezlenerek oluşturulacak bir örnek sunmaktadır (Owens vd., 2016). Assael ve arkadaşları bir konuşmacının ağzın hareketlerinden ne söylediğini ortaya çıkaran Lipreading yaklaşımını derin öğrenme mimarileri kullanarak LipNet'i sunmuşlardır. LipNet ile bir video görüntüsü üzerinden ağız hareketlerini çözmek için uzaysal eşzamanlı konvolüsyonel sinir ağı ve tekrarlayan sinir ağlarını kullanarak çözmeye çalışmışlardır. Cümle düzeyinde daha önce yapılan çalışmalardan daha iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Assael vd., 2016). Salamon ve Bello çevresel ses verilerini alarak derin öğrenme mimarileri ile sınıflandırma yöntemini sunmuşlardır. Bu kısa ses verileri için 10 farklı sınıf kullanmışlardır. Bunlar klima, araba korna, oynayan çocuklar, köpek havlaması, sondaj, araç motoru, silah sesi, çekiç, siren ve sokak müziği (Salamon ve Bello, 2017). Chamberlain ve arkadaşları basit bir stetoskop yardımı ile akciğer seslerini alarak sesleri analiz etmişlerdir. Farklı türde hasta ve sağlık kişilerden alınan bu ses verilerini derin öğrenme mimarileri ile değerlendirmişlerdir. Takviyeli öğrenme ile kullanılan bu ses verilerini sınıflandırmışlardır (Chamberlain vd., 2016). Fried ve Fiebrink çarpaz eşleşmeli ses haritalarını oluşturacak bir derin öğrenme yöntemi sunmuşlardır. Sesin tanımlanarak buna karşılık gelen görüntü

haritasının çıkarılması amaçlanmıştır. Sese karşılık gelen en uygun görüntü çarpaz eşleştirilmesi yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada derin öğrenme mimarilerinden oto kodlayıcılar kullanılmıştır (Fried ve Fiebrink, 2013). Bir başka çalışmada çevresel seslerin saptanması için derin öğrenme mimarileri kullanılmış ve bu mimarilerin başarımları karşılaştırılmıştır (Li vd., 2017). Döner makina parçalarından olan rulman pek çok makina için önem arz etmektedir. Lui ve arkadaşları bu makinalarda oluşan hataların tespit edilmesi için bir çalışma sunmuşlardır. Burada rulman makinalarından gelen 1 dakikalık sesleri alarak kısa zamanlı fourier dönüşümü uygulamış daha sonra derin öğrenme ağlarıyla hataları tespit etmeye çalışmışlardır. Hataların çıkarılması için Oto kodlayıcıları kullanmışlardır (Lui vd., 2016). Bunlar dışında derin öğrenme ile ses sinyalleri üzerine yapılmış pek çok çalışma vardır (Hinton vd., 2012; Graves vd., 2013)

e. *Medikal (Medical)*

Derin öğrenme çalışmaları ile insan sağlığını doğrudan etkileyecek pek çok yaklaşımlar ortaya konmuştur. İnsan sağlığı için önem taşıyan pek çok bulgular, sınıflandırma, tespit, resim bölütleme, görüntü üretimi gibi pek çok işlemlerde kullanılmakta. Bu işlemleri daha çok sinir sistemleri, akciğer, göz, patolojik görüntüler, hücreler, göğüs, kalp, karın, kas sistemleri üzerine yapılmıştır.

Bir çalışmada diz kireçlenmesi oranının, derin konvolüsyonel sinir ağlarını kullanarak radyolojik görüntülerden otomatik olarak ölçmeye çalışan bir yöntem üzerine çalışılmıştır. Bu uygulama için AlexNet ve VGG-16 derin öğrenme algoritmalarından faydalanılmıştır. Başarım oranını artırmak için kendi önerdikleri özellik çıkarım yöntemini kullanmışlardır (Antony vd., 2016). Plis ve arkadaşları MR görüntüleri kullanılarak Şizofreni ve Huntington hastalığının derin inanç ağları ile sınıflandırılması için bir çalışma yapmışlardır (Plis vd., 2014). Sarraf ve Tofighi fMRI görüntülerinden LeNet-5 derin öğrenme

mimarisi kullanarak alzaimer hastalığının sınıflandırmıştır (Sarraf ve Tofighi, 2016). İnsan beyninin mr görüntülerini anatomik bölgelere ayırmak için bir yaklaşım ortaya konmuştur. Bu yaklaşımda her vokselin (her pixelin 3 boyutlu görünümü) beyin mr görüntüsüne aktaran bir derin öğrenme mimarisi sunulmuştur. Bu bölütleme yöntemi daha önceki bölütleme yöntemlerinden daha iyi çalıştığı söylenmiştir (de Brébisson ve Montana, 2015). Yapılan bir başka çalışmada erken doğan bebeklerin beyin ağlarının bilişsel ve motor gelişimlerinin tahminlerinin yapılması üzerine olmuştur. Burada 27 ve 46. haftalar arasındaki çocukların gelişimi izlenerek sonraki süreçlerin nasıl olacağını tahmin edilmesi üzerine BrainNetCNN adında bir sinir ağı önerilmiştir (Kawahara vd., 2017). Derin öğrenme algoritmaları ile Multipl Sklerozun Belirtileri Olan Hastalarda Gelecekteki Hastalık Aktivitesini Tahmin Etmek için yapılan bir çalışmada beyin görüntülerinden faydalanılmıştır. Önerilen yöntem hastalığın ataklarının daha önceden tahmin edilmesini sağlamaktır (Yoo vd., 2016). Bir başka çalışmada, Difüzyon MR görüntüleri alınırken geçen yoğun sürenin indirgenmesi için bir yöntem önerilmektedir. Görüntü alma süresi optimize edilerek görüntü alım süresini 12 kat azaltmıştır (Golkov vd., 2016). Başka bir görüntü bölütleme çalışmasında özellikle beyin tümörleri ile MS lezyonlarının bölütlenmesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Havaei vd., 2016). Retina damarlarının segmentasyonuna ilişkin başarımının iyileştirilmesi için bir derin öğrenme çalışması yapılmıştır. Burada retina görüntüsünden elde edilen yetersiz damar görüntülerinin olasılıksal tahmini üzerine durulmuştur (Fu vd., 2016). Medikal görüntülerden fundus görüntüleri kullanılarak gerçekleşen kanamaların tespiti için van Grinsven ve arkadaşları bir çalışma yapmışlardır (van Grinsven vd., 2016). Bir başka çalışmada retina fundus görüntülerinden diyabetik retinopatinin saptanmasında derin öğrenme algoritmasının geliştirilmesi ve doğrulanması sunulmuştur (Gulshan vd., 2016). Derin öğrenme

ağlarından GoogleNet kullanılarak ön göğüs radyografilerinde anormalliklerin algılaması ve sınıflandırılması yapılmıştır. En çok görülen 5 anormallik üzerinde durulmuştur (Cicero vd., 2017). 17 hastalık türünün tespitinin nasıl yapıldığı sunulmuştur. Burada tekrarlayan sinir ağı ile göğüs röntgen görüntüleri değerlendirilmiştir. Daha sonra AlexNet ve GoogleNet ile kıyaslanmaktadır (Shin vd., 2016). Tarando ve arkadaşları akciğer doku örneklerini sınıflandırmak için derin öğrenme tabanlı bir tanı sistemi sunmuşlardır (Tarando vd., 2016). Mamografi görüntülerinden meme kanseri tespiti ve sınıflandırılması için R-CNN kullanan Akselrod-Ballin ve arkadaşları uzman radyologlarla birlikte yaptığı çalışmayı başarılı olarak görmüşlerdir (Akselrod-Ballin vd., 2016). Akciğer hastalıklarının tespiti için akciğer desenlerinin sınıflandırılması için bir yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışma ile AlexNet, LeNet, VggNet mimarileri ile karşılaştırılmıştır (Anthimopoulos vd., 2016). Ramsundar ve arkadaşları ilaç keşfi için bir derin öğrenme yaklaşımı sunmuşlardır. Birçok farklı biyolojik kaynaktan bilgileri sentezlemiş, 200'den fazla biyolojik hedef için yaklaşık 40 milyon veriyi bir araya getirerek bir veriseti oluşturmuşlardır. İlaç keşfi için bir dizi araştırma yapmışlardır (Ramsundar vd., 2015). An ve arkadaşları beyinin sağ ve sol motorlarına ilişkin EEG sinyallerinin alınarak sınıflandırılması için derin inanç ağları ve boltzman makine öğrenimini kullanmıştır (An vd., 2014). Proteinin ikincil yapısının tahmini için kullanılan derin öğrenme çalışması ile daha önce yapılan çalışmalardan daha iyi bir sonuç çıkarılmıştır (Spencer vd., 2015). Bir başka çalışmada deri üzerindeki lezyonların derin öğrenme ile saptanması üzerine olmuştur. Deride yaşanan lezyonların ve melanoma kanser hastalığın tespit edilmesi için bu çalışma sunulmuştur (Jafari vd., 2016). Bir başka çalışmada uyuşturucuya bağlı karaciğerde meydana gelen kalıcı hasarların ortaya çıkarılması için derin öğrenme mimarisi kullanılmıştır (Xu vd., 2015).

f. *Endüstri (Industrial)*

Sanayi alanında kullanılacak olan derin öğrenme mimarili yaklaşımlar üretim, kullanım, kullanıcı, ergonomiklik açısından oldukça önemlidir. Sanayinin her alanında kullanılacak olan bilgisayar destekli yaklaşımlar üretkenliği artırmaktadır. Endüstriyel süreç kontrolünde; anahtar değişkenler, ürün nitelikleri, teknik ve ekonomik sınırlamalar oldukça önemlidir. Shang ve arkadaşları bu verilerin etkili bir çözümü olarak veri odaklı yumuşak sensörler aracılığı ile bu verilerin güvenilir ve kararlı çevrim içi tahmin oluşturması için bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu çalışmada yumuşak sensörler oluşturularak ağır dizel kesim noktasını tahmin etmek için bir derin öğrenme yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır (Shang vd., 2014). Bir başka çalışmada, robotik sistemler için nesnelere duruş-poz tahmini yapmak, onları kavramak ve belirlenmiş bir hedefe doğru hareket eden bir robot görme sistemi sunulmuştur. Çalışmada ayrıca, nesne duruş ve pozisyonunu belirleyen bir derin öğrenme sistemi önerilmiştir (Yu vd., 2013). Pozlama tahmini ve robotik nesne tutma için bir başka çalışmayı da Zhihong ve arkadaşları yapmışlardır (Zhihong vd., 2017). Dönen makine parçası olan rulmanın ömrünün tahmini özellikle imalat sanayinde önemlidir. Rulman titreşim sinyallerinden çıkan özellikleri veri olarak alıp kalan ömür tahminini yapan bir derin öğrenme yaklaşımı sunulmuştur (Ren vd., 2017).

g. *Diğer çalışmalar*

Yukarıda belirtilen başlıkların dışında pek çok alanda derin öğrenme mimarilerini görmek mümkün. Bu çalışmalara örnek vermek gerekirse; Derin öğrenme kullanılarak big data ile trafik akış tahmini çalışması (Lv vd., 2015), derin öğrenme ile robotik davranışlarının tespit edilmesi (Lenz vd., 2015), büyük ölçekli duygu sınıflandırılması için alan adaptasyonu (Glorot vd., 2011), CpG modülü kullanılarak DeepCpG derin öğrenme ile tek hücreli DNA metilasyon durumlarının doğru tahmini (Angermueller vd., 2017). Robotların gerçek dünyadaki fiziksel metaryallere dokunuş anlayışını sağlayacak bir

derin öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışmada, maddelerin yapısına bakarak robotun bu maddeyi tutmak için harcayacağı gücün nasıl olması gerektiğine karar verecek bir yapı araştırılmıştır. Görsel bir etkileşim üzerinden gidilen çalışma, temelde robotun hissetmesini sağlayacak bir yaklaşım sunmaktadır (Gao vd., 2016). Heaton ve arkadaşları finans sektöründe kullanılan klasik yaklaşımları ve bu yaklaşımların derin öğrenme nasıl gerçekleşeceğini sunmuştur (Heaton vd., 2016). Yapılan bir çalışmada robotlar için el göz koordinasyonunu sağlamak için derin öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Nesnelerin tespit edilmesi ve yakalanmasını daha kolaylaştıracak bir yaklaşım sunulmuştur (Levine vd., 2016). Yapılan bir çalışmada bir aracın otomatik kullanılması için bilgisayarı bir stajyer olarak görmekte. Ve doğal insan öğrenmesini takip etmektedir. Bunun için birkaç aşamada gerçekleştirilen bir yöntem kullanılmıştır. Öğretmensiz özellik öğrenme, öğretmenli taklitli öğrenme, öğretmenli ödül indüksiyonu, emniyet modülü ve takviyeli öğrenme. Derin öğrenme ile gerçekleştirilen bu otomatik araç kullanımını bir oyun yazılımında kullanılmış ve sunulmuştur (Hilleli ve El-Yaniv, 2016). Sözlük, makine dil çevrimi, doğal dil çevrimleri için yapılan pek çok çalışma literatürde görülebilmektedir (Bahdanau vd., 2014; Cho vd., 2014; Jean vd., 2014; Sutskever vd., 2014; Kreutzer vd., 2015).

Sonuçlar ve Tartışma

Yapay zeka mimarileri geçmişten günümüze gelindiğinde pek çok alanlarda kullanılmaktadır. Yapay zeka yaklaşımlarının tarihsel gelişimi makine öğrenmesinin ne denli bir hızla geliştiğini göstermektedir. Elektronik ve bilgisayar sistemlerinin hemen hepsinde kontrol, denetim, tahmin, modifikasyon, üretim, eğlence amaçlı bir yaklaşımı görmek mümkün. Caddede bilbordlarda, oyun salonlarında, araba, uçakta, dinlediğimiz bir müzikte, izlediğimiz bir filmde, televizyonlarda pek çok uygulamada, hava tahminlerinde, hastanede, güvenlik sistemlerinde, savunma sanayisinde, finansal

sektörlerde ve pek çok günlük yaşam aktivasyonlarında görmek mümkündür.

Derin öğrenme sistemlerinin bu kadar geliştiği bir ortamda şirketler, devletler, kurumlar arge için bu konuya ciddi şekilde eğilim göstermişlerdir. Pek çok büyük bilişim şirketi bu konuda atılımlar yapmış yeni yaklaşımlar getirmiştir. Konunun gelişimine göre yeni uygulamalar ve bakış açıları geliştirmişlerdir. Google, Microsoft, Baidu, IBM, Apple, Nvidia, Facebook, Twitter, Amazon ve daha birçok şirket derin öğrenmeyle ilgili çalışmalar yapmıştır.

Yapılan çalışmalara bakıldığında derin öğrenme mimarileri yapay zeka teknolojilerine yeni bir yaklaşım getirdiği ve çığır açtığı görülmektedir. Derin öğrenme mimarilerinin gelecek tahminlerine yönelik çalışmaları günümüz teknolojilerini birkaç yıl ileri taşıdığı düşünülmektedir. İnsan hayatını kolaylaştırmak, sağlıklı bir yaşam sürdürebilmek için derin öğrenme mimarilerinin çok etkin şekilde hayatımızda yer almaya başladığı görülmektedir.

Gelecekte günlük yaşamın her noktasında yer alacak olan bu mimarilerin otomot bir dünyanın kapısını aralayacağı düşünülmektedir. Kendi kendine gideceği yere varan araçlar, daha güvenli yollar, insansız hava ve kara araçları, taşıma alanında bir başkalaşıma doğru götürecektir. Tıp alanında; hastalık tanı ve teşhisin daha hızlı gerçekleşebileceği, doktorun yapmış olduğu ameliyatların bir kısmını robotların yapabileceği, kendi kendine hastaya cevap verebilecek sistemlerin oluşturulabileceği, hastanın sağlık merkezlerine uğramadan tanı-teşhis konabileceği sistemler üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Robotik sistemlerde farklı bir noktaya getirecek ve robotların insan yaşamında etkin bir rol oynayacağı bir dünya için pek çok çalışma yapılmaktadır. Pek çok özel şirket insan gücünün yerini robotik sistemlere bırakacağı öncü çalışmalar yapmaktadır. Tarımsal alanlarda sulama, bakım, gübreleme, toprak analizlerinin

otomatik yapılacağı ulusal sistemler için derin öğrenme tabanlı çalışmalar devam etmektedir.

Savunma sanayinde kullanılan pek çok yapay zeka teknolojisi bulunmaktadır. Günümüzde pek çok savunma araçları derin öğrenme mimarisi ile donatılmaktadır. Özellikle insansız hava ve kara araçlarında aktif rol almaktadır.

Bu makale ile derin öğrenme mimarileri hakkında bir derleme çalışması sunulmuştur.

Kaynaklar

- Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., ... & Ghemawat, S. (2016). Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. arXiv preprint arXiv:1603.04467.
- Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Kudlur, M. (2016). TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. In OSDI (Vol. 16, pp. 265-283).
- Ackley, D. H., Hinton, G. E., & Sejnowski, T. J. (1987). A learning algorithm for Boltzmann machines. In Readings in Computer Vision (pp. 522-533).
- Akselrod-Ballin, A., Karlinsky, L., Alpert, S., Hasoul, S., Ben-Ari, R., & Barkan, E. (2016). A region based convolutional network for tumor detection and classification in breast mammography. In Deep Learning and Data Labeling for Medical Applications (pp. 197-205). Springer, Cham.
- Al Rahhal, M. M., Bazi, Y., AlHichri, H., Alajlan, N., Melgani, F., & Yager, R. R. (2016). Deep learning approach for active classification of electrocardiogram signals. Information Sciences, 345, 340-354.
- Alexe, B., Deselaers, T., & Ferrari, V. (2012). Measuring the objectness of image windows. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 34(11), 2189-2202.
- An, X., Kuang, D., Guo, X., Zhao, Y., & He, L. (2014). A deep learning method for classification of EEG data based on motor imagery. In International Conference on Intelligent Computing (pp. 203-210). Springer, Cham.
- Angelova, A., Krizhevsky, A., & Vanhoucke, V. (2015). Pedestrian detection with a large-field-of-view deep network. In Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on (pp. 704-711).
- Angermueller, C., Lee, H. J., Reik, W., & Stegle, O. (2017). DeepCpG: accurate prediction of single-cell DNA methylation states using deep learning. Genome biology, 18(1), 67.
- Anthimopoulos, M., Christodoulidis, S., Ebner, L., Christe, A., & Mougiakakou, S. (2016). Lung pattern classification for interstitial lung diseases using a deep convolutional neural network. IEEE transactions on medical imaging, 35(5), 1207-1216.
- Antony, J., McGuinness, K., O'Connor, N. E., & Moran, K. (2016). Quantifying radiographic knee osteoarthritis severity using deep convolutional neural networks. In Pattern Recognition (ICPR), 2016 23rd International Conference on (pp. 1195-1200).
- Asgari, E., & Mofrad, M. R. (2015). Continuous distributed representation of biological sequences for deep proteomics and genomics. PloS one, 10(11), e0141287.
- Assael, Y. M., Shillingford, B., Whiteson, S., & de Freitas, N. (2016). LipNet: end-to-end sentence-level lipreading.
- Bahdanau, D., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. arXiv preprint arXiv:1409.0473.
- Baldi, P. (2012). Autoencoders, unsupervised learning, and deep architectures. In Proceedings of ICML Workshop on

- Unsupervised and Transfer Learning (pp. 37-49).
- Baltruschat, I. M., Nickisch, H., Grass, M., Knopp, T., & Saalbach, A. (2018). Comparison of Deep Learning Approaches for Multi-Label Chest X-Ray Classification. arXiv preprint arXiv:1803.02315.
- Bastien, F., Lamblin, P., Pascanu, R., Bergstra, J., Goodfellow, I., Bergeron, A., ... & Bengio, Y. (2012). Theano: new features and speed improvements. arXiv preprint arXiv:1211.5590.
- Bengio, Y. (2009). Learning deep architectures for AI. *Foundations and trends® in Machine Learning*, 2(1), 1-127.
- Bengio, Y., Lamblin, P., Popovici, D., & Larochelle, H. (2007). Greedy layer-wise training of deep networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 153-160).
- Bengio, Y., Simard, P., & Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE transactions on neural networks*, 5(2), 157-166.
- Boureau, Y. L., & Cun, Y. L. (2008). Sparse feature learning for deep belief networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1185-1192).
- Broomhead, D. S., & Lowe, D. (1988). Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks (No. RSRE-MEMO-4148). Royal Signals and Radar Establishment Malvern (United Kingdom).
- Bruelckner, R., & Schuler, B. (2014). Social signal classification using deep BLSTM recurrent neural networks. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 4823-4827).
- Buczak, A. L., & Guven, E. (2016). A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 1153-1176.
- Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2017, July). Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields. In *CVPR (Vol. 1, No. 2, p. 7)*.
- Chamberlain, D., Kodgule, R., Ganelin, D., Miglani, V., & Fletcher, R. R. (2016). Application of semi-supervised deep learning to lung sound analysis. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the* (pp. 804-807).
- Chan, T. H., Jia, K., Gao, S., Lu, J., Zeng, Z., & Ma, Y. (2015). PCANet: A simple deep learning baseline for image classification?. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(12), 5017-5032.
- Chapelle, O., Scholkopf, B., & Zien, A. (2009). Semi-supervised learning (chapelle, o. et al., eds.; 2006)[book reviews]. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(3), 542-542.
- Chen, C. L., Mahjoubfar, A., Tai, L. C., Blaby, I. K., Huang, A., Niazi, K. R., & Jalali, B. (2016). Deep learning in label-free cell classification. *Scientific reports*, 6, 21471.
- Chen, X., Xiang, S., Liu, C. L., & Pan, C. H. (2013). Aircraft detection by deep belief nets. In *Pattern Recognition (ACPR), 2013 2nd IAPR Asian Conference on* (pp. 54-58).
- Chen, Y., Lin, Z., Zhao, X., Wang, G., & Gu, Y. (2014). Deep learning-based classification of hyperspectral data. *IEEE Journal of Selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 7(6), 2094-2107.
- Cheng, G., & Han, J. (2016). A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 11-28.
- Cheng, G., Zhou, P., & Han, J. (2016). Learning rotation-invariant convolutional neural networks for object detection in VHR optical remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(12), 7405-7415.
- Cheng, M. M., Zhang, Z., Lin, W. Y., & Torr, P. (2014). BING: Binarized normed gradients for objectness estimation at 300fps. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3286-3293).
- Cheng, Z., Yang, Q., & Sheng, B. (2015). Deep colorization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 415-423).
- Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. arXiv preprint arXiv:1406.1078.
- Chollet, F. (2016). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. arXiv preprint.
- Cicero, M., Bilbily, A., Colak, E., Dowdell, T., Gray, B., Perampaladas, K., & Barfett, J.

- (2017). Training and validating a deep convolutional neural network for computer-aided detection and classification of abnormalities on frontal chest radiographs. *Investigative radiology*, 52(5), 281-287.
- Ciregan, D., Meier, U., & Schmidhuber, J. (2012). Multi-column deep neural networks for image classification. In *Computer vision and pattern recognition (CVPR), 2012 IEEE conference on* (pp. 3642-3649).
- Ciresan, D. C., Meier, U., Masci, J., Maria Gambardella, L., & Schmidhuber, J. (2011). Flexible, high performance convolutional neural networks for image classification. In *IJCAI Proceedings-International Joint Conference on Artificial Intelligence (Vol. 22, No. 1, p. 1237)*.
- Collobert, R., Kavukcuoglu, K., & Farabet, C. (2011). Torch7: A matlab-like environment for machine learning. In *BigLearn, NIPS workshop (No. EPFL-CONF-192376)*.
- Cruz-Roa, A. A., Ovalle, J. E. A., Madabhushi, A., & Osorio, F. A. G. (2013). A deep learning architecture for image representation, visual interpretability and automated basal-cell carcinoma cancer detection. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*(pp. 403-410). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dahl, G. E., Stokes, J. W., Deng, L., & Yu, D. (2013). Large-scale malware classification using random projections and neural networks. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 3422-3426).
- Dahl, R., Norouzi, M., & Shlens, J. (2017). Pixel recursive super resolution. *arXiv preprint arXiv:1702.00783*.
- de Brébisson, A., & Montana, G. (2015). Deep neural networks for anatomical brain segmentation. *arXiv preprint arXiv:1502.02445*.
- Diao, W., Sun, X., Zheng, X., Dou, F., Wang, H., & Fu, K. (2016). Efficient saliency-based object detection in remote sensing images using deep belief networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(2), 137-141.
- Dogan., F., Turkoglu, I., (2017). Classification Of Satellite Images By Deep Learning. 8th International Advanved Teknologies Symposium.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on* (pp. 39-43).
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive science*, 14(2), 179-211.
- Erhan, D., Szegedy, C., Toshev, A., & Anguelov, D. (2014). Scalable object detection using deep neural networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2147-2154).
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115.
- Fakoor, R., Ladhak, F., Nazi, A., & Huber, M. (2013). Using deep learning to enhance cancer diagnosis and classification. In *Proceedings of the International Conference on Machine Learning (Vol. 28)*.
- Fried, O., & Fiebrink, R. (2013). Cross-modal Sound Mapping Using Deep Learning. In *NIME* (pp. 531-534).
- Frome, A., Corrado, G. S., Shlens, J., Bengio, S., Dean, J., & Mikolov, T. (2013). Devise: A deep visual-semantic embedding model. In *Advances in neural information processing systems*(pp. 2121-2129).
- Fu, H., Xu, Y., Wong, D. W. K., & Liu, J. (2016). Retinal vessel segmentation via deep learning network and fully-connected conditional random fields. In *Biomedical Imaging (ISBI), 2016 IEEE 13th International Symposium on* (pp. 698-701).
- Fukushima, K. (1975). Cognitron: A self-organizing multilayered neural network. *Biological cybernetics*, 20(3-4), 121-136.
- Fukushima, K. (1986). A neural network model for selective attention in visual pattern recognition. *Biological Cybernetics*, 55(1), 5-15.
- Fukushima, K., & Miyake, S. (1982). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of visual pattern recognition. In *Competition and cooperation in neural nets* (pp. 267-285). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ganin, Y., Kononenko, D., Sungatullina, D., & Lempitsky, V. (2016). Deepwarp: Photorealistic image resynthesis for gaze manipulation. In *European Conference on Computer Vision*(pp. 311-326). Springer, Cham.
- Gao, Y., Hendricks, L. A., Kuchenbecker, K. J., & Darrell, T. (2016). Deep learning for tactile

- understanding from visual and haptic data. In *Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 536-543).
- Gatys, L., Ecker, A. S., & Bethge, M. (2015). Texture synthesis using convolutional neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 262-270).
- Gers, F. A., & Schmidhuber, J. (2000). Recurrent nets that time and count. In *Neural Networks, 2000. IJCNN 2000, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on* (Vol. 3, pp. 189-194).
- Gers, F. A., Schmidhuber, J., & Cummins, F. (1999). Learning to forget: Continual prediction with LSTM.
- Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. arXiv preprint arXiv:1504.08083.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 580-587).
- Glorot, X., Bordes, A., & Bengio, Y. (2011). Domain adaptation for large-scale sentiment classification: A deep learning approach. In *Proceedings of the 28th international conference on machine learning (ICML-11)* (pp. 513-520).
- Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, 3(2), 95-99.
- Golkov, V., Dosovitskiy, A., Sperl, J. I., Menzel, M. I., Czisch, M., Sämann, P., ... & Cremers, D. (2016). q-Space deep learning: twelve-fold shorter and model-free diffusion MRI scans. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(5), 1344-1351.
- Goodfellow, I. J., Warde-Farley, D., Lamblin, P., Dumoulin, V., Mirza, M., Pascanu, R., ... & Bengio, Y. (2013). Pylearn2: a machine learning research library. arXiv preprint arXiv:1308.4214.
- Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In *Acoustics, speech and signal processing (icassp), 2013 IEEE international conference on* (pp. 6645-6649).
- Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., ... & Kim, R. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *Jama*, 316(22), 2402-2410.
- Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S., & Lew, M. S. (2016). Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*, 187, 27-48.
- Han, S., Mao, H., & Dally, W. J. (2015). Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and Huffman coding. arXiv preprint arXiv:1510.00149.
- Hannun, A., Case, C., Casper, J., Catanzaro, B., Diamos, G., Elsen, E., ... & Ng, A. Y. (2014). Deep speech: Scaling up end-to-end speech recognition. arXiv preprint arXiv:1412.5567.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). Unsupervised learning. In *The elements of statistical learning* (pp. 485-585). Springer, New York, NY.
- Havaei, M., Guizard, N., Chapados, N., & Bengio, Y. (2016). HeMIS: Hetero-modal image segmentation. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (pp. 469-477). Springer, Cham.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- Heaton, J. B., Polson, N. G., & Witte, J. H. (2016). Deep learning in finance. arXiv preprint arXiv:1602.06561.
- Hebb, D. (1949). *The organization of behavior* John Wiley & sons. New York.
- Hilleli, B., & El-Yaniv, R. (2016). Deep Learning of Robotic Tasks using Strong and Weak Human Supervision. arXiv preprint arXiv:1612.01086.
- Hinton, G. E. (2012). A practical guide to training restricted Boltzmann machines. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 599-619). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *science*, 313(5786), 504-507.
- Hinton, G. E., & Zemel, R. S. (1994). Autoencoders, minimum description length and Helmholtz free energy. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 3-10).
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural computation*, 18(7), 1527-1554.

- Hinton, G. E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. R. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. arXiv preprint arXiv:1207.0580.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A. R., Jaitly, N., ... & Kingsbury, B. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82-97.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- Holder, L. B., Haque, M. M., & Skinner, M. K. (2017). Machine learning for epigenetics and future medical applications. *Epigenetics*, 12(7), 505-514.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, 79(8), 2554-2558.
- Hu, F., Xia, G. S., Hu, J., & Zhang, L. (2015). Transferring deep convolutional neural networks for the scene classification of high-resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing*, 7(11), 14680-14707.
- Hua, K. L., Hsu, C. H., Hidayati, S. C., Cheng, W. H., & Chen, Y. J. (2015). Computer-aided classification of lung nodules on computed tomography images via deep learning technique. *OncoTargets and therapy*, 8.
- Huang, F. J., Boureau, Y. L., & LeCun, Y. (2007). Unsupervised learning of invariant feature hierarchies with applications to object recognition. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR'07. IEEE Conference on* (pp. 1-8).
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of physiology*, 195(1), 215-243.
- Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size. arXiv preprint arXiv:1602.07360.
- Iizuka, S., Simo-Serra, E., & Ishikawa, H. (2016). Let there be color!: joint end-to-end learning of global and local image priors for automatic image colorization with simultaneous classification. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 35(4), 110.
- İnik, Ö., & Ülker, E., (2017) Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104.
- Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In *International conference on machine learning* (pp. 448-456).
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. arXiv preprint.
- Jafari, M. H., Nasr-Esfahani, E., Karimi, N., Soroushmehr, S. M., Samavi, S., & Najarian, K. (2016). Extraction of skin lesions from non-dermoscopic images using deep learning. arXiv preprint arXiv:1609.02374.
- Jain, A. K., Mao, J., & Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44.
- Jarrett, K., Kavukcuoglu, K., & LeCun, Y. (2009). What is the best multi-stage architecture for object recognition?. In *Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on* (pp. 2146-2153).
- Jean, S., Cho, K., Memisevic, R., & Bengio, Y. (2014). On using very large target vocabulary for neural machine translation. arXiv preprint arXiv:1412.2007.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., ... & Darrell, T. (2014). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. In *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia* (pp. 675-678). ACM.
- Jones, M. S. (2015). Convolutional autoencoders in python/theano/lasagne. Blog post (retrieved February 17, 2016), April.
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255-260.
- Kappen, H. J. (1994). Using boltzmann machines for probability estimation: A general framework for neural network learning. In *Machine Intelligence and Pattern Recognition* (Vol. 16, pp. 299-312). North-Holland.
- Karpathy, A., & Fei-Fei, L. (2015). Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3128-3137).
- Karpathy, A., Toderici, G., Shetty, S., Leung, T., Sukthankar, R., & Fei-Fei, L. (2014). Large-

- scale video classification with convolutional neural networks. In Proceedings of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 1725-1732).
- Kawahara, J., Brown, C. J., Miller, S. P., Booth, B. G., Chau, V., Grunau, R. E., ... & Hamarneh, G. (2017). BrainNetCNN: convolutional neural networks for brain networks; towards predicting neurodevelopment. *NeuroImage*, 146, 1038-1049.
- Kim, Y. (2014). Convolutional neural networks for sentence classification. arXiv preprint arXiv:1408.5882.
- Kochura, Y., Stirenko, S., Rojbi, A., Alienin, O., Novotarskiy, M., & Gordienko, Y. (2017). Comparative analysis of open source frameworks for machine learning with use case in single-threaded and multi-threaded modes. arXiv preprint arXiv:1706.02248.
- Kourou, K., Exarchos, T. P., Exarchos, K. P., Karamouzis, M. V., & Fotiadis, D. I. (2015). Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and structural biotechnology journal*, 13, 8-17.
- Kreutzer, J., Schamoni, S., & Riezler, S. (2015). Quality estimation from scratch (quetch): Deep learning for word-level translation quality estimation. In Proceedings of the Tenth Workshop on Statistical Machine Translation (pp. 316-322).
- Krizhevsky, A., & Hinton, G. E. (2011). Using very deep autoencoders for content-based image retrieval. In ESANN.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In Advances in neural information processing systems (pp. 1097-1105).
- Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778-782.
- Larsson, G., Maire, M., & Shakhnarovich, G. (2016). Learning representations for automatic colorization. In European Conference on Computer Vision (pp. 577-593). Springer, Cham.
- LeCun, Y., & Bengio, Y. (1995). Convolutional networks for images, speech, and time series. *The handbook of brain theory and neural networks*, 3361(10), 1995.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- Lee, H., Pham, P., Largman, Y., & Ng, A. Y. (2009). Unsupervised feature learning for audio classification using convolutional deep belief networks. In Advances in neural information processing systems (pp. 1096-1104).
- Lenz, I., Lee, H., & Saxena, A. (2015). Deep learning for detecting robotic grasps. *The International Journal of Robotics Research*, 34(4-5), 705-724.
- Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., & Quillen, D. (2016). Learning hand-eye coordination for robotic grasping with large-scale data collection. In International Symposium on Experimental Robotics (pp. 173-184). Springer, Cham.
- Li, H., Lin, Z., Shen, X., Brandt, J., & Hua, G. (2015). A convolutional neural network cascade for face detection. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 5325-5334).
- Li, J., Dai, W., Metze, F., Qu, S., & Das, S. (2017). A comparison of deep learning methods for environmental sound detection. In Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on (pp. 126-130).
- Li, T. L., Chan, A. B., & Chun, A. (2010). Automatic musical pattern feature extraction using convolutional neural network. In Proc. Int. Conf. Data Mining and Applications.
- Lin, M., Chen, Q., & Yan, S. (2013). Network in network. arXiv preprint arXiv:1312.4400.
- Lippmann, R. (1987). An introduction to computing with neural nets. *IEEE Assp magazine*, 4(2), 4-22.
- Liu, H., Li, L., & Ma, J. (2016). Rolling bearing fault diagnosis based on STFT-deep learning and sound signals. *Shock and Vibration*, 2016.
- Lu, X., Tsao, Y., Matsuda, S., & Hori, C. (2013, August). Speech enhancement based on deep denoising autoencoder. In Interspeech (pp. 436-440).
- Luus, F. P., Salmon, B. P., Van den Bergh, F., & Maharaj, B. T. J. (2015). Multiview deep learning for land-use classification. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(12), 2448-2452.
- Lv, Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z., & Wang, F. Y. (2015). Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 865-873.

- McClelland, J. L., Rumelhart, D. E., & Hinton, G. E. (1986). The appeal of parallel distributed processing. MIT Press, Cambridge MA, 3-44.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., & Mitchell, T. M. (Eds.). (2013). *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Springer Science & Business Media.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
- Minsky, M., Papert, S. A., & Bottou, L. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT press.
- Morris, R. J., & Rubin, L. D. (1991). U.S. Patent No. 5,060,276. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Murugappan, V., & Sabeenian, R. S. (2017). Texture based medical image classification by using multi-scale gabor rotation-invariant local binary pattern (MGRLBP). *Cluster Computing*, 1-14.
- Nair, A., Srinivasan, P., Blackwell, S., Alcicek, C., Fearon, R., De Maria, A., ... & Legg, S. (2015). Massively parallel methods for deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1507.04296.
- Nair, V., & Hinton, G. E. (2010). Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In *Proceedings of the 27th international conference on machine learning (ICML-10)* (pp. 807-814).
- Ng, J. Y. H., Hausknecht, M., Vijayanarasimhan, S., Vinyals, O., Monga, R., & Toderici, G. (2015). Beyond short snippets: Deep networks for video classification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015 IEEE Conference on* (pp. 4694-4702).
- Nguyen, A., Clune, J., Bengio, Y., Dosovitskiy, A., & Yosinski, J. (2017). Plug & play generative networks: Conditional iterative generation of images in latent space. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017 IEEE Conference on* (pp. 3510-3520).
- NVIDIA, 2016. NVIDIA deep learning gpu training system. <https://developer.nvidia.com/digits>. Erişim: 17.03.2018.
- Oord, A. V. D., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., ... & Kavukcuoglu, K. (2016). Wavenet: A generative model for raw audio. arXiv preprint arXiv:1609.03499.
- Ouyang, W., & Wang, X. (2013). Joint deep learning for pedestrian detection. In *Computer Vision (ICCV), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 2056-2063).
- Owens, A., Isola, P., McDermott, J., Torralba, A., Adelson, E. H., & Freeman, W. T. (2016). Visually indicated sounds. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2405-2413).
- Pan, Z., Rust, A. G., & Bolouri, H. (2000). Image redundancy reduction for neural network classification using discrete cosine transforms. In *Neural Networks, 2000. IJCNN 2000, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on* (Vol. 3, pp. 149-154).
- Pang, Y., Sun, M., Jiang, X., & Li, X. (2017). Convolution in convolution for network in network. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*.
- Parkhi, O. M., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2015). Deep Face Recognition. In *BMVC* (Vol. 1, No. 3, p. 6).
- Piczak, K. J. (2015, September). Environmental sound classification with convolutional neural networks. In *Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 2015 IEEE 25th International Workshop on* (pp. 1-6).
- Plis, S. M., Hjelm, D. R., Salakhutdinov, R., Allen, E. A., Bockholt, H. J., Long, J. D., ... & Calhoun, V. D. (2014). Deep learning for neuroimaging: a validation study. *Frontiers in neuroscience*, 8, 229.
- Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, L. J. (2017). Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE*, 1(2), 4.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1), 81-106.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 580-587).
- Ramsundar, B., Kearnes, S., Riley, P., Webster, D., Konerding, D., & Pande, V. (2015). Massively multitask networks for drug discovery. arXiv preprint arXiv:1502.02072.
- Ren, L., Cui, J., Sun, Y., & Cheng, X. (2017). Multi-bearing remaining useful life

- collaborative prediction: A deep learning approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 43, 248-256.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. In *Advances in neural information processing systems*(pp. 91-99).
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. In *Advances in neural information processing systems*(pp. 91-99).
- Robinson, J. A. (1965). A machine-oriented logic based on the resolution principle. *Journal of the ACM (JACM)*, 12(1), 23-41.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65(6), 386.
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., ... & Berg, A. C. (2015). Imagenet large scale visual recognition challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3), 211-252.
- Sajikumar, N., & Thandaveswara, B. S. (1999). A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network. *Journal of hydrology*, 216(1-2), 32-55.
- Salamon, J., & Bello, J. P. (2017). Deep convolutional neural networks and data augmentation for environmental sound classification. *IEEE Signal Processing Letters*, 24(3), 279-283.
- Sarle, W. S. (1994). Neural networks and statistical models. *Proceedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group International Conference*.
- Sarraf, S., & Tofighi, G. (2016). Classification of alzheimer's disease using fmri data and deep learning convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1603.08631*.
- Scherer, D., Müller, A., & Behnke, S. (2010). Evaluation of pooling operations in convolutional architectures for object recognition. In *International conference on artificial neural networks* (pp. 92-101). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Schmidhuber, J. (1992). Learning complex, extended sequences using the principle of history compression. *Neural Computation*, 4(2), 234-242.
- Schölkopf, B., Burges, C., & Vapnik, V. (1996). Incorporating invariances in support vector learning machines. In *International Conference on Artificial Neural Networks* (pp. 47-52). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Schuster, M., & Paliwal, K. K. (1997). Bidirectional recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 45(11), 2673-2681.
- Sebastiani, F. (2002). Machine learning in automated text categorization. *ACM computing surveys (CSUR)*, 34(1), 1-47.
- Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.
- Shang, C., Yang, F., Huang, D., & Lyu, W. (2014). Data-driven soft sensor development based on deep learning technique. *Journal of Process Control*, 24(3), 223-233.
- Shin, H. C., Roberts, K., Lu, L., Demner-Fushman, D., Yao, J., & Summers, R. M. (2016). Learning to read chest x-rays: Recurrent neural cascade model for automated image annotation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2497-2506).
- Shipp, M. A., Ross, K. N., Tamayo, P., Weng, A. P., Kutok, J. L., Aguiar, R. C., ... & Ray, T. S. (2002). Diffuse large B-cell lymphoma outcome prediction by gene-expression profiling and supervised machine learning. *Nature medicine*, 8(1), 68.
- Simard, P. Y., Steinkraus, D., & Platt, J. C. (2003). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In *ICDAR (Vol. 3, pp. 958-962)*.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Sirinukunwattana, K., Raza, S. E. A., Tsang, Y. W., Snead, D. R., Cree, I. A., & Rajpoot, N. M. (2016). Locality sensitive deep learning for detection and classification of nuclei in routine colon cancer histology images. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(5), 1196-1206.
- Snoek, C. G., Worring, M., & Smeulders, A. W. (2005). Early versus late fusion in semantic video analysis. In *Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia* (pp. 399-402). ACM.
- Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. In *Security and Privacy (SP), 2010 IEEE Symposium on* (pp. 305-316).

- Specht, D. F. (1988). Probabilistic neural networks for classification, mapping, or associative memory. In *IEEE international conference on neural networks (Vol. 1, No. 24, pp. 525-532)*.
- Specht, D. F. (1991). A general regression neural network. *IEEE transactions on neural networks*, 2(6), 568-576.
- Spencer, M., Eickholt, J., & Cheng, J. (2015). A deep learning network approach to ab initio protein secondary structure prediction. *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, 12(1), 103-112.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929-1958.
- Stein, J. Y. (1956). *Bibliography. Digital Signal Processing: A Computer Science Perspective*, 829-848.
- Suk, H. I., & Shen, D. (2013). Deep learning-based feature representation for AD/MCI classification. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (pp. 583-590)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sun, Y., Chen, Y., Wang, X., & Tang, X. (2014). Deep learning face representation by joint identification-verification. In *Advances in neural information processing systems (pp. 1988-1996)*.
- Sun, Y., Liang, D., Wang, X., & Tang, X. (2015). Deepid3: Face recognition with very deep neural networks. *arXiv preprint arXiv:1502.00873*.
- Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in neural information processing systems (pp. 3104-3112)*.
- Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in neural information processing systems (pp. 3104-3112)*.
- Suwajanakorn, S., Seitz, S. M., & Kemelmacher-Shlizerman, I. (2017). Synthesizing obama: learning lip sync from audio. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4), 95.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. *Cvpr*.
- Tamilselvan, P., & Wang, P. (2013). Failure diagnosis using deep belief learning based health state classification. *Reliability Engineering & System Safety*, 115, 124-135.
- Tamura, S. I., & Tateishi, M. (1997). Capabilities of a four-layered feedforward neural network: four layers versus three. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 8(2), 251-255.
- Tang, D., Wei, F., Qin, B., Liu, T., & Zhou, M. (2014). Coooolll: A deep learning system for twitter sentiment classification. In *Proceedings of the 8th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval 2014) (pp. 208-212)*.
- Tang, Y. (2013). Deep learning using linear support vector machines. *arXiv preprint arXiv:1306.0239*.
- Tarando, S. R., Fetita, C., Faccinotto, A., & Brillet, P. Y. (2016). Increasing CAD system efficacy for lung texture analysis using a convolutional network. In *Medical Imaging 2016: Computer-Aided Diagnosis (Vol. 9785, p. 97850Q)*. International Society for Optics and Photonics.
- Team, D. J. D. (2016). *Deeplearning4j: Open-source distributed deep learning for the JVM*. Apache Software Foundation License, 2.
- Team, T. T. D., Al-Rfou, R., Alain, G., Almahairi, A., Angermueller, C., Bahdanau, D., ... & Belopolsky, A. (2016). Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions. *arXiv preprint arXiv:1605.02688*.
- Uijlings, J. R., Van De Sande, K. E., Gevers, T., & Smeulders, A. W. (2013). Selective search for object recognition. *International journal of computer vision*, 104(2), 154-171.
- Vakalopoulou, M., Karantzalos, K., Komodakis, N., & Paragios, N. (2015). Building detection in very high resolution multispectral data with deep learning features. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International (pp. 1873-1876)*.
- van Grinsven, M. J., van Ginneken, B., Hoyng, C. B., Theelen, T., & Sánchez, C. I. (2016). Fast convolutional neural network training using selective data sampling: Application to hemorrhage detection in color fundus images. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(5), 1273-1284.
- Vincent, P., Larochelle, H., Bengio, Y., & Manzagol, P. A. (2008). Extracting and composing robust features with denoising autoencoders. In *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning (pp. 1096-1103)*. ACM.

- Vincent, P., Larochelle, H., Lajoie, I., Bengio, Y., & Manzagol, P. A. (2010). Stacked denoising autoencoders: Learning useful representations in a deep network with a local denoising criterion. *Journal of Machine Learning Research*, 11(Dec), 3371-3408.
- Vinyals, O., Kaiser, Ł., Koo, T., Petrov, S., Sutskever, I., & Hinton, G. (2015). Grammar as a foreign language. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 2773-2781).
- Wan, L., Zeiler, M., Zhang, S., Le Cun, Y., & Fergus, R. (2013). Regularization of neural networks using dropconnect. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 1058-1066).
- Werbos, P. (1974). Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavior science. Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University.
- Xu, Y., Dai, Z., Chen, F., Gao, S., Pei, J., & Lai, L. (2015). Deep learning for drug-induced liver injury. *Journal of chemical information and modeling*, 55(10), 2085-2093.
- Yadav, N., Yadav, A., & Kumar, M. (2015). History of Neural Networks. In *An Introduction to Neural Network Methods for Differential Equations* (pp. 13-15). Springer, Dordrecht.
- Yang, S., Luo, P., Loy, C. C., & Tang, X. (2015). From facial parts responses to face detection: A deep learning approach. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 3676-3684).
- Yoo, Y., Tang, L. W., Brosch, T., Li, D. K., Metz, L., Traboulsee, A., & Tam, R. (2016). Deep learning of brain lesion patterns for predicting future disease activity in patients with early symptoms of multiple sclerosis. In *Deep Learning and Data Labeling for Medical Applications* (pp. 86-94). Springer, Cham.
- You, Y., Zhang, Z., Hsieh, C. J., Demmel, J., & Keutzer, K. (2017). 100-epoch ImageNet training with alexnet in 24 minutes. ArXiv e-prints.
- Yu, D., Eversole, A., Seltzer, M., Yao, K., Huang, Z., Guenter, B., ... & Droppo, J. (2014). An introduction to computational networks and the computational network toolkit. Microsoft Technical Report MSR-TR-2014-112.
- Yu, J., Weng, K., Liang, G., & Xie, G. (2013). A vision-based robotic grasping system using deep learning for 3D object recognition and pose estimation. In *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 1175-1180).
- Zeiler, M. D., & Fergus, R. (2013). Stochastic pooling for regularization of deep convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1301.3557.
- Zeiler, M. D., Ranzato, M., Monga, R., Mao, M., Yang, K., Le, Q. V., ... & Hinton, G. E. (2013). On rectified linear units for speech processing. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 3517-3521).
- Zhang, F., Du, B., Zhang, L., & Xu, M. (2016). Weakly supervised learning based on coupled convolutional neural networks for aircraft detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(9), 5553-5563.
- Zhang, Q., Xiao, Y., Dai, W., Suo, J., Wang, C., Shi, J., & Zheng, H. (2016). Deep learning based classification of breast tumors with shear-wave elastography. *Ultrasonics*, 72, 150-157.
- Zhang, R., Isola, P., & Efros, A. A. (2016). Colorful image colorization. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 649-666). Springer, Cham.
- Zhang, Y., Sohn, K., Villegas, R., Pan, G., & Lee, H. (2015). Improving object detection with deep convolutional networks via bayesian optimization and structured prediction. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 249-258).
- Zhao, W., & Du, S. (2016). Spectral-spatial feature extraction for hyperspectral image classification: A dimension reduction and deep learning approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(8), 4544-4554.
- Zhihong, C., Hebin, Z., Yanbo, W., Binyan, L., & Yu, L. (2017). A vision-based robotic grasping system using deep learning for garbage sorting. In *Control Conference (CCC)*, 2017 36th Chinese (pp. 11223-11226).
- Zhu, Y., Urtasun, R., Salakhutdinov, R., & Fidler, S. (2015). segdeepm: Exploiting segmentation and context in deep neural networks for object detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015 IEEE Conference on (pp. 4703-4711).
- Zitnick, C. L., & Dollár, P. (2014). Edge boxes: Locating object proposals from edges. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 391-405). Springer, Cham.

Zou, Q., Ni, L., Zhang, T., & Wang, Q. (2015).
Deep learning based feature selection for
remote sensing scene
classification. *Geoscience and Remote
Sensing Letters*, 12(11), 2321-2325.

Deep Learning and Application Areas

Extended abstract

Deep learning is a part of learning a machine. From the beginning of the machine learning to the day-to-day, interest in artificial intelligence has increased steadily and has enabled the emergence of deep learning architects, the most commonly used artificial intelligence algorithms. Along with the deep learning architectures, many deep learning approaches have been developed for solving artificial intelligence problems. It produces intelligent solutions for a variety of fields such as industry, medicine, robotics, image processing, computer vision, object detection, sound processing-recognition, translation, future prediction, financial. In this study, deep learning architectures and algorithms were examined and their achievements were evaluated on the basis of their application areas in the literature. Deep learning architectures as well as libraries used for deep learning were included. However, there are deep learning architectures designed to solve different problems.

Machine learning involves computer-like approaches to decision-making. These decision-making approaches are situations that reflect human intellectual abilities such as visual, auditory, interpretation-based approaches, prediction, etc. At the base of machine learning is a mathematical modeling structure of a nerve cell. Artificial intelligence approaches have evolved from a neural cell to artificial human approaches called modern learning systems with many different approaches.

Deep learning has been put on top of previous approaches and results have been obtained with high accuracy. These deep learning approaches that were launched in 2006 and gradually become widespread in the following years bring together different architects. LeNet, AlexNet, VggNet, ZfNet, GoogleNet and many other deep learning architectures. Every architecture has moved towards achieving higher performance. The layered structures found in the architects have increased day by day and quite high-tier architects have been created.

Deep learning libraries have been developed with the purpose of enabling deep learning architects

to be used on different platforms and software. In these libraries, source code is provided to make architects more comfortable, to make additions to architects, to increase performance and to develop these approaches. There are libraries that can be used in many programming languages. Both the application software and the internet library are available. Open source libraries provide convenience for users dealing with deep learning. TensorFlow, Caffe, Theano, Torch, Deeplearning4j, Keras, Lasagne, Digit, Cognitive Network Toolkit, Pylearn2, Mxnet are some of the deep learning libraries. These libraries provide support for different programming languages. There are language support such as C / C ++, C #, Python, Matlab, Java, R programming, Javascript, Lisp, .Net, Julia, Haskell, Lua.

Deep learning architects use many areas. The most common areas are computer vision, classification, object detection, sound, medical, future prediction, finance, robotics. Many studies in these areas are used in today's technology. Studies such as translation systems, disease diagnostics, financial forecasting, drug production, robot vision, robot learning, voice recognition, image recognition, image classification, new image generation, image classification, object detection and image interpretation have been studied. It is included in many structures with the successful results obtained. Unmanned weather and land vehicles are one of the most obvious examples.

He has been actively involved in many aspects of human life. Hospitals are used in security systems, defense industry, production, financial systems. Many large companies are doing serious research to develop deep learning architects. Google, Microsoft, Baidu, IBM, Apple, Nvidia, Facebook, Twitter, Amazon are some of these companies.

Keywords: *Deep learning, Artificial neural networks, Deep CNN, Convolutional neural networks.*



Avuç açma/kapama hareketine dayalı EMG işaretlerin dalgacık dönüşümü tabanlı sınıflandırılması

Necmettin SEZGİN*,¹

¹ Batman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman
necmettin.sezgin@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4893-6014, Tel: (488) 217 41 41

Geliş: 06.04.2018, Kabul Tarihi: 30.04.2018

Öz

Bu çalışmada, elektromiyogram (EMG) işaretleri kullanılarak avuç açma/kapama hareketinin sınıflandırılması ile birlikte extensör ve flexör tendonların sınıflandırmadaki etkileri araştırılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte, akıllı protez el ihtiyacı hızla artmaktadır. Bu amaçla ön kolun ön ve arka kısımlarından yüzey elektrotlarla toplam 32 kişiden ölçülen EMG işaretleri zaman frekans teknikleri ile analiz edilerek avuç aç/kapa hareketinin sınıflandırılması farklı sınıflandırıcılar ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir kanaldan ve eş zamanlı elde edilen EMG işaretlerin sınıflandırma üzerindeki başarımları gösterilerek karşılaştırılmıştır.

Kısa süreli Fourier dönüşümünün yetersiz kaldığı EMG gibi durağan olmayan işaretlerin analizi için ayrık dalgacık dönüşümünün (ADD) kullanılması iyi bir çözümdür. ADD ile alt bantlarına ayrıştırılan işaretler yüksek frekanslarda yüksek zaman çözünürlüğü, düşük frekans çözünürlüğü ve düşük frekanslarda yüksek frekans çözünürlüğü, düşük zaman çözünürlüğü sağlar. ADD analizi sonucu öznelikler elde edilerek bu özellikler farklı sınıflandırıcıların eğitim ve testi için kullanıldı. Bütün veriler 10 kat çapraz doğrulama tekniği ile sınıflandırıcıların hem eğitim hem de test aşamalarında kullanılmıştır. Kullanılan sınıflandırıcılardan en iyi sonuç aşırı öğrenme makineleri (ELM) ile %97.25 olarak elde edildi.

Yapılan bu çalışma ile biyomedikal alanında yükselen teknoloji ile birlikte akıllı protez el yapımının geliştirilmesine katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: EMG; Ayrık dalgacık dönüşümü; Aşırı öğrenme makinesi; Sınıflandırma

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Son yıllarda akıllı sistemlerin gelişimi, beraberinde bu sistemlerin biyomedikal mühendisliği alanında kullanma ihtiyacını getirmiştir. Akıllı yapay organlar, otomatik teşhis sistemleri bu alanda en çok gelişmeye ihtiyaç duyulan araştırma alanları olmuştur. Bu çalışmada, sağlıklı yetişkinlerden kayıt edilen kas işaretleri (Electromyogram-EMG) kullanılarak avuç açma/kapama hareketleri sınıflandırılmıştır. Ayrıca avuç açma/kapama esnasında extensör ve flexör kas demetlerinin sınıflandırma üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu amaçla, 32 bireyden alınan iki kanal EMG işaretleri çalışmada kullanılmıştır. Elde edilen EMG işaretleri 500 Hz frekansa kadar işaret bileşenleri barındırmaktadır.

EMG işareti çok fonksiyonlu protezler, tekerlekli sandalye navigasyonu, yürüyüş oluşturma, kavrama kontrolü, sanal klavyeler ve hareket tabanlı ara yüzler gibi uygulamalar için bir kontrol işareti olarak kullanılmaktadır (Oskoei ve Hu, 2007).

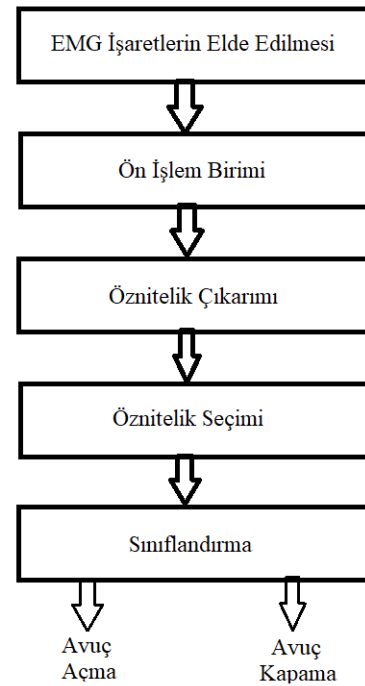
Literatüre bakıldığında el/bilek işlevleri ile bağımsız parmak hareketleri arasındaki ayırımı yapmak için sınıflandırma doğruluğu %95'e kadar ulaşmıştır (Hudgins vd., 1993; Englehart vd., 2001; Karlik vd., 2003).

Yapılan bazı çalışmalara bakıldığında el hareketlerinin kontrolü amaç edilerek kas işaretleri sınıflandırılmıştır. Bunlardan Mahdi ve Mehran (2007) bulanık çıkarım sistemi ile %95 oranında el hareketlerini EMG işaretini kullanarak sınıflandırmışlardır. Zihzeng ve arkadaşları (2004) yüzey elektrotlarla ön koldan alınan EMG işaretlerinin güç spektrumu katsayılarını ve Bayes istatistiksel algoritmasını kullanarak sınıflandırma işlemi yapmışlar ve %84 oranında başarı elde etmişlerdir. Engin ve arkadaşları (2015) 6 farklı el hareketini EMG işaretlerini kullanarak doğrusal ayırma analizi sınıflandırıcısı ile %94,68±3,58 doğrulukta başarı elde etmişlerdir.

Diğer taraftan Zeghib ve arkadaşları (2005) başparmak, işaret parmak ve orta parmak

hareketlerini ön koldan kayıt edilen EMG işaretlerini kullanarak bulanık sistem sınıflandırıcısı ile %92,16 doğrulukta sınıflandırmayı başarmışlardır. EMG işareti kullanılarak yapılan parmak hareketi sınıflandırmasında %94.6 başarı gösterilmiştir (Sezgin vd. 2017).

Yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, ham olarak BIOPAC MP150 kayıt cihazı ile kayıt edilen EMG işaretleri ön işlemden geçirildikten sonra öznelikleri oluşturulmuştur. Elde edilen öznelikler aşırı öğrenme makinesi ile eğitilip test edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen başarı oranı en yüksek %97.25 ile her iki kanala ait özelliklerin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir. Ayrıca her bir kanal için ayrı ayrı sınıflandırma başarı oranları gösterilerek extensör ve flexör tendonların bulunduğu deri üzerinden kayıt edilen EMG işaretleri ile de sınıflandırıcı performansı üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Her iki kanal EMG işaretleri için sınıflandırıcı başarıları karşılaştırıldığında avuç kapatmada flexör işaretleri daha etkili iken avuç açmada ise extensör işaretlerin daha etkili olduğu görülmüştür. Çalışmanın genel blok diyagramı Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen modelin blok diyagramı.

Blok diyagramda gösterilen her aşama aşağıda açıklanmıştır.

EMG işaretlerin elde edilmesi: Burada toplam 32 yetişkin bireyden ve iki kanaldan yüzey EMG işaretleri saniyede 1000 örnek alınarak kayıt edilmiştir.

Ön işlem birimi: Bu bölümde ham EMG işaretleri 1 saniyelik pencereler ile bölütlere ayrıştırılmıştır. Böylece bütün denekler için her iki kanala ait EMG işaretleri bölütlere ayrıştırılmıştır.

Öznitelik Çıkarımı: Çalışmanın bu bölümünde 8 seviyeli ADD sonucu oluşan alt bantlardaki bazı istatistiksel değerler hesaplanarak öznitelikler oluşturuldu.

Öznitelik seçimi: Elde edilen özniteliklerden sınıflandırmada en fazla etki değerine sahip özellikler ELM yöntemi ile seçildi. ELM ile öznitelik seçimi metodu (Sezgin, 2017) çalışmasında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

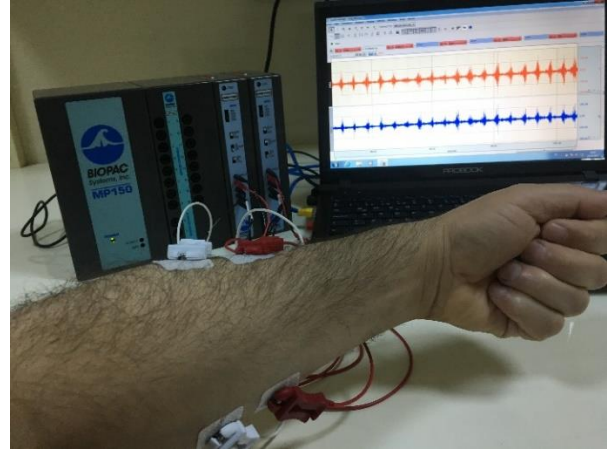
Sınıflandırma: Bu son aşamada seçilen özellikler matrisi sınıflandırıcıların eğitim ve test aşamalarında kullanılmıştır. Bütün veriler için seçilen özellikler hem eğitim hem de test aşamalarında 10 kat çapraz doğrulama yöntemine göre kullanılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Veri Toplama

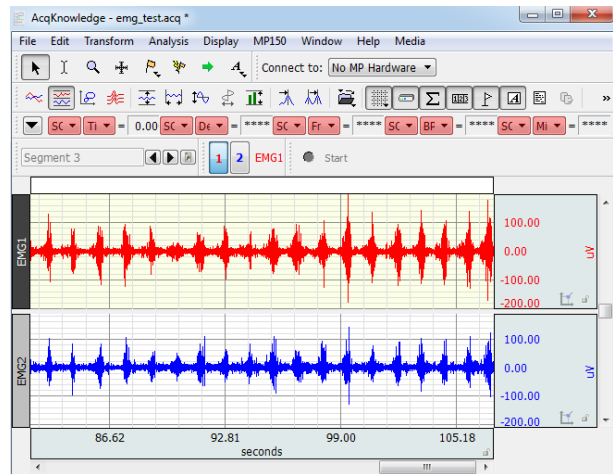
Bu çalışmada kullanılan veriler Batman Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Biyomedikal Araştırma Laboratuvarında kayıt edilmiştir. Kayıt için BIOPAC marka MP150 model cihaz ile eş zamanlı iki kanaldan yüzey EMG işaretleri saniyede 1000 örnek alınarak sayısallaştırılmıştır. Önkolun arka kısmında bulunan ve radyal sinir tarafından kontrol edilen kaslar extensör niteliktedir. Önkolun ön

kısımında bulunan kaslar ise medyan sinir ve ulnar sinirce kontrol edilir ve flexor niteliktedir. Veri kayıt sistemi Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’de gösterilen kayıt grafiğinde kanal 1 için extensör ve kanal 2 için de flexor nitelikteki kas aktivitelerine dayalı EMG işaretleri ölçülmüştür. EMG işaretlerini kuvvetlendirmek için MP150 veri kayıt sistemi ile birlikte 2000 kazançla ayarlanmış enstrümantasyon kuvvetlendiricisi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere yaş ortalamaları 22 olan 18 erkek ve 14 kadın olmak üzere toplam 32 kişiden ve her bir kişiden yaklaşık 10’ar saniyelik 5’er örnek alınmıştır.



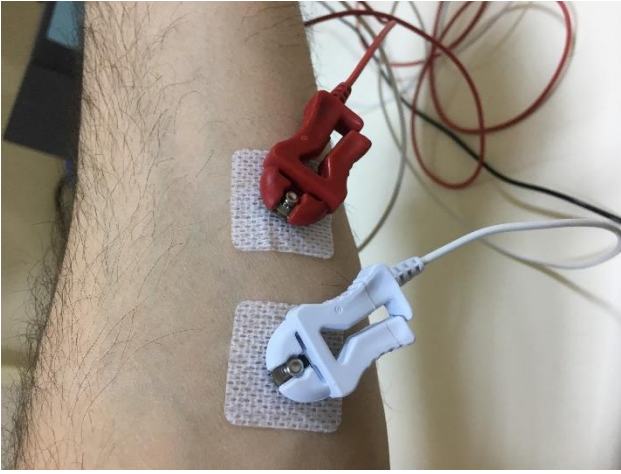
Şekil 2. Yüzey EMG veri kayıt sistemi

MP150 kayıt sisteminin el açma/kapama esnasında EMG işaretlerin kanal 1 ve kanal 2’den kayıt edilmesi Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. EMG işaretlerinin kayıt edilmesi esnasında MP150 cihazının ara yüzü.

Kayıt edilen ham veriler el aç/kapa hareketinin en az bir tam periyodunu barındıran 1'er saniyelik bölütler halinde eş zamanlı kayıt edilen her iki kanal için ayrıştırılmıştır. Bu şekilde her bir deneğe ait 100 (2 kanala ait 5'er örnek ölçüm ve her örnek için 10'ar saniyelik ölçümler) örnek oluşturulmuştur. Kanal 2'den ölçülen flexör tendon üzerinden yapılan bir kayıt için elektrot bağlantısı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Flexör tendon üzerinden EMG ölçümü gösterimi.

Ayrık dalgacık dönüşümü

Kısa süreli Fourier dönüşümünden (KSFD) farklı olarak dalgacık dönüşümü durağan olmayan işaretlere başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Dalgacık dönüşümü ile yüksek frekanslarda yüksek zaman çözünürlüğü, düşük frekans çözünürlüğü ve düşük frekanslarda ise düşük zaman çözünürlüğü ile yüksek frekans çözünürlüğü sağlanır. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) dalgacık dönüşümünün özel bir durumu olup aşağıdaki ifade ile tanımlanır (Koçyiğit ve Korurek, 2005),

$$W(j, k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{-j/2} \psi(2^{-j}n - k) \quad (1)$$

Burada x ayrık işareti ve ψ ana dalgacığı ifade etmektedir. ADD Mallat algoritması mantığı ile çalışarak işareti, yaklaşıklık ve ayrıntı katsayılarına ayrıştırarak işaretin farklı frekans bantlarında farklı çözünürlükler sağlar (Mallat, 1989).

ADD ile zamandaki bir işaret yüksek ve alçak frekans geçiren filtreler ile iki frekans bandına ayrıştırılır. Bu şekilde her alt bant içinde filtreler kullanılarak istenilen bantlardaki frekans bileşenleri elde edilir. Her bir seviye için ayrıştırma işlemi aşağıda verilen iki denklem ile gerçekleştirilmektedir (Koçyiğit ve Korurek, 2005).

$$Y_H[k] = \sum_n x[n]g[2k - n] \quad (2)$$

$$Y_L[k] = \sum_n x[n]h[2k - n] \quad (3)$$

Burada Y_H ve Y_L , 2 ile alt örnekleme sonrası sırasıyla yüksek geçiren (g) ve alçak geçiren (h) filtre çıkışlarıdır.

Literatürde farklı dalgacık çeşitleri mevcuttur. Bunlardan bazıları, Daubechies, Symlet, Coiflet, Biortogonal dalgacıklarıdır. EMG işaretinin yapısı ve şekli itibari ile daha uygun olan Daubechies ana dalgacığı bu çalışmada kullanılmıştır.

ADD özniteliklerinde 1 saniyelik pencerelerin dalgacık dönüşümü hesaplanmış ve öznitelikler elde edilmiştir. Öznitelik çıkarımında, ADD katsayıları, seçilen ana dalgacık Db4 kullanılarak her bölüt için hesaplanmıştır. Bu şekilde işaretler, 8 ayrıntı ve 1 yaklaşıklık katsayısı oluşturacak şekilde 8 seviyeye kadar indirilmiştir. 8 seviyeli ADD sonucu oluşan bu katsayıların ortalama, varyans, standart sapma, etkin değer, entropi, maksimum, minimum gibi istatistiksel değerleri kullanılarak elde edilen öznitelik vektörünün uzunluğu $9 \times 7 = 63$ ' dir. ADD ile EMG işaretleri en düşük alt bant frekanslarına ayrıştırılmış ve bütün olasılıklar için özellikler çıkarılarak test edilmiştir ve en iyi sonucun 8. seviye ADD alt bantlarındaki dalgacık

katsayılarına ait özelliklerin kullanılması ile elde edildiği görülmüştür.

Aşırı öğrenme makineleri

Aşırı öğrenme makineleri (ELM) Huang ve arkadaşları (2006) tarafından ortaya konulan tek gizli katmanlı, ileri beslemeli yapay sinir ağıdır (YSA). ELM ağında giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar rastgele üretilirken, gizli katman ile çıkış katman arasındaki ağırlıklar analitiksel olarak hesaplanmaktadır. ELM ağında hücreleri aktive etmek için Sigmoid, Sine, Gaussian ve Hard-limit gibi aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır (Huang vd., 2006). ELM'de başarılı bir performans elde etmek için ağı yüksek öğrenme oranı ile arzu edilen en az hataya yakınsaması gerekir. İleri beslemeli ağı yakınsaması, seçilen öğrenme oranına ve momentuma bağlıdır. ELM'nin diğer algoritmalara göre en büyük avantajı yerel minimumlara yakınsamamasıdır (Huang vd., 2006).

Bir $X = \{\mathbf{x}_j\}$ veri seti için ağı çıkışı $Y = \{\mathbf{y}_j\}$ olsun. Ağı gerçek çıkışı ise $O = \{\mathbf{o}_j\}$ şeklinde ve $j \in [1, N]$ giriş/çıkış vektör sayısını göstermektedir. Bu durumda gizli katmanda M hücre bulunan ağı matematiksel ifadesi şu şekilde olur (Rong vd., 2008),

$$\sum_{i=1}^M \beta_i g(\mathbf{w}_i \mathbf{x}_j + b_i) = \mathbf{o}_j \quad ; \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

Burada $\mathbf{x}_j = [x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jn}]^T$ ve $\mathbf{o}_j = [o_{j1}, o_{j2}, o_{j3}, \dots, o_{jm}]^T$ sırasıyla i . döngüdeki giriş ve çıkış vektörleri ve b_i bias değeri ifade etmektedir. $\mathbf{w}_i = [w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, \dots, w_{in}]$ giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklardır. β_i değerleri de gizli katman ile çıkış katmanı arasında hesaplanan ağırlıklardır. Denklemdaki bu değerler $\mathbf{x}_j \in \mathbb{R}^n$; $\mathbf{o}_j \in \mathbb{R}^m$; $\mathbf{w}_i \in \mathbb{R}^n$ ve ağırlık matrisi $\mathbf{w} \in \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^n$ şeklinde tanımlıdır ve $i \in [1, m]$, $j \in [1, n]$ değerlerini alır. Denklemdaki $g(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonudur. Ağı modelinde amaç maliyet fonksiyonunu en aza indirmek

olduğundan β değerleri bunun için ayarlanmaktadır. Bu durumda ağı çıkışındaki toplam hataların karesi şu şekilde ifade edilir,

$$\sum_{j=1}^N (o_j - y_j)^2 \quad (5)$$

ELM ağı için çıkışı veren denklem aşağıdaki gibi de ifade edilebilir (Huang vd., 2006),

$$\mathbf{H}\beta = \mathbf{Y} \quad (6)$$

Burada \mathbf{H} , β and \mathbf{Y} (Rong vd., 2008) de tanımlandığı gibi sırasıyla gizli katman çıkış matrisi, gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar ve çıkış değerleridir. Denklemi tekrar ifade etmek gerekirse,

$$\hat{\beta} = \mathbf{H}^+ \mathbf{Y} \quad (7)$$

burada \mathbf{H}^+ , \mathbf{H} matrisinin genelleştirilmiş tersidir ve *Moore–Penrose* matrisi olarak tanımlanmaktadır (Serre, 2002; Rao ve Mitra, 1971). ELM üç adımda özetlenebilir (Huang vd., 2006; Liang vd., 2006),

1. Giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar $\mathbf{w}_i = [w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, \dots, w_{in}]$ ve b_i değeri rastgele seçilir.
2. Gizli katman hücrelerine ait çıkış matrisi \mathbf{H} ve onun tersi \mathbf{H}^+ matrisi bulunur.
3. Gizli katman ile çıkış arasındaki ağırlıklar $\hat{\beta} = \mathbf{H}^+ \mathbf{Y}$ ifadesi ile hesaplanır.

Deneysel çalışma ve başarımlar

Bu çalışmada önerilen yöntemle avuç açma/kapama hareketi ile EMG işaretleri iki gruba ayrıştırılmıştır. Bunun için sınıflandırma aşamaları sırasıyla şu işlemlerden geçmiştir: İlk olarak, bütün denekler için kayıt edilen EMG işaretleri 1 saniyelik epoklara bölünmüştür. İkinci olarak, bölütlenmiş EMG işaretleri ADD ile frekans alt bantlarına ayrıştırılmıştır. Daha sonra her alt banttaki dalgacık katsayılarına ait bazı istatistiksel veriler hesaplanarak özellik matrisi oluşturuldu. Son aşamada ise, elde edilen

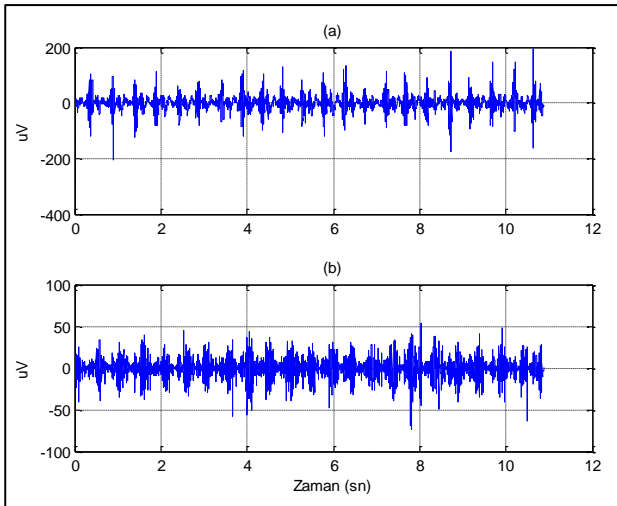
özellik matrisi sınıflandırıcıların girişine verilerek avuç açma/kapama'ya dayalı olarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, alt bant frekanslardaki dalgacık katsayılarına ait ortalama, varyans, standart sapma, etkin değer, entropi, maksimum ve minimum değerleri bulunarak özellik matrisi elde edildi. Her bir istatistiksel özellik EMG işaretine ait kendine özgü frekans ve faz bilgisine sahiptir. Bu şekilde her bir denek için 100x63 boyutunda özellik matrisleri oluşturulmuştur. Tablo 1'de her bir özelliğin sınıflandırmadaki etkisi gösterilmiştir. Kullanılan özelliklerden varyansın hem avuç açmada hem de kapatmada en yüksek etki

değerine sahip olduğu görülmüştür. Düşük etki değerlerine sahip olmaları ve elde edilen en iyi özelliklerin seçimi dolayısıyla maksimum ve minimum özellikler ağ eğitim ve testlerinde kullanılmamıştır. Dolayısıyla elde edilen özellik matrisleri her bir denek için 100x45 boyutuna indirilmiştir.

Örnek gösterim amaçlı, bir deneğe ait avuç açma/kapama esnasında extensör ve flexör tendonları üzerinden ölçülen EMG işaretleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Avuç açma/kapama için elde edilen özelliklerin etki değeri.

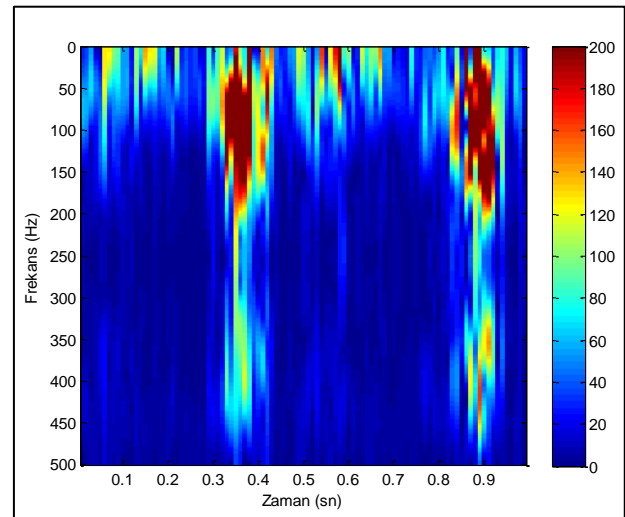
Özellik	Avuç açma	Avuç kapama
Ortalama	3.55	3.62
Varyans	7.45	6.84
Standart sapma	3.86	3.99
Etkin değer	4.25	3.86
Entropi	0.82	0.88
Maksimum	0.45	0.68
Minimum	0.41	0.23



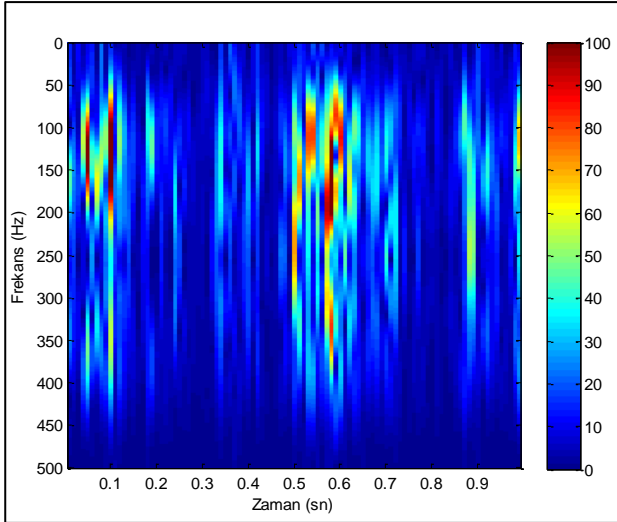
Şekil 5. Avuç aç/kapa esnasında (a) extensör ve (b) flexör tendonlarına ait EMG işaretleri.

Şekil 5'teki işarete ait ADD sonucu elde edilen zaman frekans gösterimi her bir EMG kanalı için

şirısıyla Şekil 6 (extensör) ve Şekil 7'de (flexör) gösterilmiştir.



Şekil 6. Kanal_1 (extensör) zaman-frekans gösterimi



Şekil 7. Kanal_2 (flexör) zaman-frekans gösterimi

Şekil 6 ve 7 karşılaştırıldığında eş zamanlı kayıt edilen kanal 1 ve kanal 2'ye ait EMG

işaretlerinin zamandaki frekans dağılımları farklılık göstermektedir. Kanal 2'de dalgacık katsayıları daha yüksek frekanslarda ve daha geniş bir bant aralığına dağılırken, kanal 1'de alçak düşük frekanslarda daha dar bir bant aralığında fakat daha yüksek değerlerde dalgacık katsayıları kendini göstermiştir. Bu durum her iki kanalın avuç açma/kapama ayırımında farklı etkilere sahip olduğunun bir göstergesidir.

Karşılaştırma amaçlı ELM'de kullanılan özelliklerin tamamı SVM ile de eğitildi ve test edildi. ELM ve SVM sınıflandırıcıları sırasıyla Tablo 2 ve 3'te verilen parametreler ile eğitildi ve test edildi. EMG işaretlerin işlenmesi ve sınıflandırıcıların eğitim ve testleri MATLAB programı kullanılarak Windows 7, Core i7 CPU, 2.50 GHz ve 16 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirildi.

Tablo 2. ELM eğitim parametreleri

Ağ Parametreleri	Değer
Gizli katman hücre sayısı	120
Aktivasyon fonksiyonu	Log-sigmoid
Eğitim süresi	0.015sn

Tablo 3. SVM eğitim parametreleri

Ağ Parametreleri	Değer
Destek vektör sayısı	110
Aktivasyon fonksiyonu	Gaussian
Çekirdek yayılım sabiti	3.0
Eğitim süresi	2.33sn

ELM ağı birçok aktivasyon fonksiyonu kullanılarak test edildi. Kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından en iyi başarımın Sigmoid fonksiyonu (Mitchell, 1997) ile elde edildiği

görüldü. Kullanılan bütün aktivasyon fonksiyonlarına ait ELM'deki başarım oranları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Table 4. Farklı aktivasyon fonksiyonları için ELM başarımları oranları.

Aktivasyon fonksiyonu	Performans (%)	Test işlem süresi (sn)
Sigmoid	97.25	<0.00001
Sine	93.75	<0.00001
Hardlim	96.44	<0.00001
Triangular Basis	89.06	<0.00001
Radial basis	93.75	<0.00001

Sınıflandırıcıların başarımları duyarlılık, özgüllük ve doğruluk yönünden test edilerek gösterilmiştir. Bu parametreler aşağıdaki denklemler ile ölçülmektedir.

$$Duyarluluk = \frac{TP}{TP+FN} \quad (14)$$

$$Özgüllük = \frac{TN}{TN+FP} \quad (15)$$

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (16)$$

Burada, *TP* doğru pozitif, *TN* doğru negatif, *FP* yanlış pozitif ve *FN* yanlış negatif ifade etmektedir.

Her iki sınıflandırıcı için de 10 kat çapraz doğrulama yöntemine göre test sonuçları Tablo

5'te gösterilmiştir. Tablo 5'te hem kanal 1 (extensör) hem kanal 2 (flexör) hem de her iki kanal ile birlikte ölçülen EMG işaretleri değerlendirilerek sınıflandırma başarımları ölçüleri gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında her iki kanalın birlikte değerlendirilmesi ile en yüksek başarımları ELM ile %97.25 olarak elde edildiği görülmektedir. Diğer taraftan yine ELM ile hem kanal 1 için hem de kanal 2 için SVM'ye göre daha yüksek başarımları elde edilmiştir. Fakat kanalların ayrı değerlendirilmesi ile elde edilen başarımları sonuçları, kanalların birlikte değerlendirilmeleri sonucu elde edilen başarımları sonucundan daha düşük çıktığı görülmüştür. Kanal 1 ve kanal 2 için en iyi sınıflandırma başarımları ELM ile sırasıyla %95.12 ve %94.66 olarak bulunmuştur.

Tablo 5. ELM ve SVM için 10 kat çapraz doğrulamaya göre test sonuçları

Ağ Parametreleri	Her iki kanal birlikte		Kanal 1 (Extensör)		Kanal 2 (Flexör)	
	ELM	SVM	ELM	SVM	ELM	SVM
Duyarluluk (%)	99.10	98.25	98.99	98.10	98.87	97.33
Özgüllük (%)	98.84	96.09	98.76	95.56	97.25	96.74
Doğruluk (%)	97.25	94.55	95.12	92.01	94.66	92.34

Sonuçlar ve tartışma

Yapılan bu çalışmada insan avucunu açık kapatarak kayıt edilen EMG işaretlerin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Toplam 32 denekten alınan kayıtlar değerlendirilerek ELM ve SVM sınıflandırıcıları eğitilip test edilmiştir.

Bütün test sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir. Test sonuçlarına göre en iyi başarımları ELM algoritması ile her iki kanal EMG işaretin beraber kullanıldığı durumda %97.25 olarak gerçekleştirildiği görüldü. Karşılaştırma amaçlı

olarak SVM ile de veriler test edildi. SVM ile ağın eğitimi ve test süreleri ELM'ye göre daha kısa sürmesine rağmen test başarı oranı daha düşük çıkmıştır. Bu durum ile EMG gibi karmaşık işaretlerden elde edilen özelliklerin kullanılmasıyla ELM algoritmasının SVM'ye göre daha iyi doğruluk sonuçları verdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca her bir kanaldan kayıt edilen EMG işaretlerine ait özellikler de ayrı ayrı sınıflandırıcılarda eğitilip test edildi. Kanalların bağımsız olarak kullanılmasıyla ağ üzerindeki başarı oranları, her iki kanalın birlikte kullanılmasıyla elde edilen başarı oranlarına göre daha düşük çıkmıştır. Bu da hem extensör hem de flexör tendonların birlikte değerlendirilmesi ile avuç açma/kapama sınıflandırması üzerinde daha etkili olduğunu göstermiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile elini kaybetmiş kişiler için akıllı protez el yapımında kullanılacak bir çalışma olacağı düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda daha fazla kanal ile EMG ölçümü yapılarak verilerden farklı özellikler de seçilip, elin 360 derece içerisinde farklı pozisyonlara hareketinin sınıflandırılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Engin, E.Z., Taşan, D., Engin, M., (2015) Çok İşlevli Protez El Kontrolü İçin Önkol Elektromiyografi İşaretlerinin Sınıflandırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol.17(1), sayı:49, sayfa:35-46.
- Englehart, K., Hudgins, B. and Parker, P. A., (2001) A Wavelet-Based Continuous Classification Scheme for Multifunction Myoelectric Control, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 48, pp. 302-311,
- Huang, G.B., Zhu, Q.Y., Siew, C.K., (2006) Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, vol.70 (1-3) pp. 489-501.
- Hudgins, B., Parker, P. A. and Scott, R. N., (1993) A New Strategy for Multifunction Myoelectric Control, *IEEE Trnas. Biomed. Eng.*, vol. 40, pp. 82-94.
- Karlık, B., Tokhi, M. O. and Alci, M., (2003) A Fuzzy Clustering Neural Network Architecture for Multifunction Upper-Limb Prostheses, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 50, pp. 1255-1261.
- Koçyiğit, Y., Korurek, M., (2005) EMG işaretlerini dalgacık dönüşümü ve bulanık mantık sınıflayıcı kullanarak sınıflama, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, vol. 4, no. 3 pp.25-31.
- Liang, N.Y., Saratchandran, P., Huang, G.P., Sundararajan, N., (2006) Classification of mental tasks from EEG signals using extreme learning machine, *Int. J. Neural Systems*. Vol.16 (1), pp. 29-38.
- Mahdi, K. and Mehran, J., (2007), A novel approach to recognize hand movements via sEMG patterns, Engineering in Medicine and Biology Society, 29th Annual International Conference of the IEEE.
- Mallat, S. (1989), A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, *IEEE Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693.
- Mitchell, T., (1997) Machine Learning, McGraw-Hill.
- Oskoei, M. A. and Hu, H., (2007) Myoelectric control systems - a survey, *Elsevier - Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 2, no. 4, pp. 275-294.
- Rao, C.R., Mitra, S.K., (1971) Generalized Inverse of Matrices and its Applications, Wiley, New York.
- Rong, H.J., Ong, Y.S., Tan, A.H., Zhu, Z., (2008) A fast pruned-extreme learning machine for classification problem. *Neurocomputing*, vol.72, pp.359-366.
- Serre, D., (2002) Matrices: Theory and Applications, Springer, New York.
- Sezgin, N., Ertuğrul, Ö.F., Tekin, R., Tağluk, M.E., (2017) Classification of hand opening/closing and fingers by using two channel surface EMG signal, *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 16-17 Sept., Malatya, Turkey.
- Sezgin, N. (2017) A new hand finger movements' classification system based on bicoherence analysis of two-channel surface EMG signals, *Neural Comput & Applic*, <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3286-z>
- Zeghib, A., Palis, F., Ben-Ouedzou, F., (2005) EMG-based Finger Movement Classification Using Transparent Fuzzy System, *EUSFLAT-LFA*, pp.816-821.
- Zhizeng, L., Xiaoliang, R., Yutao Z., (2004) Multi-pattern recognition of the forearm movement based on SEMG, *International Conference on Information Acquisition*, IEEE.

Classification of hand opening/closing based discrete wavelet transform by using EMG

Extended abstract

In this study, the classification of hand opening / closing movement as well as the effects of extensor and flexor tendons on the classification were investigated using electromyogram (EMG) signal. With the evolving technology, the need for intelligent prosthetic hand is rapidly increasing. For this purpose EMG signals measured from front and back parts of frontal arm with 2 electrodes were analyzed with time frequency techniques and classification of hand open/close movement was performed with different classifiers. It was also compared against each channel and concurrently showing achievement on the classification of EMG signals. All EMG signals used in this study were obtained from biomedical research laboratory at Batman University. 32 subjects were used in the consideration. For each subject 5 samples which were about 10 seconds long each of the EMG signal were recorded by using BIOPAC MP150 device. All data were recorded with ethical standards. The EMG data were recorded by a sample frequency of 1000 which satisfy Nyquist criteria.

It is a good solution to use discrete wavelet transform (DWT) for the analysis of non-stationary signals such as EMG where short-time Fourier transform (STFT) is insufficient. By using wavelet transform, a high time resolution as well as low frequency resolution are provided at high frequencies and a high frequency resolution as well as low time resolution are provided at low frequencies. With advantages of DWT, in this study, segmented 1-second EMG samples were separated to its frequency sub bands for a level of 8. So, 8 sub bands for detailed and 1 band for approximation were obtained after application of DWT. By this technique 9 sub bands DWT coefficients were determined. Then, the features such as mean, variance, standard deviation, RMS, entropy, maximum and

minimum of sub bands' wavelet coefficients were determined for all samples and feature matrix were constructed.

The obtained features, then, fed to the input of the classifiers in order to classify hand opening/closing. Also the effect of each channel on the classification results were obtained by using extensor and flexor tendon's EMG, separately. All features were used both in the training and testing phases of the networks by using 10-fold cross validation method. Two classification methods namely extreme learning machines (ELM) and support vector machines (SVM) were used to classify hand opening/closing. The ELM has an advantage over some other machine learning methods. ELM has single hidden layer. So, an ELM network may be constructed more easily. The weights between input layer and hidden layer are chosen randomly while the weights between hidden layer and output layer are determined analytically. The best accuracy was obtained 97.25% by using ELM network. The accuracy result for the SVM was obtained as 94.55%. Different activation functions were used in the ELM network and the best result was obtained by using sigmoid activation function. The effect of the extracted features on the accuracy results were also determined by ELM and it was shown that the variance has higher effect on the classification results.

The results obtained from this study may be used to improve intelligent prosthesis hand.

Keywords: *EMG, Discrete wavelet transform, Extreme learning machines, Classification.*



Pozitif Reel Fonksiyonlar için Devre Uygulamaları

Bülent Nafi ÖRNEK*

Amasya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Amasya
nafi.ornek@amasya.edu.tr ORCID: 0000-0001-7109-230X, Tel: (358) 211 50 05 (1465)

Timur DÜZENLİ

Amasya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya
timur.duzenli@amasya.edu.tr ORCID: 0000-0003-0210-5626

Geliş: 11.04.2018, Kabul Tarihi: 07.06.2018

Öz

Matematik biliminde sıklıkla kullanılan ve birçok mühendislik alanında yararlanılan pozitif reel fonksiyonlar, elektrik-elektronik mühendisliğinde empedans fonksiyonu adıyla yer almaktadır. Bu makalede, Schwarz Lemması'nın sınırdaki analizi incelenmiş ve bu analizde elde edilen empedans fonksiyonlarına karşılık gelen devreler araştırılmıştır. Çalışmada sunulan teoremden, $Z(0)=0$ koşulu dikkate alınarak empedans fonksiyonunun türevinin modülünün aşağıdan sınır analizi yapılmıştır ve kesin sonuç elde edilmiştir. Yapılan bu incelemede sağ yarı düzlemde tanımlı olan s_1, s_2, \dots, s_n noktaları dikkate alınarak $Z(s)$ fonksiyonunun değerlendirilmesi daha da kuvvetlendirilmiştir. Ayrıca, bu değerlendirmede $Z(s) = Z(1) + c_1(s-1) + c_2(s-1)^2 + \dots$ fonksiyonunun Taylor açılımındaki birinci ve ikinci katsayıları hesaba katılarak eşitsizlik değerlendirilmiştir. Elde edilen eşitsizliğin eşitlik hali için $Z(s)$ fonksiyonu verilmiştir. $Z(s)$ fonksiyonunun parametreleri değiştirilerek farklı mertebeden empedans fonksiyonları elde edilebilmektedir. Dolayısıyla, sentezi gerçekleştirilen devreler, yapısal olarak farklılık göstermektedir. Çalışma içerisinde sunulan teoremin sonucu olarak genel bir empedans fonksiyonu elde edilmiştir. Bu empedans fonksiyonuna karşılık gelen devre modeli de en genel haliyle verilmiştir. Sonrasında ise, bazı örnek parametre değerleri seçilerek, bu genel devre modelinden türetilen farklı yapıdaki devrelere ait şematikler sunulmuştur. Elde edilen bu devreler, farklı sayıda sıfır ve kutuplara sahiptir. Dolayısıyla, bu sıfır ve kutup noktalarıyla bağlantılı olarak frekans düzleminde farklı sayıda ve farklı noktalarda kritik frekans değerlerine sahip olacaklardır. Buradan yola çıkarak, teorem içerisinde sunulan genel empedans fonksiyonundan farklı türde, dar-bant, bant-geçiren ve bant-durduran devrelerin türetilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Analitik fonksiyon, Schwarz Lemması, Sınır analizi, Empedans fonksiyonu, Devre;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Empedans fonksiyonları, $Z(s)$, kompleks frekans parametresi s 'ye bağlı pozitif reel fonksiyonlardır. Bir empedans fonksiyonu aşağıda verilen pozitif reel fonksiyonlara ait özellikleri taşıdığı takdirde fiziksel olarak gerçekleştirilebilmektedir (Reza, 1962):

1-) $Z(s)$ fonksiyonu $\Re s \geq 0$ 'da, sanal eksen üzerindeki kutuplar haricinde, analitik ve tek değerlidir.

2-) $Z(\bar{s}) = \overline{Z(s)}$

3-) $\Re s \geq 0$ için $\Re Z(s) \geq 0$.

Elektrik mühendisliğinde, pozitif reel fonksiyonların türevleri genellikle devre sentezi ve analizinde kullanılmaktadır (Örnek ve Düzenli, 2018). Bu konuyla ilgili öncü çalışmalardan bir tanesinde empedans fonksiyonunun türevi, elektrik ve manyetik enerjiyi ilişkilendirmek için kullanılmıştır (Van der Pol, 1937). Ayrıca, empedans fonksiyonlarının bazı yeni özelliklerini, bu fonksiyonların türevini kullanarak araştıran çalışmalar da mevcuttur (Huang, 1965; Krueger ve Brown, 1969).

Bu çalışmada, empedans fonksiyonunun türevinin sıfır noktasında analizi gerçekleştirilerek yeni bir teorem sunulmaktadır. Bu teoremden, $Z(0) = 0$ olduğu varsayılarak, empedans fonksiyonunun türevinin modülü aşağıdan değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak, empedans fonksiyonunun türevinin sınırda incelenmesi durumunda ne tür devreler tasarlanabileceği sorusunun cevabı aranmıştır. Bu soruyu cevaplamak amacıyla sınırda Schwarz Lemması kullanılmış olup, empedans fonksiyonlarının analizi $s = 0$ noktasında gerçekleştirilmiştir.

Şimdi, çalışmada sunulacak teoremlerle ilgili ön değerlendirmeler paylaşılacaktır.

\mathbb{C} kompleks düzlem, E sıfır merkezli birim disk ve $T = \partial E = \{z : |z| = 1\}$ olsun. Kompleks fonksiyonlar teorisinin temel konularından biri Schwarz Lemması'dır. Schwarz Lemması, kompleks düzlemdeki birim disk üzerinde tanımlı ve değer kümesi yine birim disk olan

analitik fonksiyonların aldığı değerlerin üzerine tahminler veren önemli bir sonuçtur (Azeroğlu ve Örnek, 2013). Geometrik fonksiyonlar teorisinin, analitik tasvirlerin sabit nokta teorisinin, hiperbolik geometrinin ve analizin birçok diğer alanlarının gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Maksimum modül prensibinin doğrudan uygulaması olan Schwarz Lemması basit ve yaygın olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir (Goluzin, 1966):

Lemma (Schwarz Lemması): E 'de tanımlı analitik bir f fonksiyonu için $f(0) = 0$ ve $|z| < 1$ için $|f(z)| < 1$ olsun. Bu takdirde,

$$|f(z)| \leq |z|, \quad z \in E \quad (1)$$

ve

$$|f'(0)| \leq 1 \quad (2)$$

eşitsizlikleri sağlanır. Bu eşitsizliklerde (birinci eşitsizlikte herhangi bir $z \neq 0$ noktası için) eşitlik durumu yalnızca $|c| = 1$ olmak üzere $f(z) = cz$ olduğunda mümkündür.

$Z(s) = Z(1) + c_1(s-1) + c_2(s-1)^2 + \dots$ fonksiyonu, $H = \{s \in \mathbb{C} : \Re s > 0\}$ sağ yarı düzlemde pozitif reel değerli bir fonksiyon olsun.

Aşağıdaki fonksiyonu tanımlayalım:

$$f(z) = \frac{Z(s) - Z(1)}{Z(s) + Z(1)}, \quad z = \frac{s-1}{s+1} \quad (3)$$

Burada $Z(1)$ pozitif ve reel bir sayıdır. Bu tasvirlerin devre teorisinde önemli kullanım alanları vardır (Richards, 1947). $f(z)$ fonksiyonu birim disk E 'de analitik, $f(0) = 0$ ve $|z| < 1$ için $|f(z)| < 1$ sağlanır. Böylece yukarıda tanımladığımız $f(z)$ fonksiyonu Schwarz Lemması'nın koşullarını sağlar.

Şöyleki;

$$f'(z) = \frac{4}{(1-z)^2} \frac{Z' \left(\frac{1+z}{1-z} \right) Z(1)}{\left(Z \left(\frac{1+z}{1-z} \right) - Z(1) \right)^2} \quad (4)$$

olur. Schwarz Lemması'ndan,

$$f'(0) = \frac{4Z'(1)Z(1)}{(Z(1) + Z(1))^2} = \frac{Z'(1)}{Z(1)} \quad (5)$$

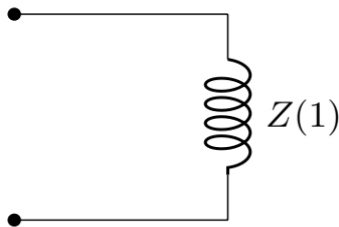
ve

$$|Z'(1)| \leq Z(1) \quad (6)$$

eşitsizliği elde edilir.

Bu eşitsizlikte eşitlik hali, $Z(s) = sZ(1)$ fonksiyonu ile sağlanır.

$Z(s) = sZ(1)$ eşitliği, elektrik devrelerinde değeri $Z(1)$ olan bir bobine karşılık gelmektedir. Bu model, Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. $Z(s) = sZ(1)$ eşitliği için devre modeli.

Bobinler, alternatif akım devrelerinde, yüksek frekans değerleri için yüksek empedans, düşük frekans değerleri için düşük empedans gösterirler. Dolayısıyla, yüksek geçiren filtre karakteristiği gösteren bir filtre elde edilmiş olur.

Birim dairenin kendi kendine konform tasviri

$$k(z) = \frac{z - z_0}{1 - z_0 z} \quad (7)$$

fonksiyonu ile veriliyor, öyle ki, $k(z)$ 'nin tek sıfırı z_0 noktasıdır. $z_1, z_2, \dots, z_n, |z_k| < 1$ noktaları için,

$$B(z) = \prod_{k=1}^n \frac{z - z_k}{1 - z_k z} \quad (8)$$

formülü ile tanımlanmış $B(z)$ fonksiyonu, z_1, z_2, \dots, z_n noktalarında sıfıra sahip, modülü 1'den büyük olmayan analitik fonksiyondur. Buna sonlu Blaschke çarpımı denir. Blaschke çarpımları analizde kullanılan çok önemli fonksiyonlardan olup Schwarz Lemması'nın farklı genellemelerinde de ortaya çıkmaktadır. Böylece, standart metotlarla Schwarz Lemması aşağıdaki şekilde kuvvetlendirilir:

$$|Z'(1)| \leq Z(1) \prod_{k=1}^n \left| \frac{s_k - 1}{s_k + 1} \right| \quad (9)$$

Burada s_1, s_2, \dots, s_n, H bölgesinde noktalar ve $Z(s_k) = Z(1), k = 1, 2, \dots, n$ 'dir. Bu eşitsizlik aşağıdaki ekstremal fonksiyon ile kesindir.

$$Z(s) = \frac{1 - \frac{s-1}{s+1} \prod_{k=1}^n \frac{s+1 - s_k + 1}{1 - \frac{s_k - 1}{s_k + 1} \frac{s-1}{s+1}}{1 + \frac{s-1}{s+1} \prod_{k=1}^n \frac{s+1 - s_k + 1}{1 - \frac{s_k - 1}{s_k + 1} \frac{s-1}{s+1}} Z(1) \quad (10)$$

Burada s_1, s_2, \dots, s_n pozitif reel sayılardır.

Schwarz Lemması'nın sınır versiyonu basit halde şu şekilde verilir:

f, E birim diskinde analitik, $f(0) = 0$ ve $|f(z)| < 1, |z| < 1$ olsun. Ayrıca varsayalım ki, f fonksiyonu bir $b \in T$ noktasına sürekli devam ediyor, $f(0) = 0$ ve $f'(b)$ mevcuttur. Bu takdirde klasik Schwarz Lemması'ndan, sınırda Schwarz Lemması olarak bilinen

$$|f'(b)| \geq 1 \tag{11}$$

eşitsizliği elde edilir. (11)'de eşitlik hali sadece $f(z) = ze^{i\alpha}$, $\alpha \in \mathbb{R}$ olduğunda mümkündür. (11) eşitsizliği ve genellemeleri geometrik fonksiyonlar teorisinde önemli uygulamalara sahiptir. (11) eşitsizliği Osserman tarafından yukarıdaki koşullar altında aşağıdaki şekilde kuvvetlendirilmiştir:

$$|f'(b)| \geq \frac{2}{1 + |f'(0)|} \tag{12}$$

(12) eşitsizliğinde eşitlik hali ($b = 1$ olduğunda) $f(z) = z \frac{z+a}{1+za}$, $0 \leq a \leq 1$ fonksiyonu için gerçekleşir (Osserman, 2000).

Empedans Fonksiyonunun Türevinin Sınırdaki Analizi

Bu kısımda, empedans fonksiyonunun türevinin sınırdaki analiziyle elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır. Pozitif reel fonksiyonların tanımından, $Z(s)$ fonksiyonunun s düzleminin sağ yarı kısmında analitik ve tek değerli olduğunu ifade edebiliriz.

Teorem. $Z(s) = Z(1) + c_1(s-1) + c_2(s-1)^2 + \dots$ ve $Z(s)$ fonksiyonu $Z(0) = 0$ ve sanal eksenin $s = 0$ noktasında analitik olmak üzere, pozitif reel bir fonksiyon olsun. s_1, s_2, \dots, s_n 'nin H bölgesinde noktalar ve $Z(s_k) = Z(1)$, $k = 1, 2, \dots, n$ olduğunu kabul edelim. Bu durumda

$$|Z'(0)| \geq Z(1) \left(1 + \sum_{k=1}^n \frac{\Re s_k}{|s_k|^2} + \frac{2 \left(\left| Z(1) \prod_{k=1}^n \frac{s_k-1}{s_k+1} \right| - |c_1| \right)^2}{\left(\left| Z(1) \prod_{k=1}^n \frac{s_k-1}{s_k+1} \right|^2 - |c_1|^2 + \prod_{k=1}^n \frac{s_k-1}{s_k+1} \left| 2c_2 - c_1^2 + c_1 \left(Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{4\Re s_k}{|s_k|^2 - 2i\Im s_k + 1} \right) \right|} \right) \tag{13}$$

eşitsizliği elde edilir. Bu eşitsizlikte, eşitlik hali $k = 1, 3, 5, \dots, n$ için

$$Z(s) = \frac{1 + \left(\frac{s-1}{s+1} \right)^2 \prod_{k=1}^n \frac{\frac{s-1}{s+1} - \frac{s_k-1}{s_k+1}}{1 - \frac{s_k-1}{s_k+1} \frac{s-1}{s+1}}}{1 - \left(\frac{s-1}{s+1} \right)^2 \prod_{k=1}^n \frac{\frac{s+1}{s-1} - \frac{s_k+1}{s_k-1}}{1 - \frac{s_k-1}{s_k+1} \frac{s-1}{s+1}}} Z(1) \tag{14}$$

fonksiyonu ile sağlanır. Burada s_1, s_2, \dots, s_n pozitif reel sayılardır.

İspat.

$$f(z) = \frac{Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) - Z(1)}{Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) + Z(1)} \tag{15}$$

fonksiyonuna bakalım. $f(z)$ fonksiyonunun sıfırdan farklı olan sıfırları $z_1, z_2, \dots, z_n, |z_k| < 1$ olsun.

$$B_1(z) = z \prod_{k=1}^n \frac{z - z_k}{1 - \overline{z_k} z} \tag{16}$$

fonksiyonu E birim diskinde analitik $|z| < 1$ için $|B_1(z)| < 1$ 'dir. Maksimum prensibinden, her $z \in E$ için $|f(z)| \leq |B_1(z)|$ eşitsizliği elde edilir.

Aşağıdaki fonksiyonu tanımlayalım.

$$h(z) = \frac{f(z)}{B_1(z)} \tag{17}$$

$h(z)$ fonksiyonu E birim diskinde analitik $|z| < 1$ için $|h(z)| < 1$ 'dir.

Özel halde,

$$h(z) = \frac{Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) - Z(1)}{\left[Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) + Z(1)\right] z \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}} \quad (18)$$

$$h(z) = \frac{c_1 \frac{2}{1-z} + c_2 \left(\frac{2}{1-z}\right)^2 z + c_3 \left(\frac{2}{1-z}\right)^3 z^2 + \dots}{\left[2Z(1) + c_1 \frac{2z}{1-z} + c_2 \left(\frac{2z}{1-z}\right)^2 + c_3 \left(\frac{2z}{1-z}\right)^3 + \dots\right] \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}} \quad (19)$$

$$|h(0)| = \frac{|c_1|}{Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|} \quad (20)$$

ve

$$|h'(0)| = \frac{\left|2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k}\right]\right|}{Z^2(1) \prod_{k=1}^n |z_k|} \quad (21)$$

eşitlikleri elde edilir. Ek olarak,

$$\frac{bf'(b)}{f(b)} = |f'(b)| \geq |B'(b)| = \frac{bB'(b)}{B(b)} \quad (22)$$

ifadesinin kolayca sağlandığı görülür. Aşağıdaki gibi yeni bir kompleks $\Phi(z)$ fonksiyonu tanımlayalım:

$$\Phi(z) = \frac{h(z) - h(0)}{1 - \overline{h(0)}h(z)} \quad (23)$$

Bu fonksiyon E birim diskinde analitik $|z| < 1$ için $|\Phi(z)| < 1$, $\Phi(0) = 0$ ve $b = -1 \in \partial E$ için $|\Phi(b)| = 1$ 'dir. Böylece (12) eşitsizliğinden

$$\frac{2}{1+|\Phi'(0)|} \leq |\Phi'(-1)| = \frac{1-|h(0)|^2}{|1-\overline{h(0)}h(z)|^2} |h'(-1)| \quad (24)$$

$$\leq \frac{1-|h(0)|}{1+|h(0)|} \left\{ |f'(-1)| - |B'(-1)| \right\}$$

eşitsizliğini elde ederiz.

$$\left|2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k}\right]\right| \quad (25)$$

$$|\Phi'(0)| = \frac{|h'(0)|}{1-|h(0)|^2} = \frac{Z^2(1) \prod_{k=1}^n |z_k|}{1 - \left(\frac{|c_1|}{Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|}\right)^2}$$

$$= \prod_{k=1}^n |z_k| \frac{\left|2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k}\right]\right|}{\left(Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|\right)^2 - |c_1|^2}$$

ve

$$B_1(-1) = 1 + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{|1+z_k|^2} \quad (26)$$

olduğu için,

$$\frac{2}{1 + \prod_{k=1}^n |z_k| \frac{\left|2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k}\right]\right|}{\left(Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|\right)^2 - |c_1|^2}} \quad (27)$$

$$\leq \frac{1 - \frac{|c_1|}{Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|}}{1 + \frac{|c_1|}{Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k|}} \left\{ \frac{|Z'(0)|}{Z(1)} - 1 - \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{|1+z_k|^2} \right\},$$

$$\frac{2 \left(\left[Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k| \right] - |c_1| \right)^2}{\left(\left[Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k| \right]^2 - |c_1|^2 + \prod_{k=1}^n |z_k| \left| 2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k} \right] \right| \right)} \quad (28)$$

$$\leq \left\{ \frac{|Z'(0)|}{Z(1)} - 1 - \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{|1+z_k|^2} \right\}$$

ve

$$Z(1) \left(1 + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{|1+z_k|^2} \right) + \frac{2 \left(\left[Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k| \right] - |c_1| \right)^2}{\left(\left[Z(1) \prod_{k=1}^n |z_k| \right]^2 - |c_1|^2 + \prod_{k=1}^n |z_k| \left| 2c_2 - c_1^2 + c_1 \left[Z(1) + \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{z_k} \right] \right| \right)} \leq |Z'(0)| \quad (29)$$

eşitsizlikleri sağlanır. Böylece (13) eşitsizliğini elde ederiz.

Şimdi (13) eşitsizliğinin eşitlik durumunu gösterelim.

$$Z\left(\frac{1+z}{1-z}\right) = \left(1 + \frac{2z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}}{1-z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}}\right) Z(1) \quad (30)$$

olsun.

Bu taktirde, her iki tarafın türevini alırsak

$$\begin{aligned} \frac{2}{(1-z)^2} Z'\left(\frac{1+z}{1-z}\right) = & \frac{2z \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z} + z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z} \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{(1-z_k z)(z-z_k)}}{\left(1-z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}\right)^2} Z(1) \\ & + 2 \frac{2z \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z} + z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z} \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{(1-z_k z)(z-z_k)}}{\left(1-z^2 \prod_{k=1}^n \frac{z-z_k}{1-z_k z}\right)^2} Z(1) \end{aligned} \quad (31)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte $z = -1$ yazarsak

$$\begin{aligned} \frac{2}{4} Z'(0) = & \frac{-2 \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k} + \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k} \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{(1+z_k)(-1-z_k)}}{\left(1 - \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k}\right)^2} Z(1) \\ & + 2 \frac{-2 \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k} + \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k} \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{(1+z_k)(-1-z_k)}}{\left(1 - \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k}\right)^2} Z(1) \end{aligned} \quad (32)$$

ve $z_1, z_2, \dots, z_n, |z_k| < 1$ değerleri pozitif reel sayı olduğundan

$$Z'(0) = 4 \frac{-\prod_{k=1}^n \frac{1+z_k}{1+z_k} \left(-2 - \sum_{k=1}^n \frac{1-|z_k|^2}{(1+z_k)} \frac{1}{1+z_k}\right)}{\left(1 - \prod_{k=1}^n \frac{-1-z_k}{1+z_k}\right)^2} Z(1) \quad (33)$$

$$Z'(0) = \left(2 + \sum_{k=1}^n \frac{1-z_k^2}{(1+z_k)^2}\right) Z(1) = Z(1) \left(2 + \sum_{k=1}^n \frac{1-z_k}{1+z_k}\right) \quad (34)$$

eşitliği elde edilir. $z_k = \frac{s_k - 1}{s_k + 1}$ olduğundan dolayı

$$Z'(0) = Z(1) \left(2 + \sum_{k=1}^n \frac{1}{s_k}\right) \quad (35)$$

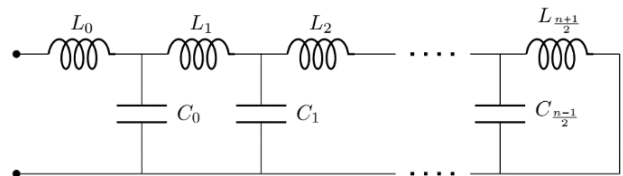
elde edilir. $|c_1| = 0$ ve $|c_2| = \frac{Z(1)}{2} \prod_{k=1}^n \left|\frac{s_k - 1}{s_k + 1}\right|$

olduğundan, (13)'de eşitlik sağlanır.

Teoremden, çift değerler için fonksiyonun keskinliği hakkında bir şey söylenmediğinden, n 'nin tek sayı değeri alacağı varsayılmıştır. Buna göre, n adet çarpım içeren genel empedans fonksiyonu için aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

$$Z(s) = \frac{1 + \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 \prod_{k=1}^n \frac{s-1}{s+1} \frac{s_k-1}{s_k+1}}{1 - \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 \prod_{k=1}^n \frac{s+1}{s-1} \frac{s_k+1}{s_k-1}} Z(1) \quad (36)$$

n 'nin büyük değerler aldığı durumlar için genel devre modeli, Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Büyük n değerleri için genel devre modeli

Örnek olarak, $n = 1$ alındığında

$$Z(s) = \frac{1 + \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 \frac{s-1-s_1-1}{s+1-s_1+1}}{1 - \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 \frac{s-1-s_1-1}{s+1-s_1+1}} Z(1) \quad (37)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem aşağıdaki şekilde düzenlenerek devresi oluşturulacak empedans fonksiyonu elde edilebilir:

$$Z(s) = \frac{s^3 + s(1 + 2s_1)}{(2 + s_1)s^2 + s_1} Z(1) \quad (38)$$

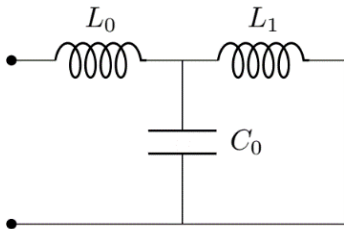
Elde edilen bu empedans fonksiyonuna karşılık gelen devre şeması Şekil 3'te verilmektedir. Buna göre, devrede yer alan elemanların değerleri sırasıyla aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$L_0 = \frac{Z(1)}{s_1 + 2} \quad (39)$$

$$L_1 = \frac{\left(2s_1 - \frac{s_1}{s_1 + 2} + 1\right) Z(1)}{s_1} \quad (40)$$

ve

$$C_0 = \frac{(s_1 + 2)}{\left(2s_1 - \frac{s_1}{s_1 + 2} + 1\right) Z(1)} \quad (41)$$

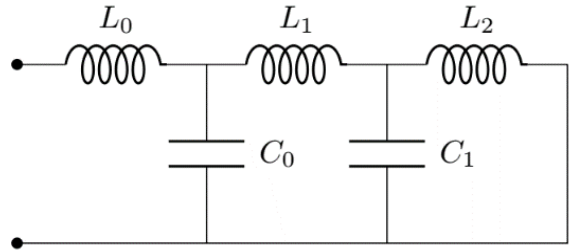


Şekil 3. $n = 1$ için devre eşdeğeri.

Bir başka örnek olarak $n = 3$ alındığı durumda, empedans fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$Z(s) = \frac{s^5 + (2s_1 + 2s_2 + 2s_3 + s_1s_2 + s_1s_3 + s_2s_3 + 1)s^3 + (s_1s_2 + s_1s_3 + s_2s_3 + 2s_1s_2s_3)s}{(s_1 + s_2 + s_3)s^4 + (s_1 + s_2 + s_3 + 2s_1s_2 + 2s_1s_3 + 2s_2s_3 + s_1s_2s_3)s^2 + s_1s_2s_3} Z(1) \quad (42)$$

Bu empedans fonksiyonuna karşılık gelen devre, Şekil 3'te verilen genel devre modelinin $n = 3$ için özelleşmiş hali olacaktır. Şekil 4'te, $n = 3$ durumuna karşılık gelen devre gösterilmektedir. Şeklin anlaşılır olması için, bobin ve sığaçların değerleri verilmemiş, sadece yapı olarak nasıl bir devre modeliyle karşılaşılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 4. $n = 3$ için elde edilen empedans fonksiyonunun devre eşdeğeri

Şekil 3 ve 4'ten görüleceği üzere n değeri büyüdükçe daha kompleks devre şematikleriyle karşılaşılmaktadır. n değerini büyütmenin sonucu olarak empedans fonksiyonunda yer alan sıfırların ve kutupların sayısı da artacaktır. Bununla bağlantılı olarak, dar bant bant-geçiren ve bant-söndüren süzgeç tasarımlarının yapılmasının mümkün olacağı düşünülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik mühendisliğinde sıkça kullanılan empedans fonksiyonlarının Schwarz Lemması'nı kullanarak sınırda analizi yapılmıştır. Çalışmada, $Z(0) = 0$ koşulu altında empedans fonksiyonunun türevinin modülünün aşağıdan sınır analizi yapılmıştır ve sunulan teoremden kesin sonuç elde edilmiştir. Ayrıca, pozitif reel fonksiyonların özellikleri dikkate alınarak, empedans fonksiyonunun değerlendirilmesi daha da kuvvetlendirilmiştir.

Teorik çıkarımların yanında, elde edilen empedans fonksiyonun farklı parametre değerleri için eşdeğer devre karşılıkları verilmiştir. Teoremin sonucu olarak ortaya çıkan devrelerin çok çentikli (multi-notch) filtre

karakteristiğine sahip LC devreleri olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, Amasya Üniversitesi tarafından FMB-BAP 18-0338 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Azeroğlu, T. A., & Örnek, B. N. (2013). A refined Schwarz inequality on the boundary. *Complex Variables and Elliptic Equations*, 58(4), 571-577.
- Goluzin, G. M. (1969). *Geometric theory of functions of a complex variable* (Vol. 26). American Mathematical Soc.
- Huang, T. (1965). Some Mapping Properties of RC and RL Driving-Point Impedance Functions. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 12(2), 257-259.
- Krueger, R. J., & Brown, D. P. (1969). Positive real derivatives of driving point functions. *Journal of the Franklin Institute*, 287(1), 51-60.
- Osserman, R. (2000). A sharp Schwarz inequality on the boundary. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 128(12), 3513-3517.
- Örnek, B. N., & Düzenli, T. (2018). A Boundary Analysis for Derivative of Driving Point Impedance Functions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*.
- Reza, F. M. (1962). A bound for the derivative of positive real functions. *SIAM Review*, 4(1), 40-42.
- Richards, P. I. (1947). A special class of functions with positive real part in a half-plane. *Duke Mathematical Journal*, 14(3), 777-786.
- Van Der Pol, B. (1937). A new theorem on electrical networks. *Physica*, 4(7), 585-589.

Circuit applications for positive real functions

Extended abstract

In this paper, boundary analysis of Schwarz lemma has been considered and the corresponding circuits for the obtained impedance functions have been investigated. In the theorem presented in the study, boundary analysis has been carried out from below for the derivative of the impedance functions. Using the impedance function presented in our theorem, simple LC circuits have been obtained.

In electrical engineering, impedance functions are said to be physically realizable if they satisfy the following conditions of the positive real functions:

- 1-) $Z(s)$ is analytic in $\Re s \geq 0$ except possibly for poles on the axis of imaginaries
- 2-) $Z(\bar{s}) = \overline{Z(s)}$
- 3-) $\Re Z(s) \geq 0$, in $\Re Z(s) \geq 0$.

The Schwarz lemma is one of the most important topics of the complex functions theory. It is an essential result that gives estimates for the analytic function defined on the unit disk and mapped onto itself. In its most basic form, the Schwarz lemma is given as follows:

Let us consider an $f(z)$ function where $f(0) = 0$ and $|f(z)| < 1$ for $|z| < 1$. Then, the Schwarz lemma asserts that $|f(z)| \leq |z|$, $z \in E$ and $|f'(0)| \leq 1$.

In these inequalities, (for an arbitrary $z \neq 0$ point in the first equality) the equality case occurs only if $f(z) = cz$ for $|c| = 1$.

Using this lemma, following impedance function has been obtained in the study:

$$Z(s) = \frac{1 - \frac{s-1}{s+1} \prod_{k=1}^n \frac{s-1 - s_k-1}{1 - \frac{s_k-1}{s_k+1} \frac{s-1}{s+1}}{1 + \frac{s-1}{s+1} \prod_{k=1}^n \frac{s-1 - s_k-1}{1 - \frac{s_k-1}{s_k+1} \frac{s-1}{s+1}} Z(1) \quad (1)$$

where s_1, s_2, \dots, s_n positive real coefficients and n is an odd integer. For the obtained impedance function, $Z(s)$, the schematic for the corresponding circuit is given in Fig. 1.

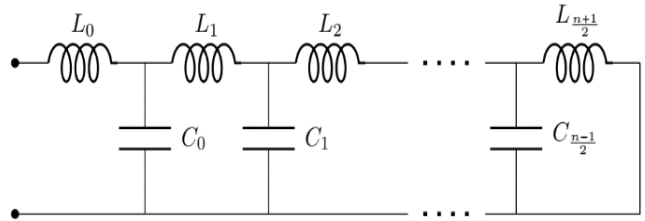


Figure 1. Circuit equivalent for general case of $Z(s)$ function

The corresponding circuits for $n=1$ and $n=3$ cases are given in Figs. 2 and 3, respectively, as more specific examples of the general circuit model presented in Fig. 1.

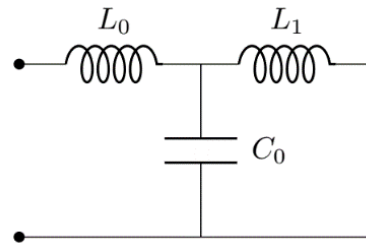


Figure 2. Circuit equivalent of $Z(s)$ when $n = 1$

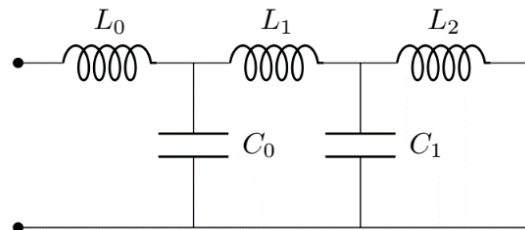


Figure 3. Circuit equivalent of $Z(s)$ when $n = 3$

According to these figures, it is possible to say that the number of the elements used in the designed circuits proportionally increases with greater values of n parameter. The number of zeros and poles also increases when bigger values are chosen for n . This makes possible to design narrowband bandpass and bandstop filters with multiple critical frequencies.

Keywords: Analytic function, Schwarz lemma, Boundary analysis, Impedance function, Circuit.



Yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma kullanılarak transformatör sargı en sıcak nokta sıcaklığının modellenmesi ve optimizasyonu

Engin Ufuk ERGÜL*

Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya
engin.ergul@amasya.edu.tr ORCID: 0000-0003-0100-5199, Tel: (358) 260 00 67 (1435)

Cenk GEZEGİN

Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Amasya
cenk.gezegin@amasya.edu.tr ORCID: 0000-0002-4442-904X

Aytaç YILDIZ

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa,
aytac.yildiz@btu.edu.tr ORCID: 0000-0002-0729-633X

Geliş: 09.05.2018, Kabul Tarihi: 12. 09. 2018

Öz

Elektrik enerjisine olan talebin artmasıyla, bu enerjinin iletimi ve dağıtımında kullanılan en önemli donanımlardan birisi olan transformatörlerin önemi de artmaktadır. Transformatörlerin verimli bir şekilde uzun süreli çalışabilmeleri için izlenmesi gereken en önemli parametrelerden birisi sargı en sıcak nokta sıcaklığı (Hot-Spot Temperature-HST) değeridir. Bu parametrenin belirlenmesi için çeşitli termal modeller kullanılmaktadır. Fakat transformatör içindeki termal olaylar karmaşık olduklarından HST değerini tam olarak veren termal modeller geliştirilememiştir. Bu çalışmanın amacı, yanıt yüzeyi yöntemi (Response Surface Method-RSM) ile kombine edilen üç seviye Box-Behnken tasarımı ve genetik algoritma (GA) yöntemlerini kullanarak maksimum HST'nin tahmin edilmesinde kullanılan optimum parametre değerlerini bulmak için regresyon modeli oluşturmaktır. Böylece HST değeri tahmin edilerek transformatörlerin ömrü ve verimi artırılabilir. Çalışmada, 5kVA 380/220V tek fazlı kuru tip transformatör ile deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneyler, üç farklı akım değeri (4, 8 ve 12 A), akım uygulama süresi (3, 6 ve 9 saat) ve ortam sıcaklığında (20, 25 ve 30 °C) Box-Behnken tasarımı dikkate alınarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yanıtlar Design Expert 11.0.5 programında analiz edilerek HST için matematiksel bir tahmin modeli geliştirilmiş ve parametrelerin optimum değerleri elde edilerek maksimum HST tahmin edilmiştir. Daha sonra, RSM'den elde edilen matematiksel tahmin modelinden yararlanılarak HST tahmini için GA kullanılmıştır. Çalışma sonunda her iki yöntem vasıtasıyla elde edilen tahmin değerleri karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Transformatör, Sargı En Sıcak Nokta Sıcaklığı, Yanıt Yüzey Yöntemi, Box-Behnken, Genetik Algoritma

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünya üzerinde elektrik enerjisine olan talep her geçen yıl artmaktadır. Bu talebi karşılamak için sürekli olarak üretim, iletim ve dağıtım yatırımları yapılmaktadır. Transformatörler elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımında kullanılan en önemli ve maliyetli donanımlardan birisidir. Bu donanımların uzun süre verimli bir şekilde işletmesini sağlamak için izleme sistemleri kullanılmaktadır. En temel izleme sistemlerinde genel olarak yağ sıcaklığı, yağda çözünmüş gazlar, sargı en sıcak nokta sıcaklığı ve kademe değiştirici ve soğutma sistemi durumu bilgilerinin hepsi veya bazıları bulunmaktadır (Chu vd., 1999; Betta vd., 2000; Feng vd., 2002; McArthur vd., 2004; Zhang vd., 2008). Sargı en sıcak nokta sıcaklığı (Hot-Spot Temperature-HST) bir transformatörün yüklenmesini belirleyen en önemli parametrelerden birisidir (Susa vd., 2005a; Susa vd., 2005b; Radakovic ve Feser, 2003). Son yıllarda transformatör HST'nin doğrudan ölçümü için fiber optik sıcaklık sensörleri kullanılmaktadır (Riberio vd., 2008; Nordman ve Lahtinen, 2003; Weekes vd., 2004; Picanço vd., 2010). Bu sensörler ancak yeni imalatı yapılan transformatörlere imalat aşamasında monte edilebilir. Fiber optik sensörler ile HST'yi izlemek güç transformatörleri için toplam maliyet içinde çok fazla olmasa da özellikle dağıtım transformatörü maliyetinin oldukça artmasına neden olmaktadır. Literatürde HST'nin belirlenmesi için çeşitli termal modeller kullanılmaktadır (Susa vd., 2005a; Susa vd., 2005b; Radakovic ve Feser, 2003; Riberio vd., 2008; Nordman ve Lahtinen, 2003). Ayrıca IEEE ve IEC tarafından geliştirilmiş termal modellerde bulunmaktadır (IEC 60076-7, 2005; IEEE Std C57.91, 2011). Transformatör sıcaklık artışı kuru tip güç transformatörlerinde IEC standartlarına göre sargı direncindeki değişim ile belirlenebilir. Kuru tip ve yağa daldırılmış transformatörler hakkında sıcaklık artışının ölçülmesi için çeşitli teknikler önerilmiştir (Popescu vd., 2009). Kuru tip transformatörlerin yalıtım sınıflarına göre anma işletme durumları için ortalama sargı sıcaklık artışları ve en sıcak nokta sıcaklıkları Tablo 1'de verilmektedir (Feng vd., 2002;

McArthur vd., 2004; Nordman ve Lahtinen, 2003).

Tablo 1. Sürekli yüklenme durumunda kuru tip trafo sargıları için sıcaklık artış sınırları

Yalıtım Sınıfı Sıcaklığı °C	Anma Akımında Ortalama Sargı Sıcaklık Artış Sınırı °C		HST Sınırı °C	HST Artışı °C
	IEC 60076-11	IEEE C57.12.01		
105 (A)	60	-	130	-
120 (E)	75	-	145	-
130 (B)	80	75	155	90
155 (F)	100	95	180	115
180 (H)	125	115	205	140
200	135	135	225	160
220	150	150	245	180

Kuru tip transformatörlerin hastaneler, madenler, okullar, çok katlı binalar, kimya fabrikaları ve ulaşım sistemleri gibi birçok ticari ve endüstriyel alanlarda kullanımı artmaktadır. Kuru tip trafolar sıvı içine daldırılmış transformatörlere göre oldukça avantajlıdır (Mamizadeh ve Iskender, 2010). Kuru tip transformatörün güvenilirliği içeride sargı etrafında üretilen sıcaklığı dağıtma yeteneğine bağlıdır. Transformatör üreticileri sargılardaki sıcaklık artışını kestirmek için termal ilişki yöntemleri veya bazı standart tasarım eğrileri kullanırlar (Meshkatoddini, 2008). Kullanılan standart eğriler sargılardaki ortalama sıcaklık artışını tahmin edebilmektedir. Kuru tip transformatörlerin ortalama sargı sıcaklığının ve en sıcak nokta sıcaklığını tahmin eden deneysel ve teorik birkaç çalışma vardır. Fan soğutmalı kuru tip transformatörün sargı en sıcak nokta sıcaklığını sıcaklık artış testlerindeki sayısal değerleri kullanarak tahmin eden matematiksel model geliştirilmiştir (Amoda vd., 2011). Kuru tip transformatörde sıcak sargı direncinin belirlenmesinde Çoklu Değişken Regresyon (Multiple Variable Regression (MVR)), Çoklu Polinom Regresyon (Multiple Polynomial Regression (MPR)), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks -ANN) ve Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağı Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System-ANFIS) gibi istatistiksel metotlar kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarında ortalama sargı sıcaklığına göre en sıcak noktanın çeşitli parametrelere etki oranları kullanılmıştır (Srinivasan ve Krishnan, 2012). Kuru tip

transformatörlerin sargı sıcaklık davranışını modellemek için yapay sinir ağ (YSA) modelleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanılmasındaki amaç, karmaşık ve lineer olmayan yapıların öğrenilme yeteneğidir. Transformatörlerin sargı sıcaklığı davranışı dinamik olduğu için geri beslemeli yapay sinir ağ modelleri kullanılmıştır. YSA'ya uygulanan üç girişin (yük akımı, çevre sıcaklığı ve giriş gerilimi) transformatörün sargı sıcaklığı tahmininde kullanılmıştır (Aksin, 2011).

Bu çalışmada transformatörlerin verimli bir şekilde uzun süreli çalışabilmeleri için izlenmesi gereken en önemli parametrelerden birisi olan HST'nin tahmin edilmesi için yanıt yüzeyi yöntemi ile kombine edilen üç seviye Box-Behnken tasarımı ve genetik algoritma kullanılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma ile ilgili aşağıda özet şeklinde bilgi verilmiştir.

Yanıt Yüzey Yöntemi

İstatistiksel temele dayanan kullanılabilir yöntemlerin başında yanıt yüzeyi yöntemi (Response Surface Method-RSM) gelmektedir (Öney ve Salmanlı, 2017; Öztürk ve Nuran, 2012). Bu yöntem, optimal bir yanıt elde etmek için bir dizi tasarlanmış deney kullanarak çeşitli değişkenler ve bir veya daha fazla yanıt değişkeni arasındaki etkileşimi inceler (Öney ve Salmanlı, 2017; Öztürk ve Nuran, 2012; Gangil ve Pradhan, 2017). RSM, bir polinom denklemi oluşturan ve bir veri kümesinin davranışını tanımlamaya yardımcı olan matematiksel ve istatistiksel bir yöntemdir (Mao vd., 2018; Mia, 2018). Karmaşık süreçlerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi, modellenmesi ve optimizasyonu için ilk olarak Box ve Wilson tarafından sunulmuştur (Tan vd., 2017; Gangil ve Pradhan, 2017; Kassem vd., 2017; Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010). İlgilenilen çıktının değişkenler tarafından etkilendiği ve amacın bu çıktıyı optimize etmek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizi için kullanılan

istatistiksel temele dayanan bir yöntemdir (Tan vd., 2017; Gangil ve Pradhan, 2017; Kassem vd., 2017; Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010). RSM'nin ana amacı, optimal bir tepki elde etmek için tasarlanmış bir grup deneyin yapılması ve bu deneyler kullanılarak bir regresyon modeli elde edilmesidir. Yöntemin ana avantajı, istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar için yeterli olan deneysel çalışmaların sayısını azaltmasıyla birlikte pahalı olan analiz yöntemlerinin maliyetini düşürmesidir (Gangil ve Pradhan, 2017; Kassem vd., 2017; Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010; Kumar ve Patil, 2016). RSM üç adımı içermektedir: (1) deney tasarımı, (2) veri toplama, (3) çalışma parametrelerine dayanan yanıt değişkenlerinin tahmin modellerini oluşturma (Mao vd., 2018). Problemin tanımlanmasında probleme uygun biçimde karar verici tarafından tanımlanan girdi değişkenleri

$(X_i, i=1, 2, \dots, k)$ ve yanıt değişkenleri $(Y_j, j=1, 2, \dots, r)$ olarak ele alınan karakteristikler kullanılmaktadır (Box ve Draper, 2007). Çok yanıtlı yüzey problemlerinin modellenmesi aşamasında, yanıt değişkeni ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlayacak uygun bir fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir (Türkşen ve Apaydın, 2012). Gerçek yanıt fonksiyonunun biçimi bilinmediğinden tepki ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir model bulunmalıdır. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir uyum veriyorsa, yaklaşım Eşitlik (1) de verildiği gibi birinci dereceden bir modeldir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

İkinci dereceden bir model ise sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik olduğunda daha uygun olmaktadır.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2)$$

Bu eşitlikte; y yanıt değişkenini, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ bilinmeyen regresyon parametrelerini, x_i, x_j süreç (karar) değişkenlerini

$(i=1, 2, \dots, k)$ ve $(j=1, 2, \dots, k)$ ve ε hata terimini göstermektedir (Myers vd., 2016).

RSM'de üç ana tasarım metodu vardır: merkezi kompozit tasarım (CCD), optimal tasarım (OD) ve tam faktöriyel tasarım (FFD). (Mao vd., 2018). En çok kullanılan RSM; CCD ve Box-Behnken tasarımıdır (Erdoğan, 2007). Box-Wilson tarafından geliştirilen CCD ve Box-Behnken tarafından bulunan Box-Behnken tasarım yaklaşımı RSM ile kullanabilecek iki temel tasarım yaklaşımıdır (Sönmez vd., 2016, Güvercin ve Yıldız, 2018). Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemine kıyasla daha az sayıda deneysel/sayısal sonuç gerektirir (Erler vd., 2008). Box-Behnken tasarımlarında her bir etken üç düzeye sahiptir. Box-Behnken tasarımları CCD'lere kıyasla daha ekonomik bir tasarım sınıfıdır (Köksoy, 2001).

Genetik Algoritma

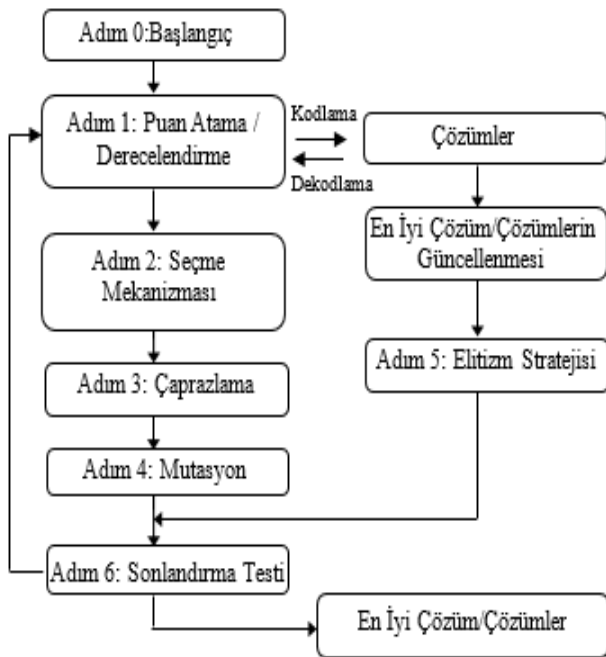
Optimizasyon, daha iyi bir sonuç bulununcaya kadar olası tüm çözümlerin amaç fonksiyonuna göre aranması ve karşılaştırılması işlemidir. Optimizasyon problemlerinin çözülebilmesi için topluluk tabanlı optimizasyon yöntemleri (Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu vb.) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden içinde en sık kullanılanlardan bir tanesi Genetik Algoritma (GA)'dır. GA, en iyi çözümü arama işlevini, biyolojik kökenli bazı işlevleri (seçme, çaprazlama, mutasyon, elitizm vb.) taklit ederek yapar. GA'larda bir problemin potansiyel çözümü birey (kromozom) olarak adlandırılır. Bireyler parametreleri temsil eder. Bu parametreler ise bir kromozomun genleri olarak adlandırılır. Bu genler, ikili sayı veya gerçel sayı dizileri kullanılarak oluşturulabilir. Problem çözümünde bir bireyin ya da kromozomun ne kadar iyi olduğu, amaç fonksiyonunda aldığı değerle yakın ilişkili olan puan (uygunluk) değerine göre belirlenir. GA'da en iyi bireylerden her zaman daha iyi bireyler üretilebileceği beklenmektedir. GA uygulamalarında bireylerden oluşan bir topluluk (genellikle rasgele) oluşturulur. Bu topluluğun boyutu, probleme göre değişebilir. Her bir GA

adımında, seçme mekanizması kullanılarak bir alt topluluk seçilir. Seçilen bireylerden oluşan bu alt topluluk, ebeveynler veya eşleşme havuzu olarak adlandırılır. Ebeveynlerin genleri çaprazlama işlevi kullanılarak karıştırılır ve birleştirilerek bir sonraki nesil oluşturulur. Bireylerin birbirinden farklı olmasını sağlamak ve aynı çözümlerin elde edilmesinden kurtulmak için mutasyon işlevi uygulanır. Ayrıca doğada en güçlülerin yaşamını sürdürmesinden esinlenilerek, GA'da da her adımda en iyi birey/bireyler saklanır ve bir sonraki topluluğa eklenir. Böylece en iyi bireylerden en iyi çözümler üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu işleme ise elitizm adı verilir. Elitizm mekanizması genetik algoritmaların başarımına önemli ölçüde etki etmektedir (Ergül, 2010).

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir (Holland, 1975). Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, Darwin'in evrim kuramından etkilenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüştür. Araştırmalarını, arama ve en iyiyi bulma için, doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. Biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlaması örnek alınarak, en iyiyi bulma ve makine öğrenme problemlerinde bilgisayar yazılımı modellenmiştir. Holland'ın çalışmalarının sonucunu açıkladığı kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı "Genetik Algoritmalar" olarak yerleşmiştir. Goldberg (Goldberg, 1989)' in GA'yı gerçek bir probleme uygulaması ve çığır açan kitabı sayesinde GA'lar konusuna olan ilgi giderek artmıştır. GA'larla ilgili ilk gerçek uygulama 1984 yılında Holland'ın öğrencisi olan David Schaffer tarafından yapılmıştır (Schaffer, 1984). Schaffer tarafından önerilen vektör hesaplamalı genetik algoritma (VEGA), tek amaçlı genetik algoritmanın basit bir iyileştirmesidir ve çoklu çözümleri genetik algoritmaların yalnızca birkaç adımda bulabileceğini göstermiştir.

Genetik algoritmaların genel yapısı Şekil 1'de verilmektedir. GA'da ilk olarak optimizasyon

problemini tanımlayan bir amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemten sonra, GA adımları, çözüm önerilerini yani bireyleri içeren bir başlangıç topluluğunun belirlenmesiyle ve probleme ilişkin parametrelerin girilmesiyle başlar. Başlangıç topluluğu rasgele belirleneceği gibi dışarıdan kullanıcı tarafından da girilebilir. Daha sonra, amaç fonksiyonunun hesabı parametrelere ve girişlere göre yapılır. En iyi birey/bireyler bellekte saklanır (elitizm). Seçme mekanizmasıyla (Rulet çarkı, stokastik evrensel örnekleme, turnuva seçimi) bir sonraki nesli yani çözüm önerilerini üretecek anne-baba bireyler seçilir. Çaprazlama ile çocuk bireyler (yeni çözüm önerileri) üretilir. Farklı bireylerin oluşturulması (çeşitlilik) için ise mutasyon işlemi uygulanır. Elitizm mekanizması ile en iyi birey/bireyler çözümlere eklenir. Girilen adım sayısına ve sonlandırma kriterine göre GA'nın bir adımı tamamlanmış olur.



Şekil 1. GA'ların genel yapısı

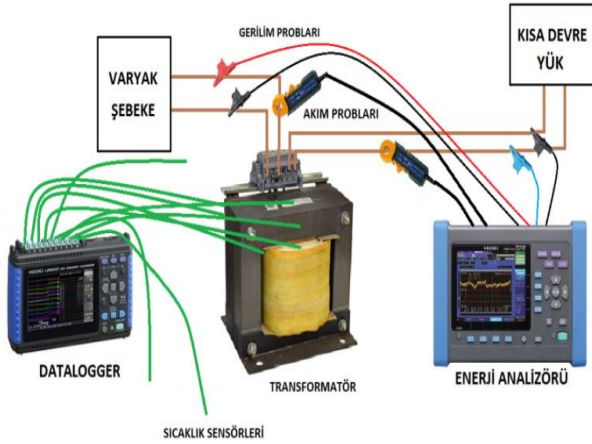
GA'lar problem sayısına göre tek amaçlı veya çok amaçlı, parametrelerin kodlanma biçimine göre gerçel ya da ikili, problem tipine göre ise kısıtlamalı veya kısıtlamasız olarak adlandırılırlar. GA'larda üç temel işlev bulunmaktadır: seçme, çaprazlama ve mutasyon. Bu işlevler dışında, genetik algoritmalarda

kullanılan bazı parametreler de vardır: örneğin topluluk boyutu ya da birey sayısı. Bu parametre probleme göre belirlenir ve çok iyi seçilmesi gerekir. Parametrelerin çözünürlüğü ya da bit sayısı ise GA'nın başarımını etkileyen önemli bir faktördür. Aşağıda RSM ve GA ile ilgili yapılan bazı çalışmaların özeti yer almaktadır.

Kılıçkap ve Hüseyinoğlu (2010) AISI 316'nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu için RSM ve GA yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Elde edilen modeli kullanarak minimum çapak yüksekliğinin elde edilebileceği optimum parametre değerlerini bulmuşlardır. Güvercin ve Yıldız (2018) AISI 1040 çeliğinin optimum yüzey pürüzlülük değerini ve bu değer sağlandığı optimum giriş parametrelerinin belirlenmesi için RSM yöntemini kullanmışlardır. Wang and Wan (2008) GA tabanlı sinir ağlarını ve RSM yöntemi kullanarak fermente hidrojen üretim sürecinin optimizasyonunu yapmışlardır. Sonuç olarak GA tabanlı sinir ağı yönteminin bu işlem için RSM yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Sangwan ve Kant (2017) AISI 1045 çeliğinin tornalanması sırasında minimum güç tüketimine yol açan işleme parametrelerinin tahmini ve optimizasyonunda RSM ve GA yöntemlerini kullanmışlardır. Padhee vd. (2012) RSM ve NSGA-II yöntemlerini kullanarak toz karışımı elektro-deşarj işleminin çok amaçlı parametre optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Jolly vd. (2005) sürekli mıknatıslı motorların tasarım parametrelerinin optimizasyonu için RSM ve GA kullanmışlardır. Bulunan parametrelerin değerlendirilmesi için de sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Hasaniien vd. (2010) kalıcı mıknatıslı çapraz akılı doğrusal motorun ağırlığının azaltılması, itme kuvvetinin iyileştirilmesi ve tutma kuvvetinin azaltılması gerekli olan için optimum parametrelerin belirlenmesinde RSM ve GA'yı kullanmışlardır. Vijayan vd. (2018) çalışmalarında lazer kaynak işleminin parametre optimizasyonunda RSM ve GA'yı kullanarak bu yöntemleri karşılaştırmışlardır. Alvarez vd. (2009) RSM yönteminde GA'nın kullanımı ile ilgili bir literatür taraması yapmışlardır.

Deneysel Çalışmalar

Laboratuvar ortamında elektriksel bağlantıları Şekil 2’de gösterildiği gibi yapılan bir 5kVA 380/220V tek fazlı kuru tip trafo ile deney düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 2. Deney donanımları ve ölçüm sisteminin bağlantısı

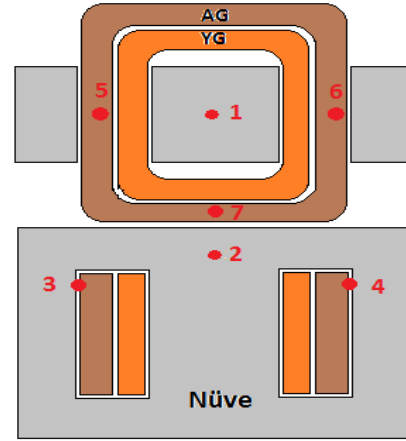
Akım, gerilim ve güç gibi elektriksel büyüklüklerin ölçümü ve kayıt işlemleri için bir adet Hioki 3198 Enerji Analizörü kullanılmıştır. Testler sırasında trafonun beslemesi için kısa devre testinde varyak gerilimi kullanılmıştır. Deney çalışmasında kullanılan prototip trafoya ait anma değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Prototip trafo anma değerleri

Bölüm	Özellik	
Kayıplar	Boşta	110W
	Yükte	111W
	Toplam	221W
Anma Gerilimi	380/220V	
Anma Kapasitesi	Tek Fazlı, 5kVA,50Hz	
Yalıtım Sınıfı	Class F	
En Yüksek Çalışma Sıcaklığı	155°C	
Sıcaklık Artışı	115°C	
Soğutma Yöntemi	Hava Soğutmalı	
Tasarım	EN-61558-2-2	
Sargı Pozisyonu	AG: Dış Sarım	
	YG: İç Sarım	

Trafo üzerinde Şekil 3’te konumları gösterilen, çekirdek ve sargılar üzerine yerleştirilmiş toplam 7 adet termokupul ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca çevre sıcaklığı ölçümü için

trafonun 3 tarafına 1’er metre mesafeyle 3 adet termokupul yerleştirilerek ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü ve kayıt işlemleri Hioki LR8431-20 Datalogger ile yapılmıştır. Ortam sıcaklığı için 3 termokupuldan gelen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3. Sıcaklık sensörlerinin yerleşimi

Test transformatörünün bulunduğu oda sıcaklığı bir iklimlendirme sistemi ile 20°C’ ye getirilerek deney boyunca sabit kalması sağlanmıştır. Transformatörün alçak gerilim tarafı kısa devre edildikten sonra yüksek (380V) gerilim tarafındaki akımı 4A olacak şekilde varyak ile gerilim ayarlanarak sıcaklık artışının kalıcı duruma geldiği ana kadar sıcaklık artış testi yapılmıştır. Test sırasında sıcaklıklar ve elektriksel büyüklükler kayıt edilmiştir. Daha sonra oda (çevre) sıcaklığı 25°C’ ye getirilerek transformatörün enerjisi kesilip soğuması yani sargı sıcaklıkları oda sıcaklığı ile aynı sıcaklığa gelmesi beklenmiştir. Transformatörün yüksek gerilim sargısından yine aynı akımı (4A) geçecek şekilde ısınma testi 25°C çevre sıcaklığında tekrarlanmış ve sıcaklık artışı kalıcı hale gelene kadar veriler kaydedilmiştir. Daha sonra transformatörün enerjisi kesilerek soğuması beklenmiştir. Son olarak oda sıcaklığı 30°C’ ye ayarlanarak transformatör sargı sıcaklıkları oda sıcaklığına eşit olduğunda yüksek gerilim sargı akımı 4A’ e ayarlanarak ısınma testi tekrarlanmış veriler kaydedilmiştir. Aynı test adımı yüksek gerilim akımı 8A ve 12A olacak şekilde tekrarlanarak veriler her bir

adımda ayrı ayrı kaydedilmiştir ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel sonuçlar

Akım (Amper)	Süre (Saat)	Çevre Sıcaklığı (°C)			Sargı En Sıcak Nokta Sıcaklığı (°C)
		20	25	30	
4A	3	24,6	29,7	34,7	
	6	26,1	31,2	36,1	
	9	27,3	32,3	37,4	
8A	3	42,3	47,8	52,2	
	6	46,1	51,2	56,3	
	9	47,7	52,8	57,9	
12A	3	71,2	76,1	82,2	
	6	79,1	84,2	89,1	
	9	82,9	87,8	92,8	

HST'nin RSM'ye Dayalı Matematiksel Modeli ve Optimizasyonu

Transformatörlerin ömrünü ve verimini artırabilecek HST'yi maksimum yapacak parametrelerin optimizasyonu için yapılan deneysel çalışmada 5kVA 380/220V tek fazlı kuru tip transformatör ile deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu çalışmadaki deney tasarımı için, RSM ile oluşturulan deney sistemlerinde en az deney sayısını oluşturan Box-Behnken tasarımı tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılacak deneysel tasarım belirlendikten sonra HST'ye etki eden parametreler ve seviyeler belirlenmiş ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. HST parametreleri ve seviyeleri

HST parametreleri	Sembol	Seviye		
		Düşük	Merkez	Yüksek
Akım	<i>I</i>	4	8	12
Akım Süresi	<i>t</i>	3	6	9
Ortam Sıcaklığı	<i>T</i>	20	25	30

Deneyler Tablo 5'te verilen Box-Behnken tasarımı dikkate alınarak yapılmış ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen HST değerleri ölçülerek tabloya eklenmiştir. Tablo 5'te verilen değerler hem Box-Behnken tasarımında kullanılan 3 seviyeli yapıyı hem de bu seviyelere karşılık gelen gerçek değerleri göstermektedir.

Tablo 5. Box–Behnken deney tasarımı

Deney No	Değişkenlerin gerçek ve kodlanmış seviyesi			Deneysel yanıt HST
	Akım, <i>I</i> (amper)	Akım Süresi, <i>t</i> (saat)	Ortam, <i>T</i> Sıcaklığı	
1	4 (-1)	3 (-1)	25 (0)	29,7
2	12 (+1)	3 (-1)	25 (0)	76,1
3	4 (-1)	9 (+1)	25 (0)	32,3
4	12 (+1)	9 (+1)	25 (0)	87,8
5	4 (-1)	6 (0)	20 (-1)	26,1
6	12 (+1)	6 (0)	20 (-1)	79,1
7	4 (-1)	6 (0)	30 (+1)	36,1
8	12 (+1)	6 (0)	30 (+1)	89,2
9	8 (0)	3 (-1)	20 (-1)	42,3
10	8 (0)	9 (+1)	20 (-1)	47,7
11	8(0)	3 (-1)	30 (+1)	52,3
12	8 (0)	9 (+1)	30 (+1)	57,8
13	8 (0)	6 (0)	25 (0)	51,3
14	8 (0)	6 (0)	25 (0)	51,3
15	8 (0)	6 (0)	25 (0)	51,3

Elde edilen deneysel yanıtları için Design Expert 11.0.5 paket programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış olup, optimum HST için uygun olan ikinci dereceden bir regresyon modeli Denklem (3)'deki gibi oluşturulmuştur.

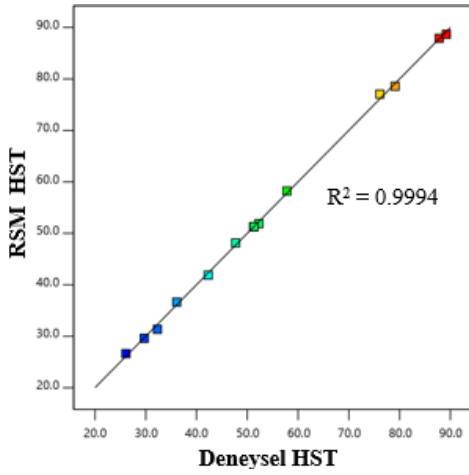
$$HST = -3.387 - 1.056I + 1.108t + 1.11T + 0.189It + 0.0013IT + 0.0017tT + 0.399I^2 - 0.1347t^2 - 0.0025T^2 \quad (3)$$

Elde edilen HST ile ilgili modelin ve modeldeki katsayıların doğruluğunu belirleyen F testi ve parametrelerin HST'ye katkısını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmış sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. HST için ANOVA tablosu

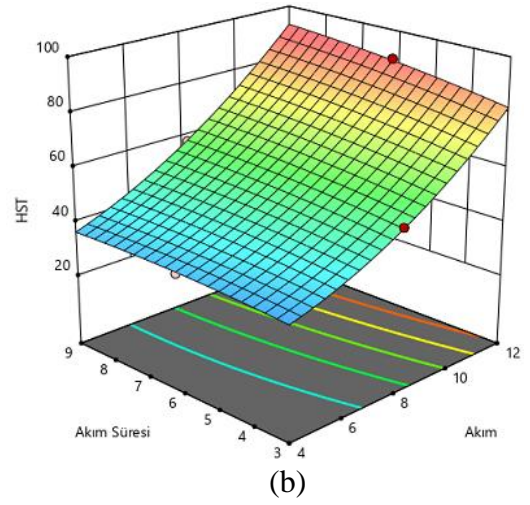
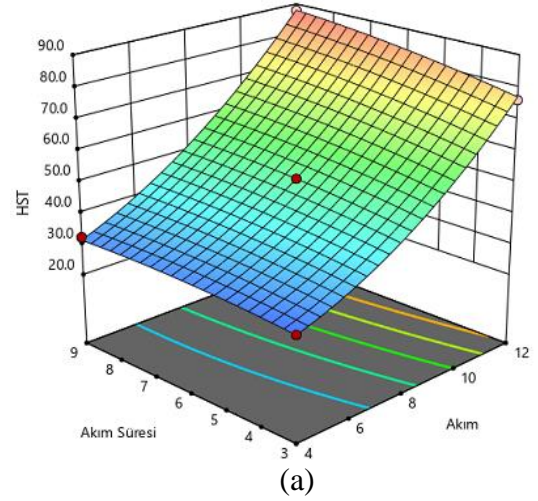
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	p- değeri
<i>Model</i>	5872.22	9	652.47	893.79	< 0.0001
<i>I-Akım</i>	5408.00	1	5408.00	7408.22	< 0.0001
<i>t-Akım Süresi</i>	79.38	1	79.38	108.74	0.0001
<i>T-Ortam Sıcaklığı</i>	202.01	1	202.01	276.72	< 0.0001
<i>It</i>	20.70	1	20.70	28.36	0.0031
<i>IT</i>	0.0025	1	0.0025	0.0034	0.9556
<i>tT</i>	0.0025	1	0.0025	0.0034	0.9556
<i>I²</i>	150.65	1	150.65	206.37	< 0.0001
<i>t²</i>	5.43	1	5.43	7.44	0.0414
<i>T²</i>	0.0144	1	0.0144	0.0198	0.8937
Kalan	3.65	5	0.7300		
Toplam	5875.87	14			
Adequate precision = 88.946				R ² = 0.9994	
R ² (predicted) = 0.9901				R ² (adjusted) = 0.9983	

Tablo 6 incelendiğinde 893.79 F değeri ile modelin ve I (Akım), t (Akım Süresi), T (Ortam Sıcaklığı), I^2 , t^2 model parametrelerinin anlamlı olduğu ($p < 0.0001$) görülmektedir. R^2 (adjusted) = 0.9983 değeri de deneysel yanıtta varyansın % 99.83' ünün ikinci dereceden modelle açıklanabileceğini ifade etmektedir. Deneysel ve RSM denklemi kullanılarak elde edilen tahmini HST değerlerinin Şekil 4'de görüldüğü gibi uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu, modelde kullanılan kuadratik regresyon modelinin deney tasarımındaki herhangi bir değişkendeki yanıt faktörlerini hesaplamak için uygun olabileceğini göstermektedir.



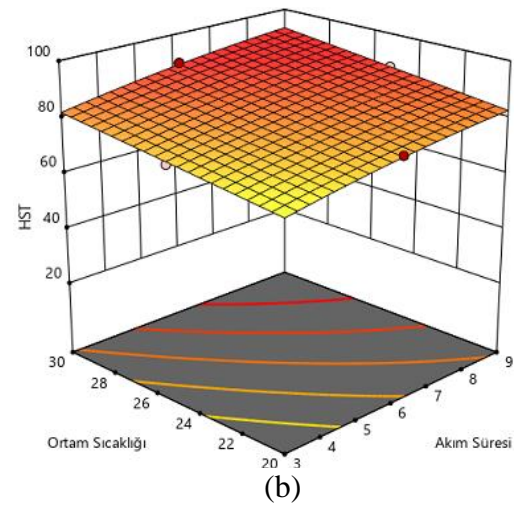
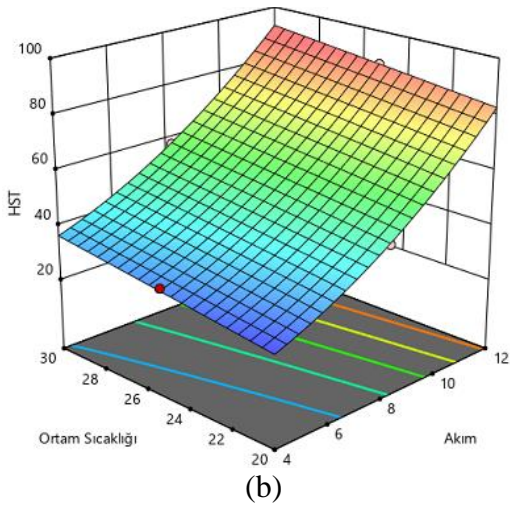
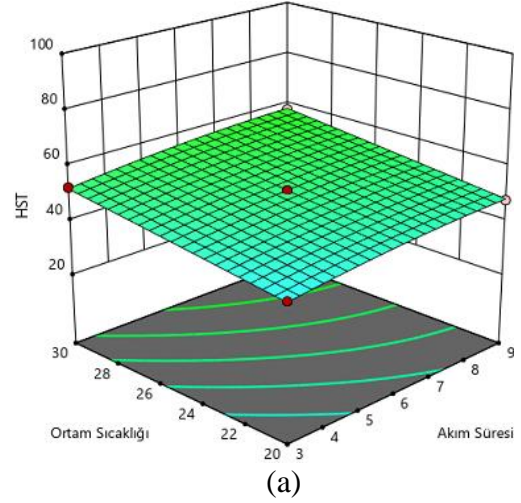
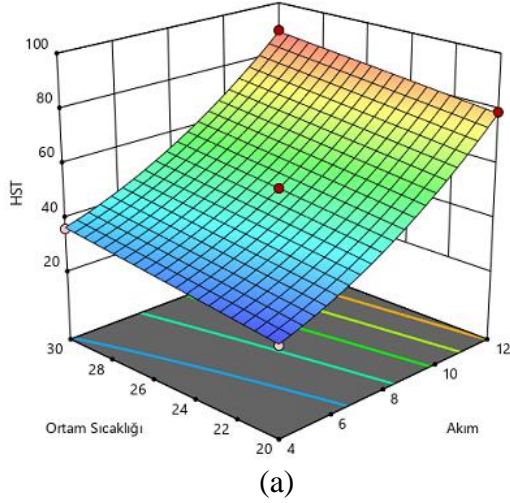
Şekil 4. Deneysel ve RSM HST değerleri

ANOVA analizinden sonra parametrelerin HST üzerinde birlikte oluşturdukları etkiler incelenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 5-7'de verilmiştir. Buna göre, akım ve akım süresinin HST'ye etkisi Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Akım ve akım süresinin HST'ye etkisi

Şekil 5a incelendiğinde HST üzerinde akımın önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Buna göre akım değeri yükseltildiğinde HST'nin de ciddi bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Akım süresinin ise HST üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca akım ve akım süresi parametrelerinin sabit tutulup ortam sıcaklığı parametresinin değeri artırıldığında (Şekil 5b) HST'nin de arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 6'da ortam sıcaklığı ve akım parametrelerinin HST'ye etkisi verilmiştir.



Şekil 6. Ortam sıcaklığı ve akım parametrelerinin HST'ye etkisi

Şekil 7. Ortam sıcaklığı ve akım süresi parametrelerinin HST'ye etkisi

Şekil 6a incelendiğinde hem ortam sıcaklığı hem de akım parametrelerinin değerleri arttığında HST'nin de arttığı görülmektedir. Ancak akım parametresinin etkisinin daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6b'de her iki parametrenin sabit tutulup akım süresi parametresinin değeri artırıldığında HST'de çok az miktarda da olsa artma olduğu görülmektedir.

Ortam sıcaklığı ve akım süresi parametrelerinin HST'ye etkisi ise Şekil 7'de görülmektedir.

Şekil 7a'ya göre ortam sıcaklığı ve akım süresi parametrelerinin değeri arttığında HST'nin de arttığı görülmektedir. Şekil 7b'deki her iki parametrenin sabit tutulup akım değerinin artırıldığı durumda HST'nin önemli oranda arttığı tespit edilmiştir.

Parametrelerin HST üzerindeki etkileri incelendikten sonra maximum HST için optimum parametre değerleri Design Expert 11.0.5 programından elde edilmiştir. Elde edilen optimum parametre değerleri ve bu optimum değerlere karşılık gelen HST değeri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Optimum parametre ve HST değerleri

Akım, I (amper)	Akım Süresi, t (saat)	Ortam Sıcaklığı T (°C)	HST
11.999	8.849	29.599	92.360

Elde edilen bu optimum parametre değerlerine göre tekrar deney yapılmış ve yapılan deneyler sonucunda maksimum HST 92,8 °C olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre Box-Behnken tasarımı ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır ve dolayısıyla birbirleriyle uyumlu olduğu söylenebilir.

HST'nin GA ile optimizasyonu

Bu bölümde HST'nin GA ile optimizasyonu amaçlanmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak HST'nin tahmini için RSM yöntemi ile bir matematik model oluşturulmuştur. Bu model, sargı en sıcak nokta sıcaklığının, akım, akımın süresi ve ortam sıcaklığı ile olan ilişkisini göstermektedir (Bkz. Denklem 3) Bu model kullanılarak sargı en sıcak nokta sıcaklığını oluşturan en iyi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. GA ile bu problemin çözümü için öncelikle amaç fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonu olarak Denklem (3) kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonunda yer alan parametrelerin alt ve üst sınırları Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Amaç fonksiyonundaki parametrelerin alt ve üst sınırları

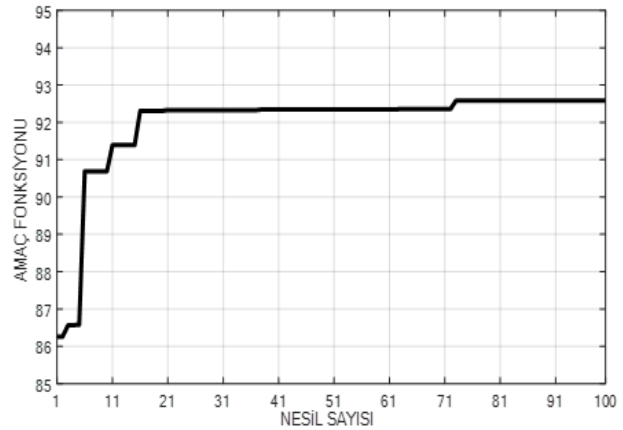
Parametreler	Alt Sınır	Üst Sınır
Akım (Amper)	4	12
Akım Süresi (Saat)	3	9
Ortam Sıcaklığı (°C)	20	30

GA, Tablo 9'de verilen parametrelerle çalıştırılarak sargı en sıcak nokta sıcaklığı ve bu sıcaklıktaki parametreler elde edilmiştir. Seçme mekanizması olarak Stokastik evrensel örnekleme kullanılmıştır. İki noktalı çaprazlama ve uniform mutasyon yöntemleri kullanılmıştır. Elitizm mekanizması ile her adımdaki en iyi bireyler saklanmış ve bir sonraki neslin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Tablo 9. GA parametreleri

GA Parametresi	Değeri
Birey Sayısı	100
Bit Sayısı	30
Nesil Sayısı	100
Çaprazlama Olasılığı	0.85
Mutasyon Olasılığı	0.08

Belirlenen parametreler ve yöntemler kullanılarak GA programı çalıştırılmıştır. Amaç fonksiyonun nesil sayısına göre değişimi Şekil 8'de verilmektedir.

**Şekil 8.** Amaç fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi

GA ile yapılan optimizasyon işleminde sargı en sıcak nokta sıcaklığı değeri $HST_{max}=92.5791$ olarak elde edilmiştir. Bu değer elde edildiği optimum parametre değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Sargı en sıcak nokta sıcaklığı değeri için en iyi parametre değerleri

Parametre	Değer
Akım (Amper)	11.9844
Akım Süresi (Saat)	8.9062
Ortam Sıcaklığı (°C)	29.9218

Tablo 10'daki parametre değerleri dikkate alınarak 11.9844 A akım, 8.9062 saat akım süresi ve 29.9218 °C ortam sıcaklığı ile deney tekrarlanmıştır ve deney sonucunda HST değeri 92,7 °C olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların GA'dan elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, transformatörlerin verimli olması için en önemli parametrelerinden biri olan sargı en sıcak nokta sıcaklığının bulunmasında optimum parametre değerlerinin belirlenmesi için RSM ile kombine edilen üç seviye Box-Behnken tasarımı ve GA yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada, 5kVA 380/220V tek fazlı kuru tip bir transformatör ile deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneyler, üç farklı akım değeri (4, 8 ve 12 A), üç farklı akımın uygulama süresi (3, 6 ve 9 saat) ve üç farklı ortak sıcaklığında (20, 25 ve 30 °C) yapılarak HST yanıtları elde edilmiştir. Elde edilen HST yanıtları Design Expert 11.0.5 programında analiz edilerek HST'ye etki eden parametrelerin optimum değerleri tespit edilmiştir. RSM yöntemi ile elde edilen amaç fonksiyonu kullanılarak GA ile de problemin çözümü yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Box-Behnken faktöriyel tasarımı ile yapılan deney sonuç tahminlerinde R^2 (adjusted) = 0.9983 olarak elde edilmiş ve bu tasarımın bu problem için doğru tahminler yapabileceği,
- Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyelere göre akımın HST'yi etkileyen en önemli parametre olduğu,
- Sargı en sıcak nokta sıcaklığına etkisi en az olan parametrenin akım süresi olduğu,
- HST'nin optimizasyonu için akımın 11.999 A, akım süresinin 8.849 saat ve ortam sıcaklığının 29,599 °C kullanılması gerektiği,
- Box-Behnken tasarımı ve deneysel çalışmadan elde edilen optimum sargı en sıcak nokta sıcaklığı değerinin birbirine çok yakın olduğu ve bu sebeple HST optimizasyonu problemlerinin çözümünde Box-Behnken tasarımının kullanılabilirliği, tespit edilmiştir.

Ayrıca, RSM ve GA' dan elde edilen sonuçlar birbirlerine oldukça yakın değerlerde çıkmıştır. Buna göre elde edilen model sargı en sıcak nokta sıcaklığının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Bu şekilde pahalı donanımlar kullanılmasının önüne geçilerek benzer transformatörlerde kullanılabilir ekonomik bir izleme sistemi gerçekleştirilebilir. Gelecek çalışmalarda daha fazla deney yapılarak nominal değer üstündeki ani aşırı yüklenmeler ve dinamik yük akımlarında da sargı en sıcak nokta sıcaklığının tahmin edilmesine çalışılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FMB-BAP 17-0294).

Kaynaklar

- Amoda, O., Tylavsky, D.J., McCulla G. ve Knuth W., (2011). Evaluation of hottest-spot temperature models using field measured transformer data, *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, **12**, 5, 1-18.
- Box, G. E. ve Draper, N. R., (2007). *Response surfaces, mixtures, and ridge analyses*, **649**, John Wiley & Sons.
- Betta, G., Pietrosanto A. ve Scaglione A., (2000). An enhanced fiber optic temperature sensor system for power transformer monitoring, *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1, 153-158.
- Chu D. ve Lux, A., (1999). On-line monitoring of power transformers and components: a review of key parameters, *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference*, 669-675.
- Erdoğan, F., (2007). Yükseltilmiş d-optimal dizayn yöntemi kullanılarak mühendislik dizaynlarında etkinliğin geliştirilmesi: 'sentetik jet' dizayn optimizasyonu çalışması, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, **3**, 1, 51-63.
- Ergül, E. U., (2010). Çok amaçlı genetik algoritmalar: temelleri ve uygulamaları, *Doktora tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Erler, E., Akçayöz, E. ve Tuncer, İ. H., (2008). Sentetik jet parametrelerinin eliptik profil ve kanat kesidi üzerindeki akışın kontrolü için yanıt yüzeyi yöntemi ile eniyileştirilmesi, *II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, İTÜ, İstanbul.
- Feng J.Q., Sun P., Tang W.H., Buse D.P., Wu Q.H., Richardson Z. ve Fitch J., (2002). Implementation of a power transformer temperature monitoring

- system, *International Conference on Power System Technology*, **3**, 1980-1983.
- Goldberg, D.E., (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison- Wesley, Reading, ABD, 432 s.
- Güvercin, S. ve Yıldız, A., (2018). Optimization of cutting parameters using the response surface method, *Sigma*, **36**, 1, 113-121.
- Holland, J., 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, ABD.
- International Electrotechnical Commission (2005). IEC 60076-7 Power transformers Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers.
- Kassem, Y., Çamur, H. ve Esenel, E., (2017). Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and response surface methodology (RSM) prediction of biodiesel dynamic viscosity at 313 K, *Procedia Computer Science*, **120**, 521-528.
- Koç, B. ve Kaymak-Ertekin, F., (2010). Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları, *Gıda Dergisi*, **35**, 1, 1-8.
- Köksoy, O., (2001). Taguchi ve cevap yüzey felsefelerinin birleştirilmesi: problem ve çözüm stratejileri, *Doktora tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kumar, A. ve Patil, P. P., (2016). FEA simulation and RSM based parametric optimisation of vibrating transmission gearbox housing, *Perspectives in Science*, **8**, 388-391.
- Mamizadeh, A. ve Iskender, I., (2010). Winding thermal analyzing of dry type transformers, *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, **2**, 4, 80-84.
- Mao, N., Song, M., Pan, D. ve Deng, S., (2018). Comparative studies on using RSM and TOPSIS methods to optimize residential air conditioning systems, *Energy*, **144**, 98-109.
- McArthur, Stephen D.J., Scott M. Strachan ve Jahn G., (2004). The design of a multi-agent transformer condition monitoring system, *IEEE Transactions on Power Systems*, **19**, 4, 1845-1852.
- Meshkatoddini, M. R. ve Abbospour, S. (2008). Aging study and lifetime estimation of transformer mineral oil, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, **1**, 4, 384-388.
- Mia, M., (2018). Mathematical modeling and optimization of MQL assisted end milling characteristics based on RSM and Taguchi method, *Measurement*, **121**, 249-260.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C. ve Anderson-Cook, C. M., (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*, John Wiley & Sons, Inc.
- Nordman H. ve Lahtinen M., (2003). Thermal overload tests on a 400-MVA power transformer with a special 2.5-p.u. Short time loading capability, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **18**, 1, 107 -112
- Öney, Ö. ve Samanlı, S., (2017). Kütahya/Altıntaş grafitlerinin kaba flotasyon parametrelerinin box-behken deney tasarımı kullanılarak optimizasyonu ve modellenmesi, *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, **19**, 56, 532-542.
- Öztürk, Z. B. ve Nuran, A. Y., (2012). Yanıt yüzey metodu ile porselen karo küçülmesinde ergiticilerin optimizasyonu, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, **25**, 2, 57-65.
- Picanço, A. F., Martinez M. L., ve Rosa P.C., (2010). Bragg system for temperature monitoring in distribution transformers, *Electric Power Systems Research*, **80**, 1, 77-83.
- Popescu, M. C., Mastorakis N. E., Bulucea C. A., Manolea G. ve Perescu-Popescu L., (2009). Nonlinear thermal model for transformers study, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, **8**, 6, 487-497.
- Radakovic Z. ve Feser K., (2003). A new method for the calculation of the hot-spot temperature in power transformers with ONAN cooling, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **18**, 4, 1284-1292.
- Ribeiro, A. L., Eira, N. F., Sousa, J. M., Guerreiro, P. T. ve Salcedo, J. R. (2008). Multipoint fiber-optic hot-spot sensing network integrated into high power transformer for continuous monitoring, *IEEE Sensors Journal*, **8**, 7, 1264-1267.
- Schaffer, J.D., (1984). Some experiments in machine learning using vector evaluated genetic algorithms, *Doktora tezi*, Vanderbilt University, Nashville, ABD.
- Sönmez, F., Başak, H. ve Baday, Ş., (2016). Haddelme işleminin yüzey yanıt yöntemi ile analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji*, **4**, 4, 275-283.
- Srinivasan, M. ve Krishnan A., (2012). Hot resistance estimation for dry type transformer using multiple variable regression, multiple polynomial regression and soft computing techniques. *American Journal of Applied Sciences*, **9**, 2, 231-237.

- Susa, D., Lehtonen M. ve Nordman H., (2005a). Dynamic thermal modelling of power transformers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **20**, 1, 197-204.
- Susa, D., Lehtonen M. Ve Nordman H., (2005b). Dynamic thermal modeling of distribution transformers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **20**,3 1919-1929.
- Tan, Y. H. ve Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C., Zauzi, N. S. A., (2017). Application of RSM and Taguchi methods for optimizing the transesterification of waste cooking oil catalyzed by solid ostrich and chicken-eggshell derived CaO, *Renewable Energy*, **114**, 437-447.
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers (2012). IEEE Std C57. 91–2011 Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators.
- Türkşen, Ö. ve Apaydın, A., (2012). Bulanık yaklaşım ile çok yanıtli yüzey problemlerinin modellenmesi ve optimizasyonu, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi –A*, **13**, 1, 65-79.
- Weekes, T., Molinski T. ve Swift G., (2004). Transient transformer overload ratings and protection, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **20**, 2, 32-35.
- Zhang, X. ve Gockenbach E., (2008). Asset-management of transformers based on condition monitoring and standard diagnosis, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **24**, 4, 26-40.

Modeling and Optimization of Transformer Hot-Spot Temperature Using Response Surface Method and Genetic Algorithm

Extended abstract

Due to the increase in electric energy demand, the importance of transformers, one of the most important equipment used for the transmission and distribution of this energy, has increased. One of the most important parameters to be monitored for the long-term efficient operation of the transformers is Hot-Spot Temperature (HST) value. Various thermal models have been used to determine HST value. Since the thermal events in the transformers are complex, thermal models that give the correct HST value cannot be developed. The aim of this study is to create a regression model to determine optimal parameter values used in the estimation of maximum HST by using three levels Box-Behnken design combined with Response Surface Method (RSM) and Genetic Algorithm (GA) methods. Thus, the lifetime and the efficiency of the transformers can be increased by estimating the HST value. In this study, 5 kVA 380 / 220V single phase dry-type transformer was used for the experiments. The experiments were performed considering the Box-Behnken design with three different current values (4, 8 and 12 A), current application time (3, 6 and 9 hours) and ambient temperature (20, 25 and 30 ° C). The responses obtained from the experiments were analyzed in the Design Expert 11.0.5 program. As a result, a mathematical estimation model for HST was developed and maximum HST was estimated by obtaining optimum values of the input parameters. Then, GA was used to estimate the HST value by using the mathematical estimation model obtained from RSM. At the end of the study, the estimated values of RSM and GA were compared, and it was seen that the results were very close to each other.

In this study, three levels of Box-Behnken design combined with RSM and GA method were used to determine the optimal parameter values for finding the hot-spot temperature of winding, which is one of the most important parameters for the efficiency of transformers.

The obtained results of the study are as follows:

- Experimental results with the Box-Behnken factorial design were obtained as R^2 (adjusted) = 0.9983, and this design can make accurate estimations for this problem,
- According to the parameters and levels used in the experiments, it was determined that the current was the most important parameter effecting HST,
- The parameter with the smallest effect on the winding hot-spot temperature is the duration of current application,
- For optimization of the HST, the current should be 11,999 A, the duration of current application should be 8,849 hours and the ambient temperature should be 29,599 ° C,
- The optimal winding temperature obtained from the Box-Behnken design and the experimental work is very close to each other. Therefore, the Box-Behnken design can be used to solve the HST optimization problems.

In addition, the results obtained from RSM and GA are very close to each other. Accordingly, the obtained model can be used by estimating the hot-spot temperature.

An economic monitoring system, which can be used in similar transformers, can be realized without using expensive equipment. In future works, more experiment will be done to estimate the instantaneous overloads above the nominal value and to estimate the hot-spot temperature of the winding in dynamic load currents.

Keywords: Transformer, Hot-Spot Temperature, Response Surface Method, Box-Behnken, Genetic Algorithm



Blokzincir teknolojisi: uzlaşma protokolleri

Süleyman KARDAŞ*

Batman Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Batman

suleyman.kardas@batman.edu.tr ORCID: 0000-0002-6197-578X, Tel: (488) 217 40 06

Geliş: 24.05.2018, Kabul Tarihi: 24.07.2018

Öz

Blokzincir, veri akışını yöneten herhangi bir merkezi yetkiye sahip olmayan düğümler (eşler, sunucu/istemci) arası bir ağ sistemi olarak tanımlanır. Tüm düğümler aynı haklara sahiptirler ve düğümler birbirlerine güvenmek zorunda değildirler. Düğümler kendilerini yalnızca açık adresleriyle ifşa ederler ve kazanç arzusu ile motive olurlar, diğer madencilik düğümlerinin refahını düşünmek veya bir bütün olarak hareket etmek zorunda değildirler. Böyle bir durumda, bir düğüm neden başka bir düğüm tarafından hazırlanmış bir bloğu yayınlamak istesin? Ayrıca, birden fazla madencilik düğümü bir bloğu yaklaşık olarak aynı anda oluşturduğunda çatışmaları kim çözecektir? Bu sebeplerden ötürü, karşılıklı güvensiz kullanıcı gruplarının birlikte çalışmasına olanak tanıyan çeşitli uzlaşma protokolleri ortaya çıktı. Her bir uzlaşma modeli farklı varsayımlar ile güvenlik sorunlarını ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Bu çalışmada literatürde ve pratikte yer alan bu uzlaşma protokollerin avantajları ve dezavantajları kıyaslı bir biçimde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir; Uzlaşma Protokolleri; Kripto Para

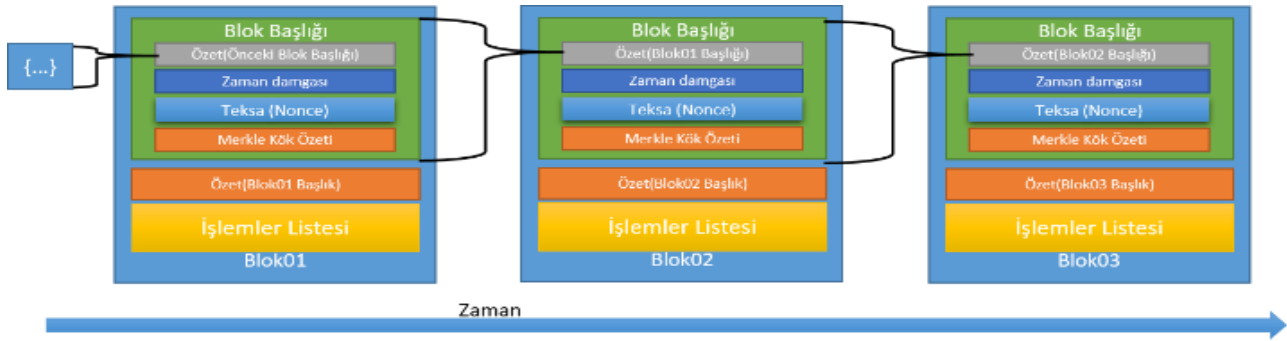
* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.426805

Giriş

Blokzincirler sayısal işlemlerin sahipleri tarafından elektronik olarak imzalanmasından sonra bloklara eklenmesi ve her bir bloğun bir önceki yayınlanan bloğa kriptografik olarak bağlanması ile ortaya çıkan dijital defterlerin dağıtık bir ağda kopyalarının saklanması olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir blokzincirin yapısı incelendiğinde özet fonksiyonları, açık anahtar sistemi, adresler, işlemler, bloklar, defterler, düğümler ve uzlaşma protokolleri olmak üzere sekiz farklı bileşenden oluştuğu görülmektedir. Özet fonksiyonları değişken uzunluktaki açık metinleri sabit uzunluktaki bir özet değerine dönüştüren fonksiyonlardır (NIST, 2015). Özet değerini bir metnin parmak izi, DNA'sıdır. Bu fonksiyonların hesaplanması çok kolay olurken, çakışma ve ters görüntü elde edilmesine karşı güvenli olmalıdırlar. Blokzincirlerde kullanılan en popüler ve güvenli özet fonksiyonlar SHA-256, Keccak-256, RIPEMD-160, Scrypt, X11 algoritmalarıdır. Açık anahtar şifrelemesi veya asimetrik kriptografi, matematiksel olarak ilişkili ve birbirinden farklı iki anahtar kullanan (açık ve özel/gizli anahtarlar) bir şifreleme protokolüdür. Açık anahtarlar açık bir metni şifreleme için kullanılırken özel anahtar ise şifreli metnin çözülmesinde kullanılmaktadır (NIST, 2013). Açık anahtar sistemi ile aynı zamanda metinler imzalanabilmektedir. Özel anahtar ile bir metnin kriptografik özeti şifrelenmesi ile sayısal imza oluşturulur. Metin ve imza değerleri açık anahtarlar ile doğrulanabilmektedir. Özel anahtarın, açık anahtarı kullanarak hesaplanması sayısal olarak mümkün değildir. Bu nedenle, açık anahtarlar serbestçe paylaşılabilir ve kullanıcılara içeriği şifrelemek ve dijital imzaları doğrulamak için kolay ve kullanışlı bir yöntem sağlar. Bu sebeple, özel anahtarlar yalnızca sahiplerinin içeriğin şifresini çözebilmesini ve sayısal imzalar oluşturmasını sağlayarak gizli tutulması gerekmektedir. Bir işlem, ağa yayınlanan ve bloklar halinde toplanan kripto para değerinin ve/veya mesajların bir adresten başka bir adrese transferi olarak tanımlanmaktadır. Kripto para transferleri dikkate alındığında bir işlem tipik olarak önceki işlem çıkışlarını yeni işlem girdileri olarak

referans alır ve tüm giriş kripto para değerlerini yeni çıktılara ayırır. Blokzincirlerde genellikle işlemler şifrelenmez, bu yüzden bir blokta toplanan her işleme göz atmak ve görüntülemek mümkün olmaktadır. Her işlem, işlemi gerçekleştiren kişilerce işlemde kullanılan adrese ait özel anahtar ile imzalanmaktadır. Bunu yapmakla işlemin doğru kişilerce yapıldığı doğrulanması kolay olmaktadır. Aynı zamanda işlemi yapan kişinin bu işlemi gerçekleştirme durumunu inkâr etmesini engellemektedir. İşlemler, sistemde bulunan düğümler tarafından kontrol edilip onay verilmektedir. İşlemler yeterli onay aldığı anda geri dönüşümsüz sayılmaktadır. E-posta adresleri gibi, blokzincir adreslerinden birine güvenli bir şekilde kripto-para/mesaj gönderebilirsiniz. Ancak, e-posta adreslerinden farklı olarak, kullanıcıların birçok farklı blokzincir adresi olabilmektedir ve her işlem için benzersiz bir adres kullanılmalıdır. Çoğu blokzincir yazılımları ve web siteleri, her fatura veya ödeme talebi oluşturduğunuzda yepyeni bir adres üreterek bu konuda yardımcı olmaktadır. Blokzincir adresleri açık anahtarların birden fazla farklı özet fonksiyonlarından geçirilmesi ile oluşturulmaktadır. Adresler çevrimdışı olarak güvenli bir yerde açık anahtarlar kullanılarak oluşturulmaktadır. İşlemler, blok adı verilen dosyalara kalıcı olarak kaydedilir. Bloklar zaman içinde doğrusal bir dizi halinde düzenlenir ve büyür (blok zinciri olarak da bilinir). Yeni işlemler, madenci düğümler tarafından sürekli olarak zincirin sonuna eklenen yeni bloklara eklenir. Bazı blokzincir sistemlerinde (örneğin Bitcoin), her bloğa özgü matematiksel bir bulmaca önerilir ve yayınlanmadan önce bulmacanın çözümünün madenciler tarafından gerçekleştirilmesi beklenir. Öte yandan her yeni blokta bir önceki blok başlığının özeti eklenerek blokların kriptografik olarak birbirine bağlanması sağlanır (Bkz. Şekil 1). Bir blok başlığı genellikle bir önceki blok başlığının özeti, zaman damgası, merkle kök özeti (bloktaki işlemlerin özeti) ve o bloğa özgü tek kullanımlık sayı (teksa). Blokların birbirine bağlanması ve uzamasıyla defter oluşmaktadır. Bir blokzincir sisteminde tek bir



Şekil 1. Blokların Zincirlenmesi

tane zincir devam ettirilmekte olup tek bir defter tutulmaktadır. Sistemde birden fazla zincir oluşması durumunda uzun dönemde uzun olan zincir benimsenmekte olup diğer zincirlerde bulunan işlemler iptal edilmektedir. Defterin kopyaları birçok farklı düğümlerde tutulmaktadır.

Bir blokzincir, veri akışını yöneten herhangi bir merkezi yetkiye sahip olmayan eşler (düğümler) arası bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu dağıtık ağdaki tüm düğümler herhangi bir merkezi bir denetime tabi değildirler. Her bir düğüm aynı zamanda istemci ve sunucu olabilmektedir. Her düğüm, aynı haklara sahiptir ve düğümler karşılıklı olarak birbirlerine güvenmezler. Ayrıca, ağdaki kullanıcılar kendilerini yalnızca kendi açık adresleriyle ifşa ederler. Düğümler yalnızca kazanç elde etme arzusu ile motive olur, diğer düğümlerinin refahını veya bir ağı bütün olarak düşünmezler. Sistemin şeffaf ve doğru bir şekilde yürütülmesini sağlamak için düğümler neden dürüst bir şekilde kendilerine verilen görevleri yerine getirsin? Bir düğüm, neden başka bir düğüm tarafından hazırlanmış bir bloğu kendisine bağlı diğer düğümler ile paylaşarak yaysın? Ayrıca, birden fazla madenci düğümü bir bloğu yaklaşık olarak aynı anda çözdüğünde çatışmaları kim çözecektir? Bütün bu soruların cevabı önceden tanımlanmış uzlaşma modelinde yer almaktadır. Literatürde birçok uzlaşma modeli bulunmaktadır ve her bir uzlaşma modeli blokzincirdeki sorunlara farklı açılardan bakıp farklı çözümler sunmaktadır. Her bir uzlaşma modelinin varsayımları farklı olduğundan sorunlara karşı üretmiş olduğu çözümlerin önemi farklı olabilmektedir.

Bir kullanıcı blokzincir sistemine katıldığında, sistemin başlangıç durumunu kabul etmek

zorundadır. Bu, yalnızca önceden yapılandırılmış blok, yani 'genesis' bloğu içine kaydedilir. Her blokzincir yayınlanmış bir 'genesis' bloğuna sahiptir ve her blok, mutabık kalınmış mutabakata dayalı bir yöntem temelinde blokzincirine sonra eklenmelidir. Bununla birlikte, yöntem ne olursa olsun, her bir bloğun geçerliliği vardır ve bu nedenle, blokzincir ağındaki her bir kullanıcı tarafından bağımsız olarak onaylanabilir olması gerekir. Başlangıç durumunu ve o zamandan beri her bloğu doğrulama yeteneğini birleştirerek, kullanıcılar blokzincirinin mevcut durumunu kabul ederler. Blokzincirlerde birden fazla zincirin oluşması durumunda, temel varsayım herkesin en uzun zincirin benimsenmesidir. Daha sonra aşağıdaki özellikler uygulanır:

- Her kullanıcı sistemin ilk durumu üzerinde anlaşmaya varır.
- Kullanıcılar, blokların sisteme eklendiği uzlaşma modelini kabul etmiş sayılırlar.
- Her blok, bir kriptografik özet alma ile önceki bloğa bağlanır (önceki bloğu olmayan ve genellikle önceki blok için her 0'ın bir özet değerine sahip olan ilk 'genesis' bloğu hariç).
- Kullanıcılar her bloğu doğrulayabilir.

Blokzincir yaklaşımının temeli, sistemin durumunu bildirmek için güvenilir üçüncü bir şahsa gereksinim duymadan işlemleri gerçeklemesidir. Sistem içindeki tüm kullanıcılar sistemin bütünlüğünü doğrulayabilirler. Blokzincirine yeni bir blok eklemek için, katılan tüm düğümlerin zamanla ortak bir anlaşmaya varmaları gerekir, bu nedenle bazı geçici anlaşmazlıklara izin verilir. Uzlaşma metni (veya fikir birliği), muhtemel kötü amaçlı kullanıcıların blokzincirini bozmaya veya devretmeye çalışması durumunda bile çalışmalıdır. Bitcoin'de kullanılan Emek kanıtı uzlaşma

modelinden sonra onlarca farklı uzlaşma modelleri ortaya çıktı. Tüm bu uzlaşma modellerini üç farklı uzlaşma protokolü ve varyantları olarak görebiliriz. Bu uzlaşma modelleri:

- Emek Kanıtı (Proof of Work) Uzlaşma Protokolü
- Hisse Kanıtı (Proof of Stake) Uzlaşma Protokolü
- Bizans Hata Toleransı (BHT) Uzlaşma Protokolü

Bu makalenin temel amacı, blokzincir sistemlerinin en önemli parçası olan literatürde ve pratikte yer alan uzlaşma protokolleri inceleyip karşılaştırmalı olarak vermektir. Bu amaçla, öncelikle blokzincirlerde farklılıkları sağlayan önemli görülen kriterler tanımlanacaktır. Daha sonra emek kanıtı uzlaşma protokolü ve dezavantajları anlatılacaktır. Daha sonra hisse kanıtı uzlaşma protokolü ve avantajları anlatılacaktır. Daha sonra Bizans hata toleransı ve farklı sürümleri anlatılacaktır. Son olarak makalede anlatılan uzlaşma protokollerinin kıyaslı tablosu verilerek tartışmalara yer verilecektir.

Sınıflandırma Kriterleri

Blokzincirler birçok farklı şekilde oluşturulup herkes tarafından erişilebilir kılınabilirler. Örneğin, en popüler kripto para madenciliği olan Bitcoin'de, herkes tam düğüm olabildiği gibi aynı zamanda madenci olarak sisteme katkıda bulunabilmektedir. Herkes, tüm verileri okuma hakkına sahip olabilmektedir ve aynı zamanda tüm zincirin bir kopyasını kendisinde saklayarak blokzincirde yasal olan değişiklikleri yapabilirler. Tüm katılımcılar eşit ve halka açık haklara sahiptirler. Bu tarz zincirlere *halka açık* ve *izinsiz* blokzincirler denilmektedir.

Özel izne tabi tutularak erişim, okuma ve yazma haklarına sahip kılınan blokzincirlerde bulunmaktadır. Bu şekilde oluşturulan zincirlerde yer alan konfigürasyon katılımcıların işlemlerini kontrol eder ve her bir katılımcının hangi erişimlere sahip olduğu rolleri tanımlar. Ayrıca, katılımcıların kimlik bilgilerini ağda tutabilir. Bu şekilde oluşturulan zincirlere, *izinli* blokzincir denilmektedir.

Sadece bilinen ve tanımlı katılımcıların ağa katılmasına izin veren zincirlere *gizli/özel* blokzincir olarak adlandırılırlar. İzinli blokzincirler özel blokzincirlerden farklıdır. Örneğin, bir banka, bankanın içinde bulunan belirli sayıda düğüm yoluyla çalıştırılan özel bir blokzincir çalıştırabilir. Buna karşılık, izin verilen blokzincirler, kimlik ve rol tanımlandıktan sonra herhangi birinin bir ağa katılmasına izin verebilir.

Bir diğer kıstas olarak zincirlerin *değişmezlik* (immutability) seviyesidir. Blokzincirler, dağıtık ağ altında verilerin yüksek oranda *değişmezliğini* ve güvenilirliğini sağlayabilen bir veri tabanı olarak tanımlanmaktadır. Bu, blokzincirine eklendikten sonra verilerin değiştirilemeyeceği anlamına gelmemektedir. Örneğin, Bitcoin ağında, madenciler her on dakikada bir blok oluştururlar. İki madencinin matematiksel denklemi çözebildikleri sürece aynı anda iki farklı blok üretmesi düşük bir ihtimalde olsa mümkündür ve bu farklı işlem kayıtlarına sahip iki zincirin oluşturulmasına yol açar. Bununla birlikte, zaman geçtikçe, iki zincirin aynı anda uzamaya devam etme olasılığı düşer. Aynı anda iki bloğun üretilme olasılığının %30 olduğunu varsayalım. Daha sonra iki ardışık 10 dakikalık periyotta iki bloğun aynı anda üretilme olasılığı %9'tür ($=\% 30 * \% 30$). Üç ardışık 10 dakikalık periyot için olasılık daha da %0.27'e düşer ($=\% 30 * \% 30 * \% 30$). Başka bir deyişle, bir zaman noktasında, sadece bir zincir sürekli büyüyebilir ve bir diğeri düğümler tarafından kabul görmeyecektir. Terk edilmiş zincir içindeki veriler, diğer zincirdeki verilerle değiştirilir. Bu nedenle, veriler tamamen değiştirilebilir ve hatta silinebilir ve başka verilerle değiştirilebilirler. Bu nedenle, bir Bitcoin işlemi için bir "altı onaylama kuralı" vardır. Bir onay, yeni oluşturulan blokta görünen bir işlem anlamına gelir. Altı onay, mevcut bloktan beş blok uzaklıkta olan blokta görünen bir işleme karşılık gelir. Bu, o Bitcoin işleminin de dâhil edilmemesini engelleyebilir. Buradan şu sonuca varılır, uzun dönemde Bitcoin'de verilerin değişmesi zordur.

Blokszincir sisteminde işlemlerinin sayısı arttıkça, zincirler hızlı bir şekilde büyürler ve bu da işlemlerin yavaşlanmasına sebebiyet verir. Bunun nedeni, bir blokszincir ögesinin kaldırabileceği işlemlerin sayısı hiçbir zaman ağda bulunan düğümlerin kapasitesini aşamaz. Ağa yeni düğümler eklendikçe zincirin yönetilmesi zorlaşmaktadır çünkü düğümler arası logaritmik bir gecikme söz konusudur. Bu sebeple daha fazla işlemleri işlemek için blokszincirler *ölçeklendirilmesi* (scalability) zorlaşmaktadır. Farklı çözümler kullanılarak bazı blokszincirlerin ölçeklendirilmesi yapılabilmektedir.

Emek Kanıtı Uzlaşma Protokolü

Emek Kanıtı (Proof of Work, PoW) kavramı ilk defa Cynthia Dwork ve Moni Naor tarafından istenmeyen e-postalar ile mücadelede kullanıldı (Naor ve Dwork, 1993). Daha sonra Markus Jakobsson and Ari Juels tarafından 1999'daki makalelerinde bu yöntem resmileştirildi (Jakobsson ve Juels, 1999). Hizmet saldırılarını ve diğer hizmet ihlallerini engellemek için ekonomik bir önlem olarak tanımlanmaktadır. Burada istekte bulunan servis ve/veya kişilerden bazı hesaplamaya dayalı işlemlerin yapılması istenir. Bu yöntemin en önemli özelliği asimetri olmasıdır, istekte bulunan taraf için orta derecede zor ama hesaplanması mümkün olmasına karşın, servis sağlayıcının işlemi kontrol etmesi oldukça kolaydır. Bu protokol, aynı zamanda bir CPU maliyet fonksiyonu, istemci bulmaca çözümü, hesaplamalı bir bulmaca veya CPU fiyatlandırma işlevi olarak tanımlanabilir. Emek Kanıtı, bilgisayarlar tarafından çözülmesi beklendiğinden insanlar tarafından çözülmesi beklenen güvenlik kodlarından (captcha) farklılık gösterir. İki türlü Emek ispatı protokolü bulunmaktadır; sorgu-cevap protokolü ve çözüm-doğrulama protokolü.

Sorgu-Cevap Protokolü

Sorgu-cevap protokolleri, istekte bulunan (istemci) ve sağlayıcı (sunucu) arasında doğrudan bir etkileşimli bağlantı olduğunu varsayar. Sağlayıcı önceden tanımlanmış bir küme ile ilgili rasgele bir sorgu oluşturur, istemci

ise ilgili doğru yanıtı sağlayıcıya geri gönderir ve yanıt kontrol edilir (Bkz. *Şekil 2.Sorgu-Cevap Protokolü*).



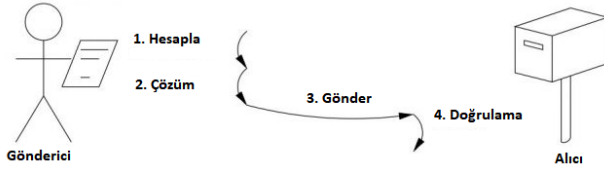
Şekil 2.Sorgu-Cevap Protokolü

Sorgular sağlayıcı tarafından oluşturulduğundan sorgunun zorluk derecesini duruma göre ayarlayabilir. Sorgu-cevap protokolünün sağlayıcı tarafında bilinen bir çözüme sahip olması ya da sınırlı bir arama alanı içinde var olması halinde istemciye hesaplamaya alanı sınırlandırılabilir.

Çözüm-Doğrulama Protokolü

Bu protokolle istemci ve sağlayıcı arasında herhangi bir direkt bağlantıya ihtiyaç duymamaktadır. Talepte bulunan kişi tarafından çözüm aranmadan önce problem kendiliğinden yüklenir ve sağlayıcı hem problem seçimini hem de bulunan çözümü kontrol eder (Bkz. *Şekil 3.Çözüm Doğrulama Protokolü*). Bu tür protokollerin çoğu, 1997'de Adam Back tarafından geliştirilen, iş miktarını seçilebilir kılan ve işin kanıtını etkili bir şekilde doğrulayabilen Hashcash gibi sınırsız olasılıklı yineleme algoritmasına sahiptir (Back, 2018). Hashcash, özet fonksiyonlarını kullanarak e-posta kullanıcıları için istenmeyen e-posta mekanizmasını sağlamaktadır. Hashcash'te bir kullanıcı e-posta göndermek istediğinde e-posta sunucusu daha önceden hesaplamış olduğu ve özet değerini bildiği bir kriptografik özet fonksiyonunu kullanıcıya hesaplatır. Normal bir kullanıcı için bu hesaplama işlemi ortalama birkaç saniye kadar sürmektedir ve bu süre kullanıcı için problem teşkil etmemektedir. Fakat bu işlem her bir gönderi için yapılması gerektiğinden kötü niyetli bir kullanıcı 1 milyon tane istenmeyen e-posta yollamak istediğinde 1 milyon saniyeden fazla beklemek durumunda kalır. Böylece, kriptografik özet fonksiyonlarının

belli bir emek kanıtı olarak kullanılmasının güzel bir örneği olarak gösterilir.



Şekil 3.Çözüm Doğrulama Protokolü

Emek kanıtında kullanılan işlevlerin hesaplama süresi CPU, bellek ve/veya ağ iletişimi tarafından sınırlanabilir. CPU tarafından sınırlandırılmış fonksiyonların hızı düşük maliyetli taşınabilir cihazlarda çok yavaş olurken yüksek uçlu sunucularda çok hızlı olabilmektedir. Öte yandan bellek tarafından sınırlandırılan fonksiyonların hızı donanımların değişiminden çok fazla etkilenmemektedir (Abadi vd., 2005; Dwork vd., 2013). Dahası, ağ iletişimi sınırlamalı işlevlerde, istemcinin birkaç hesaplama yapması gerekiyorsa, son hizmet sağlayıcısını sorgulamadan önce uzak sunuculardan bazı jetonları alması gerekir. Jeton alma işlevi istemci ile sağlayıcı arasında belli bir gecikmeler olmasını sağlar (Abliz ve Znati, 2009).

Blokc zincir teknolojilerinde çözüm-doğrulama protokolleri kullanılmaktadır ve ilk defa Bitcoin tarafından kullanılmaya başlandı. Bir sonraki bölümde Bitcoin'de Emek kanıtının nasıl kullanıldığı anlatılacaktır.

Bitcoin'de Emek Kanıtı

Literatürde Emek kanıtı birçok farklı uygulamalarda kullanılmakta olup her bir uygulamada farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır. Kripto para madenciliğinde emek kanıtı ilk defa Bitcoin (BTC) üretiminde uzlaşma protokolünde kullanıldı ve bu protokolde SHA256 özet algoritması emek kanıtı için kullanılmaktadır (Nakamoto, 2009). Bitcoin 'de bir blok yayınlanmadan önce o bloğun güvenliğini belirleyen ve bir önceki blokların güvenliğini arttıran kriptografik özet fonksiyonu kullanılarak bir bulmaca tanımlanır

ve bu bulmacayı çözen ilk düğüm bu bloğu yayınlama hakkına sahip olmaktadır. Bu bulmacanın çözümünde yoğun miktarda enerji harcanmakta olup ve bu çözümün kendisi 'kanıt/ispat' olarak tanımlanmaktadır. Emek kanıtı protokolünde, hesaplama dayalı zor çözümlen bulmacalar belirlenirken, bulunan çözümlerin ise geçerli olup olmadığını kontrol etmeyi kolay olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu durum, diğer madenci düğümlerinin önerilen tüm sonraki blokları kolaylıkla doğrulamasını ve bulmaca çözümü doğrulanamayan önerilmiş blokların reddedilmesini sağlar. Ortak bir bulmaca yönteminde, bloğun özetinin belirli bir değerden daha düşük olmasını gerektirir. Belirlenen değer bulmacaların zorluk derecesini belirlemektedir. Madenci düğümler, gereksinimi karşılayan bir blok özeti bulmaya çalışırken, bloğa eklenen tek kullanımlık sayılar (teksa) üzerinde çok küçük değişiklikler yaparlar. Her girişim için madenci düğümü, yoğun hesaplama gerektiren bir işlem olan tüm blok başlığı için özeti hesaplar. Gerekli değer, blokların ne sıklıkta yayımlandığını etkileme zorluğunu ayarlamak için zaman içinde değiştirilebilir. Örneğin, Bitcoin'de, iki haftada bir yeni önerilen bulmacaların zorluk derecesi otomatik olarak ayarlanır ve blok yayın oranını her on dakikada bir kez olması sağlanır.

Bu protokolün en önemli özelliklerden biri, bulmaca çözümünde yapılan geçmiş işlerin, gelecekteki bulmacaları çözme olasılığını etkilememesidir. Diğer bir deyişle, aday bloğu bin veya bir milyon kez farklı teksa değerleri ile özet almak, mevcut bulmaca çözme olasılığını artırır, fakat kullanıcının gelecekteki bulmacalar için herhangi bir çözüm bulma şansını arttırmaz. Bu nedenle, bir blok için tanımlanan çözülmemiş her bulmaca birbirinden bağımsızdır ve çözümü benzer miktarda iş gerektirir. Bu, bir kullanıcı tamamlanmış bir bloğu başka bir kullanıcıdan aldığımda, yeni blok eklenmesi konusunda teşvik edilir; çünkü diğer blokların ekleneceğini bilirler ve bu bloktan devam ederler. Yeni bloğu kabul etmeyi reddetmeleri durumunda daha kısa bir blok zinciri inşa edeceklerdir ve bu da istenmeyen durum olacaktır çünkü protokolde varsayılan

olarak en uzun geçerli zincirle devam edileceği varsayımıdır.

Bu modeli daha iyi anlamak için örnek olarak, SHA-256 algoritmasını kullanarak bir bilgisayarın aşağıdaki hedef ölçütlerini karşılayan bir özet değer bulması gereken bir bulmaca düşünelim:

- SHA256 ('blokzincir' + teksa) = '0000000' ile başlayan özet değer bulmacası (Yedi tane sıfır ile başlayan özet değeri).

Bu örnekte, 'blokzincir' metin dizesinin sonuna bir teksa değeri eklenir ve daha sonra özet değeri hesaplanır. Kullanılan teksa değerleri yalnızca sayısal değerlerdir. Bu çözülmesi nispeten kolay bir bulmaca olup bazı örnek çıktıları şöyledir:

- SHA256('blokzincir0')
=0x11dda4b2f8409049aedb06247f0423f45194bdad1c23308b69565e49a671ebab (çözülmedi)
- SHA256('blokzincir1')
=0xb2efee8229b6fabd4dad44351ec327c6a3295b19e47e1a239ec381919fcf90ea (çözülmedi)
- ...
- SHA256('blokzincir33758449')
=0x**0000000**67d668d96d3415bcd2909fed7242cf75438596b38f675e8a926a5e30c (çözüm!)

Bu bulmacayı çözmek için 33.758.449 tane farklı teksa değerlerinin denenmesi ile bulundu. Bu işlemler için I7 işlemcili Windows 10'da Java Kütüphanesi kullanılarak tek bir iş parçacığı ile optimize edilmeden 25 saniye içinde tamamlanırken *teksa'lar* 0'dan başlayıp bir defada bir değer test edildi. Bununla birlikte, her ek 'önde gelen sıfır' değeri bulmacanın zorluğu artırır. Hedefi bir ön ek sıfır ('00000000', sekiz tane sıfır ile başlayan özet) artırarak aynı donanımla, bulmacayı çözmek için 9.264.471.446 farklı tahmin gerektirdi (1 saat 53 dakika, 13 saniye içinde tamamlandı):

- SHA256('blokzincir9264471446') =0x**00000000**8252af91fb84d5c0cbb5103e169892c8b56334bfa4666bb6ff49b17e

Bu işlemlerin çözümünde kısa yol bulunmamaktadır. Madenci düğümler, hedef değer için doğru olan özet değeri bulmak için yoğun bir hesaplama yapmak ve bunun için de zaman ve kaynakları harcamak zorundadır. Bir kullanıcı bulmaca çözme işini yaptıktan sonra,

ağdaki diğer düğümlere geçerli bir not ile aday bloğunu gönderir. Alıcı düğümler, bu işin düzgün yapıldığını doğruladıktan sonra aday bloğu kendi zincirine ekleyip bloğu diğer düğümlere gönderirler. Bu şekilde, yeni aday bloklar ağda bulunan tüm düğümlere hızla dağıtılır. Bulmacaların çözümünde bulunan teksa değerlerinin doğrulanması kolaydır, çünkü bulmacanın çözülüp çözülmediğini kontrol etmek için yalnızca tek bir özet alınması yeterlidir.

Havuz Yöntemi

Emek kanıtı uzlaşma protokolü, sistem kullanıcıları arasında çok az güvenin olduğu veya birbirlerine tamamen güvenmediği durumlar için tasarlanmıştır. Madenci düğümlerin, bulmacaları çözerek ve eklenen bloklardaki işlemleri de kontrol ederek sistem üzerinde beklenmeyen değişiklik yapılmasını önler. Yazılımların ve donanımların sürekli gelişmesi bulmacaların daha verimli bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır. Buna ek olarak ağdaki kullanıcıların sayısının artması bulmacaların çözme hızlarını daha da arttırmaktadır. Fakat sistemde bazı kötü niyetli kullanıcıların bir araya gelerek sisteme zarar vermesini engellemek için bulmacaların zorluk dereceleri zamanla arttırılmaktadır.

Bitcoin ve benzeri kripto para madenciliğinde tanımlanan blok üretme zorluk derecesinin artması nedeniyle herhangi bir bilgisayar için bir bulmacayı çözmek daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle, madenci düğümleri kendilerini 'havuz' ya da 'kolektif' olarak örgütleyerek bulmacaları topluca çözmektedirler. Bunun nedeni, iş yükü ve ödülleri paylaşmaktır. Bunun için çalışmayı iki veya daha fazla düğüm arasında bir kolektif arasında dağıtarak havuz oluşturulur.

Havuz sisteminin daha iyi anlamak 4 madenci düğümden oluşan bir havuzu deney örneği şöyle gerçekleştirildi. Hedef bulmaca 8 tane sıfır ile başlayan bir özet değeri bulmak olarak tanımlansın. Toplamda 40.000.000.000 tane farklı teksa denenmesi amaçlandı. Sınanması gereken değerler kümesi dörde bölündü ve her

düğüm kendi aralığındaki değerleri dikkate aldı. Şöyle ki:

1. Düğüm: 0000000000'nolu *teksa* değerinden 10000000000'e kadar kontrol eder.
2. Düğüm: 10000000001'nolu *teksa* değerinden 20000000000'e kadar kontrol eder.
3. Düğüm: 20000000001'nolu *teksa* değerinden 30000000000'e kadar kontrol eder.
4. Düğüm: 30000000001'nolu *teksa* değerinden 40000000000'ye kadar kontrol eder.

Bu bulmacanın çözümlerinden birini 3. düğüm şöyle hesapladı:

- SHA256('blokzincir30458017781')
=0x0000000d4fa2df066b145aeda4e7a975e0049cba
2a18f683c51d83f60f74db9

Bu çözümde toplamda 1.835.009.602 farklı *teksa* tahminleri kullanılarak hesaplandı (toplam 8 dakika ve 5 saniye içinde tamamlandı). İş çok daha fazla makine arasında bölmek, emek modelinin ispatında daha tutarlı ödüllerin yanı sıra daha iyi sonuçlar vermesini sağladığı sonucuna varıldı.

Emek Kanıtı Dezavantajları

Emek kanıtı uzlaşma protokolüne yapılan en büyük eleştiri doğal enerji kaynaklarının israfıdır. Bu modeli kullanan ağlar küçük iken önemli ve tartışılan bir konu değildi. Fakat, Bitcoin ve benzeri kripto para madenciliklerin ağı son yıllarda katlanarak büyümektedir. Bu büyüme bulmacaların zorluk derecelerinin artırılmasına sebebiyet vermektedir ve bulmacaların çözümünde çok fazla işlemlerin yapılması ve bu da çok fazla enerji kullanımını gerektirmektedir. Bu enerji ihtiyacı dikkate alınacak kadar hayati öneme sahiptir. Örneğin, hâlihazırda Bitcoin 'de blok üretmek için İrlanda'nın ihtiyacı olan elektrikten daha fazla elektriği kullanmaktadır ve 2020 yılına kadar Danimarka'nın ihtiyacı olduğu elektrik miktarını tüketeceği düşünülmektedir. Emek kanıtı modelinin güvenliği, hiçbir kuruluşun/düğümün işlem gücünün %50'sinden fazlasını

toplayamaması ilkesine dayanmaktadır, çünkü böyle bir durumda, gücü elinde tutan kuruluş en uzun zinciri sürdürerek sistemi etkin bir şekilde kontrol edebilir. Aynı zamanda, bu gücü elde eden bir saldırgan:

- Çift harcama saldırısını gerçekleştirebilir. Aynı harcamayı iki farklı bloklarda gerçekleştirir ve istediği blokların onaylanmasını ve istemediği blokların ret edilmesini sağlamasından ötürü bu saldırıyı gerçekleştirmesi kolay olmaktadır.
- Hizmet engelleme saldırısını gerçekleştirebilirler.

Emek kanıtı uzlaşma modeline yapılacak son eleştiri madencilere verilen ödüllerin miktarı/değeri düştüğünde madenci sayıları azalacak olmasıdır. Bu eksi yönlü değişim ağı hesaplama gücünü azaltacaktır ve bu da kullanıcıların sisteme olan güvenini sarsacaktır.

Hisse Kanıtı (Proof of Stake) Uzlaşma Protokolü

Hisse kanıtı kavramı ilk defa Bitcoin'de kullanılmak üzere parayı elde tutma süresi (coin age) olarak 2011 yılının başlarında bitcointalk.org'ta ortaya atıldı ve bu özellik gerçekleştirilecek işlemlerin önceliklerini belirlemek için kullanıldı. Sunny King ve Scott Nadal 2012 yılında yayımlanan bir makalede hisse kanıtının kripto para madenciliğinde uzlaşma modeli olarak kullanılabileceğini resmi olarak gösterdiler (King ve Nadal, 2012). Bu modelde, cüzdanında para bulunduran her kullanıcı aynı zamanda doğrulayıcı olabilmektedir. Bu modelin ilk sürümü emek kanıtı modeli ile birlikte düşünülmüştür, yani madenciliğin ilk başlarında emek kanıtının kullanılması ve zamanla sisteme olan etkisinin kaldırılması öngörüldü. Böylece emek kanıtında gereken yüksek enerji tüketimi sorununu kaldırılmış olacaktır.

Emek kanıtında harcanan enerjiye dayalı güven yerine, Sunny ve Scott, düğümlerin sahip olduğu hisse miktarlarına (kripto para miktarı) göre bir sonraki bloğu yayınlayacak düğümü seçecek algoritmayı önerdiler. Diğer bir deyişle, bir

düğümün sistemde (cüzdanda) ne kadar çok hissesi (kripto parası) var ise bir sonraki bloğu yayınlama hakkını o kadar çok kazanma olasılığına sahip olmaktadır. Ayrıca, hissesi çok olan bir düğüm, bir o kadar daha az ihtimal ile sistemin çalışmasını bozmak isteyecektir. Hisse ispatını kullanan uygulamalardaki en önemli temel yapı taşlardan biri işlemlerde kullanılan para yaşı kavramıdır.

Para Yaşı ve Parayı Elde Tutma

Paranın yaşı ölçütü, esasen kripto paraya sahip olan kişinin elindeki parayı harcamadan veya hareket ettirmeden elinde tutma süresi olarak tanımlanır. Herhangi bir işleme tabi tutulan para miktarının yaşı transfer işlemin başarı ile tamamlanmasından sonra sıfırlanır. Örneğin, paranın yaşının doğrusal olarak arttığı düşünülürse 200 gün boyunca 365 adet kripto parayı elde tutan bir kişi 7.300 "para günü" veya yaklaşık 200 "para yıl" biriktirdiği düşünülür. Öte yandan paranın yaşının doğrusal değil de farklı bir fonksiyona kullanılarak ta değişebilir. Paranın yaşının aktif olarak kullanılabilmesi amacı ile tüm işlemlerde zaman damgası kullanılmaktadır. Blokların yayınlanma zamanı ile işlemlerin zaman damgası paranın yaşının güvenli bir şekilde hesaplanmasında yardımcı olmaktadır.

Daha fazla para yaşına sahip düğümlerin bir bloğu imzalama şansı o kadar oranda fazla olur. Dolaşımdaki toplam paraların %1'ine sahipseniz ve bunu elinizde bulundurursanız, herhangi bir bloğu sizin imzanız ile yayınlanma olasılığı %1 olacaktır. Diğer bir deyişle, her 100 bloktan 1'ini imzalamayı bekleyebilirsiniz. Bir bloğu imzalama şansını kazandığınızda, cüzdanınız otomatik olarak bir "staking" (hisse tutma) işlemini tamamlar. Bu bazen "minting" (para basma) olarak da adlandırılır. Cüzdanınız kazandığında, para yaşınızın bir kısmını veya tamamını tüketir ve karşılığında bir miktar ödül alırsınız. Örneğin, bir kripto paranın %5 yıllık enflasyona sahip olduğunu ve 10 yıllık para yaşını (yukarıdaki örnekte olduğu gibi) tükettiğinizi bildirirseniz, size ödül olarak 5 adet kripto para verilir ($100 \text{ yıl} * 0.05 \text{ para/yıl} = 5 \text{ para}$). Bu işlemden sonra elinizdeki paraların yaşı sıfırlanır ve paranız tekrardan yaşlanmaya başlar.

Sıfır Hisse Problemi

Bazı düğümlerin birden blok oluşturup ve ayrı işlem ücreti talep etmesi ve imzalayan düğümlerin de tüm blokları imzalama problemi. Emek ispatında madencilik maliyetli olurken, hisse ispatında işlemler çok ucuz olması bu olayın gerçekleşmesini kolaylaştırmaktadır. Diğer bir deyişle çatallaşma durumlarında imzalayan düğümlerin hangi çatalın kazanmasına bakmaksızın her iki çataldaki blokları imzalamasıdır. Bu durumda uzlaşma protokolü beklenildiği gibi çalışmamaktadır ve öyle ki bu çatallaşmalarda çift harcama problemi gerçekleşme olasılığı çok büyüktür. Hisse kanıtı uzlaşma modelinin en önemli sorunu olarak tanımlanmaktadır. Bu probleme karşı farklı çözümler üretilmiştir. Örneğin, Casper hisse kanıtı uzlaşma modelinde aynı anda iki bloğu imzalayanları cezalandırmaktadır. Hisse ispatı modelinde kullanılacak farklı görecelerin var olması, blokzincirlerin farklı amaçlar için oluşturulması ve farklı problemlere odaklanmasından ötürü çeşitli uzlaşma modelleri ortaya çıkmıştır.

Temsili Hisse Kanıtı (Delegated Proof Of Stake)

Daniel Larimer tarafından geliştirilen temsili hisse kanıtı var olan hisse kanıtı yöntemine göre daha adil, iki katmanlı demokratik ve esnek bir uzlaşma yaklaşımı sergilemektedir ve bu yaklaşım ile işlemler daha verimli ve hızlı yapılmaktadır (Larimer, 2014). Bu modelde, itibar koruma sistemi ve gerçek zamanlı oylama kullanılır ve iki katmanlı temsili bir demokrasi gerçekleşir. Daha açık olmak gerekirse, güvenilir kripto parası olan kullanıcılardan oluşan bir tanık paneli, oylama yöntemi ile oluşturulur. Bu panelin kontrolünde bloklar oluşturulur ve panele güvenilir olmayan kişilerin engellenmesi sağlanır. Panelde bulunan tanık heyeti blokların oluşturulmasından sorumludurlar ve bu işlemlerden ötürü ödüllendirilmektedir. Öte yandan, blokların içerisinde yer alan işlemleri değiştiremezler. Fakat bloklara uygun olmayan kötücül işlemlerin eklenmesini engellerler. Bu işlev kötü niyetli tanık heyetinde bulunan kullanıcılara yanlış görünen bir güç veriyor gibi görünebilir. Fakat kötü niyetli tanıkların

davranışları zamanla halka açık hale gelmesi muhtemeldir. Öte yandan, bu modelde yer alan tüm üyeler topluca herhangi bir vekilin temsil heyetinden çıkarılmasını önerebilirler ve oylayabilirler. Bu sebeple, tanık heyetinde bulunan/seçilen kullanıcılar sahip oldukları itibarlarını kaybetmemek uğruna işlemleri doğru ve gerçek zamanlı yaparlar.

Bu modelde ayrıca sistem ve ağ parametrelerine karar verecek bir temsil heyeti, tanık heyeti oluşturulmasına benzer bir demokratik yöntemle oluşturulur. Bu heyetkiler işlemlerin/blokların boyutu ve blok oluşturulma ödül ücretlerine karar verirler. Bu parametreler sistemde çok sık değişmemektedir. Bu heyette yer alan kullanıcılara herhangi bir ödeme yapılmamaktadır. Bu uzlaşma modelini kullanan popüler kripto para olarak BitShares, Steem, EOS, List ve Ark'ı örnek olarak gösterilir.

Kiralık Hisse İspatı (Leased Proof of Stake)

Geleneksel hisse ispatı uzlaşma modelinde az sayıda hisseye sahip olanlar küçük bir ihtimalle blok oluştururlar ve bu ihtimalin gerçekleşmesi uzun bir süre gerektirir. Bu problem emek kanıtı uzlaşma modelinde düşük işlem gücüne sahip olanlarda da bulunmaktadır. Çok düşük bir ihtimalle şanslı bir kullanıcı yıllar sonra blok oluşturmaya hak kazanabilir. Bu durum, çok az sayıda hisse oranına sahip kullanıcıların düğüm oluşturmayacağı ve sistemi genellikle büyük hisseye sahip kullanıcıların yöneteceği anlamına gelmektedir. Fakat sistemi ne kadar fazla katılımcı ile yönetilirse sistem o kadar merkezi olmayan güvenilir bir duruma gelecektir. Bu durumu sağlamak için az sayıda hisseye sahip kişilere teşvik verilmesi önem arz etmektedir.

Kiralık hisse ispatı uzlaşma modeli ile bu kişilerin hisselerini düğümlere kiralamalarını sağlamaktadır (Platform Waves, 2018). Kiralanan tüm hisselerin kontrolü sahibinin kontrolünde olup istediği zaman harcayabilir veya başka bir yere gönderebilir. Kiralanan hisseler düğümlerin sistem içerisindeki ağırlıklarını arttırır ve bu da kiralayan düğümlerin blok oluşturma olasılıklarını arttırır. Blok oluşturmada elde edilen ödül kiralanan hisse oranında paylaşılır. Bu uzlaşma modeli

Waves kripto para madenciliği tarafından gerçekleştirilmektedir. Ağın güvenliği cüzdanında en az 10.000 WAVE bulunduran aktif düğümler tarafından sağlanmaktadır. Cüzdanında en az bu miktar kadar para bulunduran herkes düğüm olabilmektedir ve başkalarının hisselerini kiralayabilmektedir.

Önemin Kanıtı (Proof of Importance)

NEM tarafından geliştirilen bu modelde her bir hesap için bir güven derecelendirme notu verilmektedir. Önemli olarak kabul edilen kullanıcılar blok oluşturabilir ve karşılığında ödül almaktadırlar. Bir NEM kullanıcısının önemi, sahip oldukları hisselerin sayısı ve cüzdanlarına yapılan işlem sayısı ile ölçülmektedir. Bu yöntemle herkese benzer fırsatlar sunulmaktadır ve temel ise amaç düzenli bir şekilde işlem yapan kullanıcıları teşvik etmektir. Hisse kanıtına dayalı sistemlerde, bir kişinin bir blok oluşturmak için çok sayıda hisseye sahip olması gerekirken NEM işlemlerinde hacim ve güven faktörleri önem arz etmektedir. Böylece, NEM kullanıcıları sadece XEM'lerini cüzdanlarında tutmayacak, ayrıca aktif olarak işlem hacimlerini gerçekleştirecektir (Beikverdi, Cointelegraph, 2015) (Beikverdi, Cointelegraph, 2015).

NEM'de blok oluşturmaya ve karşılığında verilen ödüle ekin biçme/hasat denilmektedir. Önemin kanıtı modeli hangi bloğun geçerli olduğunu belirler. NEM'de kullanıcılar, her 1440 blokta bir cüzdanlarındaki bakiyenin $\frac{1}{10}$ oranında XEM miktarı üzerinde hak elde edilmiş sayılırlar. Herhangi bir kullanıcının önem derecesinin hesaplanabilmesi ve ekin hasat edebilmesi için cüzdanında en az 10.000 tane XEM üzerinde hak elde edilmiş olması lazım. XEM'de blok üretmede yeni paralar üretilmemektedir, bloklardaki işlem ücretleri blok üreticisine verilmektedir.

Ouroboros Hisse Kanıtı Protokolü

Cardano için geliştirilen Ouroboros hisse kanıtı modelinde zaman çağlara ve her bir çağ n tane zaman dilimine (örnek. 20sn) bölünmüştür (Kiayias vd., 2016). Her bir zaman diliminde bir tane blok oluşturur. Her zaman aralığının bir lideri vardır. Lider belirli bir orandan fazla

hisseye sahip kişilerden seçilir. Birden fazla zaman aralığı için aynı lider seçilebilir yani Hissesi çok olan daha fazla liderlik yapacaktır. Bu arada, her lider kendi zaman dilimlerinde çevrimiçi olmak zorundadır. Aksi durumda o blok boş geçecek üretilemeyecektir.

Lider seçiminin tarafsız ve bağımsız olması için seçmenler arasında Güvenli Çoklu Hesaplamalar ile Kamu tarafından doğrulanabilir Gizli paylaşım protokolleri koşturulur (Blum, 1983) (Feldman, 1987). Protokolde, her seçmen rasgele bir madeni para atması (yazı-tura gibi) beklenir ve bu protokoller aracılığı ile final bir çekirdek değer elde edilir ve bu değerle zaman dilimlerinin liderleri belirlenir.

Casper Hisse Kanıtı Protokolü

Vitalik Buterin ve Virgil Griffith tarafından 2017'de Ethereum için geliştirilen ve yakın zamanda uygulanacak olan bir uzlaşma modelidir (Buterin ve Griffith, 2017). Bu model, aslında Hisse kanıtı ile birazdan anlatacağım Bizans hata toleransı uzlaşma modelinin birleşmesinden oluşmaktadır. Hali hazırda yürütülen emek ispatı ile birlikte yürütülecektir ve zamanla emek ispatının etkisi azaltılarak tamamen ortadan kaldırılacaktır. Blokların oluşturulması ve onaylanmasını doğrulayıcılar tarafından gerçekleştirilir. Bir miktar ETH depozit olarak Casper akıllı sözleşmelerine yatırmaları gerekir. Depozitle, kötü doğrulayıcılar cezalandırılır. Bununla Sıfır Hisse Problemi çözülmüş olur. İki fazda oylama ile bloklar hazırlanır ve yayınlanır. Her iki fazda da en az 2/3 oranında onay gerekir.

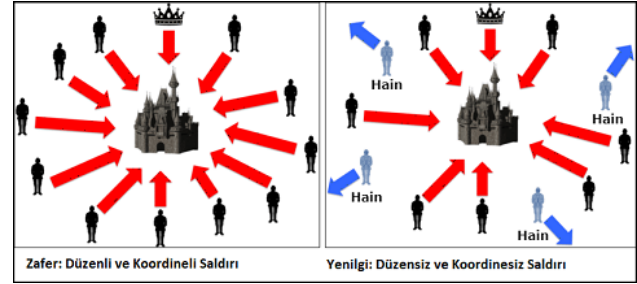
Bu protokolün birkaç güzel özelliği vardır:

- Herkes düğüm olabilir.
- Uzlaşmaya hızlıca varılır.
- Geri dönüşü olmayan bir uzlaşma üzerinde anlaşılır
- Herhangi bir politika güdülmez.

Bizans Hata Toleransı Modeli

Dağıtık hesaplama sistemlerinde kullanılan Bizans Hata Toleransı (BHT), iki general probleminin genelleştirilmiş hali olan Bizans generalleri probleminin başarısızlık durumlarını belirli bir düzeye kadar tolere eden sistemin bir

özelliğidir. Bu problemin çözülemeyen bir ispatı bulunmaktadır. Bizans generalleri hikâyesi şöyle özetlenmiştir (Bkz. Şekil 4. Bizans Generalleri Problemi).



Şekil 4. Bizans Generalleri Problemi

- Bizans ordusunun birkaç bölüğünün düşman kentnin dışında kamp yaptığını ve her bir bölüğün kendi generalinin komutasında olduğunu düşünelim. Generaller, yalnızca haberci tarafından birbirleriyle iletişim kurabilirler. Düşmanı gözlemledikten sonra ortak bir eylem planı üzerinde karar vermeleri gerekir. Bununla birlikte, generallerden bazıları, sadık generallerin anlaşmaya varmalarını önlemeye çalışan hainler olabilir. Generaller şehre ne zaman saldırı gerektiğine karar vermeli fakat aynı zamanda hücum etmek için ordularının güçlü bir çoğunluğuna ihtiyaç duyuyorlar. Generallerin, (a) tüm sadık generallerin aynı eylem planına karar verdiklerini ve (b) az sayıda haince sadık generallerin kötü bir plan hazırlamasına izin vermeyecek bir algoritma olmalıdır. Sadık generaller, algoritmanın gerektiğini söylediklerini yapacak, ancak hainler istedikleri her şeyi yapabilecek. Algoritma, hainlerin ne yaptıklarına bakılmaksızın (a) koşulunu garanti altına almalıdır. Sadık generaller sadece anlaşmaya varmakla kalmamalı, makul bir plan üzerinde anlaşmalıdır.

Hikâyede yer alan 'generaller', söz konusu blokzincirin üyeleridir. Birbirlerine gönderdikleri haberciler, ağ üzerinden gönderilen mesajlardır. "Sadık generallerin" ortak amacı, blokzincire gönderilen bir bilginin geçerli olup olmadığını kabul etmeye karar vermektir. Geçerli bir bilgi parçası, hikâyede saldırı lehine karar vermek için doğru bir fırsat olacaktır. Sadık generaller, blokzincirin

bütünlüğünü sağlamak ile ilgilenen ve yalnızca doğru bilginin kabul edilmesini sağlamak için sadık blokzinciri katılımcılarıdır. Diğer taraftan hain generaller, blokzincirdeki bilgileri tahrif etmek isteyen kötü niyetli uçlardır.

Blokzincir sistemlerinde BHT problemi için tek veya resmi bir çözüm bulunmamaktadır. Aslında emek kanıtı yeterince büyük bir katılımcıya sahip olursa etkili bir şekilde BHT'yi sağlar. Yeterince katılımcı olması ve zamanla zorluk derecesinin artmasıyla, örneğin Bitcoin'de eski bir bloğu değiştirmek neredeyse imkânsız hale gelmiştir. Emek kanıtında saldırgan düğüm, saldırı esnasında çatalaşmaya neden olacaktır ve saldırı esnasında yeterince güçlü bir hesaplama (en az %51 güce) sahip olmadığı durumda çatalaşmaya neden olduğu zincirin devamını getiremeyecektir. Tüm düğümler uzun zincirin arkasından gitmeye meyilli oldukları için saldırganın etkisi ortadan kalkacaktır.

Diğer çözümlerde kullanılan BFT algoritmalarında her general(düğüm) bünyesinde bir durum bilgisi tutar. Bir general bir ileti aldığı anda, hesaplama veya işlem yürütmek için iletiyi kendi durum bilgisiyle birlikte kullanırlar (Lamport vd., 1982). Bu hesaplama, o kişiye söz konusu mesaj hakkında ne düşünülmesi gerektiğini söyler. Daha sonra, yeni mesajla ilgili bireysel kararına ulaştıktan sonra, general bu kararı sistemdeki diğer generallerle paylaşır. Bir uzlaşma kararı, tüm generaller tarafından verilen çoğunluk kararına dayanarak belirlenir.

Pratik BHT Uzlaşma Modeli

Hyperledger Fabric platformunda kullanılan bu uzlaşma modelinde katılımcıların bazı kesimlerinin kötü niyetli davranışlarına rağmen fikir birliği sağlanmaktadır (Castro ve Liskov, 1999). Hyperledger Fabric'te kullanıcılar önceden kayıtlı olduğundan bu model izinli blokzincirlerde kullanılmaktadır. Bu modelde, her doğrulayıcı düğümde bir adet açık ve özel anahtar çifti bulunmaktadır. Her düğüm diğer doğrulayıcı düğümlerin açık anahtar bilgisine sahiptir. Blokzincire eklenmek amacı ile yeni oluşturulan bloğun kriptografik özet değeri hesaplanır ve ağdaki diğer düğümlere gönderilir ve gönderen düğüm gelen yanıtları saymaya başlar. Doğrulama yapanların sayısının en az

2/3'ünde de aynı özet değeri görüldüğünde oluşturulan blok muhasebe defterine kopyalanır. Bir işlem belirli bir sayıda düğüm tarafından onaylanmış ise uzlaşma sağlanmış olup yapılan işlem geçerli hale gelmiş demektir. Tüm katılımcılar merkezi bir yapının onayı ile sisteme dâhil olması nedeniyle bu model dağıtık izinsiz blokzincir sistemlerinde kullanılmamaktadır. Bu sebeple, izinli yapılar içinde kullanılmaktadır. Bu modelin en büyük eksisi, $n > 20$ olunca düğümler arası mesajlaşma üstel olarak artmaktadır.

Temsili BHT Uzlaşma Modeli

Castro ve Liskov tarafından önerilen PBHT uzlaşma modelinin temsili demokrasi ile geliştirilmiş sürümü olup NEO platformunda uygulanmaktadır. Bu modelde, düğümler iki ayrılmaktadır; defter tutucular ve sıradan düğümler. Defter tutucular, tüm ağ için muhasebe hizmeti sağlar ve muhasebeyi sürdürür. Sıradan düğümler ise transferleri sağlar, para değişimi yapabilirler ve defter tutuculardan gelen verileri kabul ederler. NEO hissesine sahip olanlar kimlerin defter tutucu olacağına oylama yöntemi ile karar verirler ve defter tutucuların kimler olduğu kamuya açık hale getirilir. Modelin şu varsayımlara yer verilmiştir; mesajlar kaybolabilir, değişebilir, gecikerek ulaşabilir veya tekrar gönderilebilir. Düğümlerin davranışları sürekli değişebilir, ağa katılabilir veya ağdan kopabilirler, doğrulama yapabildikleri gibi yanlısayabilirler. Gönderilen verilerin bütünlüğü ve kimlik doğrulaması kriptografik işlemler ile yapılmaktadır, gönderici göndereceği verinin özet değerini alır imzaladıktan sonra gönderir.

Uzlaşma algoritmasında sıradan düğümler uzlaşmaya katılmazken, sistemin toplam defteri defter tutucular tarafından yönetilmektedir. Tüm uzlaşma düğümleri, mevcut uzlaşma durumunu tutmak için bir durum tablosunu kaydetmek zorundadırlar. Blokzincirin oluşumundan son haline kadar bir uzlaşma için kullanılan veri kümesine bir *Görünüm* adı verilir. Mevcut *Görünüm* içerisinde fikir birliğine ulaşamıyorsa, bir değişikliğin gidilecektir.

Tablo 1. Uzlaşma Modellerinin Sınıflandırılması

Uzlaşma Modeli	Türü	İşlem Kesinliği	İşlem Hızı	Düğüm Ağının Büyümesi	Düğüm Güven
Emek İspatı	İzinsiz	İhtimale Bağlı	Yavaş	Yüksek	Yok
Temsili Hisse Kanıtı	İzinli/ İzinsiz	İhtimale Bağlı	Hızlı	Yüksek	Yok
Kiralık Hisse Kanıtı	İzinli/ İzinsiz	İhtimale Bağlı	Hızlı	Yüksek	Yok
Önemin Hisse Kanıtı	İzinli/ İzinsiz	İhtimale Bağlı	Hızlı	Yüksek	Yok
Casper Hisse Kanıtı	İzinli/ İzinsiz	İhtimale Bağlı	Hızlı	Yüksek	Yok
Ouroboros Hisse Kanıtı	İzinli/ İzinsiz	İhtimale Bağlı	Hızlı	Yüksek	Yok
PBHT	İzinli	Kesin	Hızlı	Düşük	Yarı-Güven
TBHT	İzinli/ İzinsiz	Kesin	Hızlı	Yüksek	Yarı-Güven
FEDERE BHT	İzinli/ İzinsiz	Kesin	Hızlı	Yüksek	Yarı-Güven

Her bir *Görünümü*, 0'dan başlayarak v ile bir sayı ile tanımlanır ve fikir birliğine varıncaya kadar artırılabilir.

Her bir uzlaşma düğümü 0'dan başlayarak bir sayı ile tanımlanır, son düğüm $n - 1$ olarak numaralandırılır. Uzlaşma gerçekleşmesinin her turu için, bir düğüm kongre konuşmacısı olurken diğer düğümler kongre dinleyicileri rolünü oynamaktadır. Konuşmacı seçimi (seçilen kişinin numarası p olsun) şöyle yapılmaktadır. Mevcut bloğun boyutu h olsun, $p = \text{mod}(h - v)$ n olarak hesaplanır ve p 'nin değeri 0 ile $n - 1$ arasında olur. Uzlaşmada en fazla $f = \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor$ tane düğüm tolerans gösterilir, mutabakat düğümlerinden en az $n - f$ imzası ile her uzlaşma turunda yeni bir blok oluşturulacaktır. Bir blok oluşturulduğunda, yeni bir uzlaşma turu başlayacak ve $v = 0$ sıfırlanacaktır.

Federe BHT Uzlaşma Modeli

İlk defa Ripple (Schwartz vd, 2014) tarafından ortaya konan bu modelin çalıştığını Stellar'da (MAZIERES, 2016) formalize edilerek resmileştirildi. Temel olarak bu modelde Her düğüm belirli bir sayıdaki düğümlere güven duymaktadır. Bu model birden fazla turdan oluşmaktadır. İlk turda uzlaşma küçük gruplar arasında gerçekleşir. Sonraki turlarda gruplar arasında kesişmenin olması nedeniyle genel uzlaşma sağlanmış olur. Ripple'de katılımcılar önceden belirlenmişken Stellar'da ağa sonradan

katılım yapılabilmektedir. Bu iki protokolü teknik olarak şöyle özetleyebiliriz:

- Ripple protokolü, her düğümün Benzersiz Uç Listesi tanımlamasını gerektirir(UNL). UNL, güvenilen diğer Ripple uçlarını içerir. Ripple ağında uzlaşma UNL'deki diğer düğümlere danışılarak her düğüm tarafından sağlanır. Her UNL'nin Ripple ağındaki diğer uçlarla % 40 örtüşme sağlaması gerekir. Her düğüm, işlemleri "aday kümesi" adı verilen bir veri yapısında toplar ve aday kümesini UNL'deki düğümlere yayımlar. Düğümler işlemlerin geçerliliğini onaylar, oy verir ve oylarını yayımlar. Her düğüm aday kümesindeki en çok oyu alan düğüm işlemleri seçer ve bir sonraki tur için tekrar yayımlar. Bir aday kümesi düğümlerin %80'inden fazlasının çoğunluğunu aldığı anda aday kümesi geçerli bir blok haline gelir veya Ripple'da bir "ledger" haline gelir. Bu ledger "Last Closed Ledger (LCL)" olarak kabul edilir ve her düğüm tarafından Ripple blok zincirine eklenir.
- Stellar protokolü yeterli çoğunluk (quorum) prensibine dayalıdır. Quorum dilimi, belli bir düğümün uzlaşmada ikna olabilmesi için yeterli olacak quorum'un bir alt kümesidir.
- Tek bir düğüm birden fazla quorum dilimde yer alabilir. Her düğüm işlemlerdeki ilk oylamayı yapar. Bu, ortak oylama sürecinin ilk adımıdır. Her düğüm kendi seçimini gerçekleştirir ve seçimini tersine çeviren

başka bir bildirimde oy kullanmayacaktır. Bununla birlikte, eğer içinde bulunduğu dilim farklı bir seçimi kabul etmişse farklı bir seçimi kabul edebilir. İkinci adım, kabul aşamasıdır. Bir düğüm daha önce ters bir seçim yapmadıysa ve v-bloğundaki diğer uçlar seçimi kabul ediyorsa seçimi kabul eder. V-bloğu mevcut ucun üye olduğu quorum dilimlerinin her birine üye olan uçlardan oluşan bir kümedir. Quorum dilimlere anlaşmaya varmak için böylece birbirlerini etkilemiş olurlar. Quorumdaki bütün üyeler seçimi kabul ettiği zaman onaylama aşaması gerçekleşmiş olur. Düğümler birbirlerine onaylama mesajları göndererek ortak bir son duruma ulaşırlar.

Tartışma ve Sonuç

Yukarıda anlatılan uzlaşma protokollerinin genel özellikleri Tablo 1'de özet olarak verilmiştir. Tabloya baktığımızda, emek ispatı hariç diğer tüm modeller, izinli ve izinsiz blokzincir yapılarında duruma göre kullanılmaktadır. İşlemlerin kesinliği sadece Bizans hata toleransı uzlaşma modellerinde gerçekleşmektedir. Emek ispatında her bir blok oluşturmada belirli bir süre içerisinde madenciler tarafında yüksek miktarda işlemlerin yapılması istenildiğinden transfer işlemleri yavaş gerçekleşirken diğer modellerde bu işlemler çok hızlı yapılmaktadır. Blok oluşturan düğümlere olan güven sadece Bizans hata toleransı modellerde bulunmaktadır.

Kaynakça

Abadi, M., Burrows, M., Manasse, M., Wobber, T. (2005). Moderately hard, memory-bound functions. *ACM Transactions on Internet Technology*, 5(2), 299-327.

Abliz, M., Znati, T. (2009). A guided tour puzzle for denial of service prevention. *Annual Computer Security Applications Conference, ACSAC '09* (s. 279288). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.

Back, A. (2018, Nisan 13). A partial hash collision based postage scheme. <http://www.hashcash.org/papers/announce.txt> adresinden alındı

Beikverdi, A. (2015, Mart 13). Cointelegraph. Proof-of-Importance: How NEM is Going to Add Reputations to the Blockchain.: <https://cointelegraph.com/news/proof-of-importance-nem-is-going-to-add-reputations-to-the-blockchain> adresinden alındı

Beikverdi, A. (2015, Nisan 1). Cointelegraph. NEM Launches, Targets Old Economy with Proof-of-Importance: <https://cointelegraph.com/news/nem-launches-targets-old-economy-with-proof-of-importance> adresinden alındı

Blum, M. (1983). Coin flipping by telephone a protocol for solving impossible problems. *ACM SIGACT News - A special issue on cryptography*, 15(1), 23-27.

Buterin, V., Griffith, V. (2017). Casper the friendly finality gadget. <https://arxiv.org/abs/1710.09437> adresinden alındı

Castro, M., Liskov, B. (1999). Practical byzantine fault tolerance. *Proceedings of the Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation, OSDI '99* (s. 173-186). Berkeley, CA, USA: USENIX Association.

Dwork, C., Goldberg, A., Naor, M. (2013). On memory-bound functions for fighting spam. *Advances in Cryptology* (s. 426-444). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Feldman, P. (1987). A practical scheme for noninteractive verifiable secret sharing. *Annual Symposium on Foundations of Computer Science* (s. 427-438). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.

Jakobsson, M., Juels, A. (1999). Proofs of Work and Bread Pudding Protocols (Extended Abstract). *Secure Information Networks* (s. 258-272). Boston: Springer US.

Kiayias, A., Russell, A., David, B., Oliynykov, R. (2016). Ouroboros: A provably secure proof-of-stake blockchain protocol. <https://eprint.iacr.org/2016/889> adresinden alındı

King, S., Nadal, S. (2012, Ağustos 19). Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake.

Lamport, L., Shostak, R., Pease, M. (1982). The byzantine generals problem. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 4(3), 382-401.

Larimer, D. (2014). Delegated Proof of Stake.

Mazieres, D. (2016, Şubat 25). The stellar consensus protocol: A federated model for internet level consensus.

Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.

Naor, M., Dwork, C. (1993). Pricing via processing or combatting junk mail. *Advances in Cryptology*

-CRYPTO' 92 (s. 139-147). Berlin, Heidelberg:
Springer Berlin Heidelberg.

NIST. (2013). Federal Information Processing
Standards (FIPS) Publication 186-4, Digital
Signature Standard(DSS). National Institute of
Standards and Technology.

NIST. (2015). Federal Information Processing
Standards (FIPS) Publication 180-4, Secure Hash
Standard (SHS). National Institute of Standards
and Technology.

Platform Waves. (2018, Mart 3). Waves launches
balance leasing in lite client.

Schwartz, D., Youngs, N., Britto, A. (2014). The
ripple protocol consensus algorithm.

Blockchain technology: consensus protocols

Extended abstract

A blockchain is defined as an inter-node system that does not have any central authority to manage the data stream. A block is a copy of digital ledger stored in a distributed network. These occur when the owners digitally sign their transactions after they have been allocated to the blocks. Each block is cryptographically linked to the previous block. This link makes the blockchain unbreakable in the long run. More specifically, when we examine the structure of any blockchain, it is seen that there are eight different composites including hash functions, public key cryptography, addresses, operations, blocks, books, nodes and consensus protocols. All nodes have the same rights, and the nodes do not have to trust each other. The nodes only disclose themselves with their open addresses and become motivated by the desire for profit, not the welfare of other mining nodes or the need to act as a whole. In such a case, why would a node want to publish a block prepared by another node? In addition, who will resolve conflicts when more than one mining node resolves a block at about the same time? For these reasons, various consensus protocols emerged that allow mutually insecure user groups to work together.

In this study, the advantages and disadvantages of the existing consensus protocols in the literature and in practice are given in a comparative way. In this respect, we first define the important criteria that provide the differences in the existing blockchain technology. These criteria are significant in order for classify the effectiveness of the consensus algorithms. We also classify all existing consensus algorithm into three classes:

- Proof of Work
- Proof of Stake
- Byzantine Fault Tolerance

The consensus algorithm of the blockchain, which is first implemented by Bitcoin in its core, is the proof of work algorithm. This algorithm solves cryptographic puzzles during the block generations and requires a great amount of computation. This consensus protocol along with its advantages and disadvantages are explained in detail.

Moreover, the second class of consensus algorithm is the proof of stake protocol. This consensus algorithm mainly focuses on the amount of coin hold by the owner. In addition, the advantages and disadvantage of this algorithm are explained in detailed.

Furthermore, Byzantine fault tolerance along with it is the problem of general problem. There are three different versions arose in the literature. These are slightly different from each other but this difference made a great impact on the trust of blockchain. In addition, the advantages and disadvantage of these algorithms are explained in detailed.

Finally, the general characteristics of the consensus protocols described above are summarized in Table 1. When we look at the table, all the other models except for the proof of work are used according to the situation in the permission and unauthorized blockchain. The accuracy of the transactions is only realized in the Byzantine fault tolerance compromise models. In the proof of work, the transfer process is slow because the miners are required to make a high amount of transactions within a certain period of time in forming each block, while in other models, these processes are done very fast. The confidence in the nodes that make up the block is only found in the Byzantine fault tolerance models.

Keywords: blockchain, consensus protocols, cryptocurrency



Gömülü Derin Öğrenme ile Tehdit İçeren Nesnelerin Gerçek Zamanda Tespiti

İlhan AYDIN

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
iaydin@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-6880-4935

Mehmet Umut SALUR*

Harran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
umutsalur@harran.edu.tr ORCID: 0000-0003-0296-6266, Tel: (414) 318 00 00 (1261)

Mehmet KARAKÖSE

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

Geliş: 05.12.2018, Kabul Tarihi: 31.03.2019

Öz

Derin öğrenme metotları bilgisayarlı görme ve görüntü işlemede özellikle de görüntü sınıflandırma probleminde önemli bir teknoloji haline gelmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden biri farklı problemler üzerinde derin öğrenmenin göstermiş olduğu üstün başarısıdır. İnternetin gelişimi ile çok büyük veri kümeleri toplanmakta ve yüksek güçlü grafik işlemci kartlar ile bu veriler gerçek zamanlı olarak işlenebilmektedir. Fakat her problemler için bu şekilde büyük ölçekli veri toplamak oldukça maliyetli bir işlemdir. Bu amaçla ön eğitilmiş derin öğrenme modelleri transfer öğrenme yöntemi ile daha düşük boyuttaki verileri sınıflandırmak için kullanılabilir. Bu çalışmada X-ray cihazlarından alınan görüntülerde tehdit unsuru içeren nesnelere sınıflandırmak için transfer öğrenme yöntemi ile gömülü ve gerçek zamanlı çalışabilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem Nvidia Jetson TX2 geliştirme kartı üzerinde bir evrimsel sinir ağı olan Alexnet derin öğrenme modeli kullanılmaktadır. Bu model ile X-ray bagaj güvenlik görüntüleri içerisindeki bıçak, silah, jilet ve Ninja yıldızı gibi tehdit unsuru içeren nesnelere sınıflandırılmıştır. Oluşturulan deney ortamında Alexnet 12.000 görüntü ile eğitilmiş ve gerçek ortamda test edilmiştir. Önerilen yöntemin performansı aynı veri kümesi üzerinde daha önce yapılan farklı bilgisayarlı görme teknikleri ile karşılaştırılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme; Jetson Tx2 Geliştirme kartı; Gömülü sistemler; Evrimsel sinir ağları; Nesne sınıflandırma;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

İnsan güvenliğinin sağlanması kuşaklar boyunca sürekli önemli konular arasında yer almıştır. İnsan güvenliğinin sağlanması çoğu zaman topluluk halindeki ortamlarda hem daha zorlaşmakta hem de daha kritik bir öneme sahip olmaktadır. İnsanların topluluk halinde buldukları ortamların başında havalimanı, otobüs terminalleri, müzeler, alışveriş merkezleri ve hastaneler gelmektedir. Bu merkezlerin hepsinin girişinde X-ray cihazları ile insan güvenliğinin sağlanması çalışılmaktadır (Parliament, 2012). X-ray cihazlarının kontrolü manuel bir şekilde ilgili noktadaki görevliler tarafından yapılmaktadır. Bu hem zaman alan bir süreç hem de görevlinin dikkatsizliği sonucunda kötü niyetli kişiler tarafından içeriye tehdit unsuru içeren bıçak, jilet, silah gibi nesnelerin koymasında bir güvenlik zafiyeti oluşturmaktadır. Bilgisayar biliminin gelişmesiyle güvenlik konusunda bilgisayar tabanlı birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerinin başında yüksek başarımlı görüntü tespit etme ve sınıflandırma algoritmaları gelmektedir. Bu algoritmaların başında son yıllarda göstermiş olduğu başarımlarla birçok probleme çözüm getiren derin öğrenme algoritmaları gelmektedir.

Derin öğrenme algoritmalarının başında çok katmanlı mimarisi ile Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) gelmektedir. 2012 yılında yapılan ImageNet yarışmasında göstermiş olduğu başarımdan sonra birçok alanda ESA kullanılmıştır (Krizhevsky ve Hinton, 2012). ESA insanların algılama sistemini kullanarak öğrenen ve iyi bilinen bir derin öğrenme mimarisidir (Gu vd., 2018). ESA'nın ilk ortaya çıkışı 1990'lı yıllara dayanmaktadır. Geliştirilen ilk çok katmanlı ESA Lenet-5 olarak isimlendirilmiş ve bu ağ el yazısı tanıma için kullanılmıştır (LeCun vd., 1998). Bu ağın eğitimi için geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen ağ orijinal görüntüyü doğru bir şekilde temsil etmektedir.

Derin öğrenme algoritmalarındaki temel

problemlerden biri eğitim işleminin uzun zaman almasıdır. 2012'den beri derin evrişimsel ağların eğitimi için birçok yöntem önerilmiştir (Niu ve Suen, 2012). İlk olarak geliştirilen Alexnet, Lenet 5 ağına benzemesine rağmen daha derin bir yapıya sahiptir (Russakovsky vd., 2015). Alexnet'in eğitimdeki başarısı ile birlikte VGGNet (Simonyan ve Zisserman, 2014), GoogleNet (Szegedy vd., 2015) ve Resnet (He vd., 2016) gibi ağ yapıları geliştirilmiştir. Geliştirilen derin evrişimsel ağ yapıları daha öncekilere göre daha fazla katmana sahip olmaktadır. Bu özellik giriş verisinin doğrusal olmayan özelliğini ortaya çıkarmakta ve ağ başarımını arttırmaktadır. Fakat bu özellik aynı zamanda ağın karmaşıklığını arttırmakta ve eğitim sürecini uzatmaktadır.

Derin ESA'nın iyi başarımlı sağlanması için eğitim aşamasında büyük miktarda veri ile eğitilmesi gerekmektedir. Veri boyutunun büyümesi ve ESA'nın yapısındaki karmaşıklık eğitim sürecini klasik işlemcilerde yapılması önündeki en önemli engellerden birini oluşturmaktadır (Ponti vd., 2017). Bu durum eğitim aşamasında paralel hesaplama yapan grafiksel işlemci kartlarının kullanılması gerekli kılmıştır. Bu karta sahip bir bilgisayar üzerinde yapılan eğitim hem daha hızlı olmakta hem de gerçek zamanlı test işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir.

Derin ESA birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. En önemli uygulama alanlarından biri ESA'nın görüntü sınıflandırma probleminde kullanılmasıdır. Görüntü içerisinde nesne tespiti ve tanıma amacıyla bölgesel ESA'lar geliştirilmiştir (Ren vd., 2017). Bu tür bir ağda görüntü içerisinde aday nesnelere belirlenerek ESA ile eğitilmektedir. Eğitim aşamasında bu nesnelere konumları ve görüntünün tamamı kullanılmaktadır. Test aşamasında ise verilen görüntüden nesnenin olup olmadığı ve hangi nesne olduğu belirlenmektedir. X-ray cihazlarının görüntülerinden nesnelere tespit edilmesinde ESA'nın diğer yöntemlere göre daha yüksek başarımlı sağladığı görülmüştür (Mery vd., 2017). Bunların dışında ESA ses işleme, doğal dil

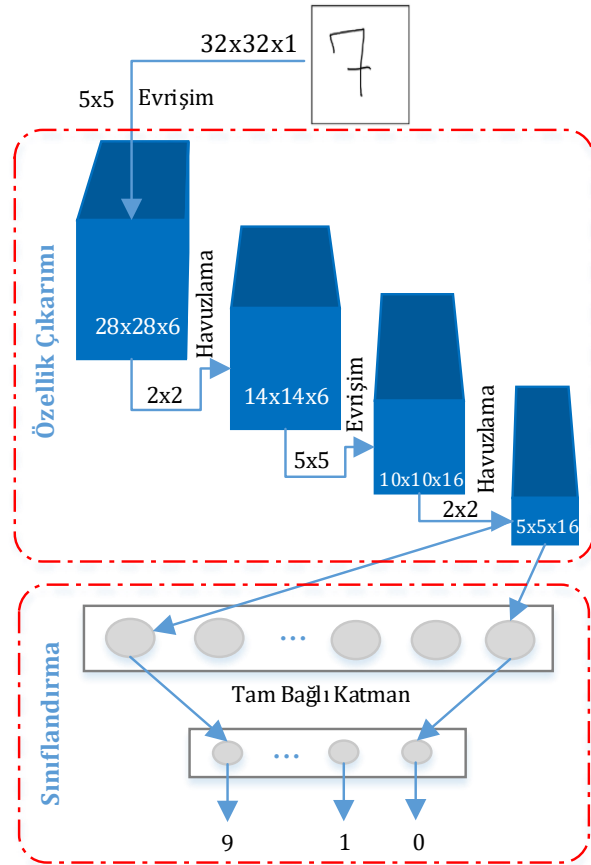
işleme, tahmin ve metin sınıflandırma gibi alanlarda da kullanılmıştır (Chen, 2015) (Salur ve Aydın, 2018). Ses ve diğer sinyallerin sınıflandırılması amacıyla genellikle uzun kısa süreli hafıza (LSTM) ağları kullanılmaktadır (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). Bir LSTM ağı tek veya çok boyutlu zaman serilerini bir ağı giriş olarak verir ve serilerin bireysel zaman adımlarına dayanarak tahminler yapmamızı sağlar.

Günümüzde farklı amaçlar için birçok derin ESA yapısı önerilmesine rağmen, geliştirilen algoritmaların çoğu yüksek hızlı GPU kartlarına sahip bilgisayarlarda eğitilmekte ve test işlemi de aynı platformlarda yapılmaktadır. Bu çalışmada özellikle otonom araçlar ve insansız hava araçlarında kullanılabilen bir platform olan GPU geliştirme kartı üzerinde derin öğrenme uygulaması geliştirilmiştir. Bu amaçla NVIDIA Jetson TX2 geliştirme kartı üzerinde Caffe derin öğrenme platformu kurulmuştur. Önerilen yöntemde hem eğitim hem de test işlemi bu kart üzerinde geliştirilmiş ve kart üzerinde bulunan kamera kullanılarak gerçek zamanlı olarak alınan görüntüler sınıflandırılmıştır. X-ray görüntülerinden oluşturulan eğitim kümesinde bıçak, jilet, Ninja yıldızı ve silah gibi nesnelerin görüntü içerisinde tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmayla NVIDIA Jetson TX2 geliştirme kartının toplumsal güvenlik gerektiren noktalarda kolay bir şekilde uygulanabilir bir prototip geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen yöntem farklı işlevler eklenerek otonom araçlar için kolaylıkla kullanılabilir modüler bir model elde edilebilir.

Gömülü derin öğrenme gerçekleştiren bu çalışmanın ikinci bölümünde ESA'nın yapısı ve çalışma şekli anlatılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde geliştirilen sistemin bileşenleri verilmiştir. Dördüncü bölümde ise sistem üzerinde gerçekleştirilen deneysel işlemler anlatılmıştır. Ayrıca yine dördüncü bölümde sistemin başarımları metrikleri değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmanın sonucu ve gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

Evrişimsel Sinir Ağları

ESA görüntü sınıflandırma gibi bilgisayarlı görme uygulamaları için en çok kullanılan derin öğrenme algoritmalarından biridir. Bir ESA'nın temel bileşenleri evrişimler, havuzlama, aktivasyon fonksiyonu ve tam bağlı katmandır. Son bileşen olan tam bağlı ağı ileri beslemeli yapay sinir ağındaki gizli katmana benzer bir yapıya sahiptir. ESA'nın farklı varyasyonları olmasına rağmen temel bileşenler birbirine benzemektedir. Dijit sınıflandırma için kullanılan Lenet-5 ağı yapısı Şekil 1'de verilmiştir (LeCun, 2015).

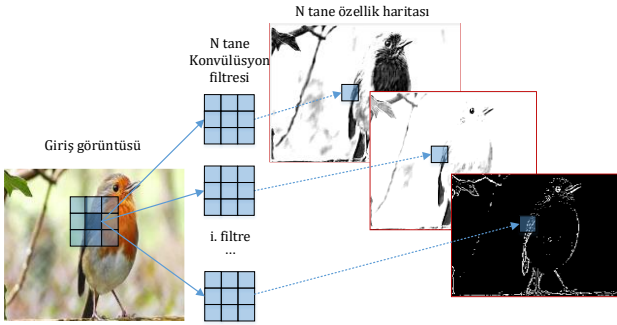


Şekil 1. Lenet-5 ağı yapısı

Şekil 1'de verildiği gibi görüntü üzerinde gezdirilen evrişim filtreleri ile özellik haritaları oluşturulmaktadır. Havuzlama katmanında ise görüntü boyutu verilen alt örnekleme boyutuna göre düşürülmektedir. Tam bağlı katmanda ise en son aşamada vektör olarak elde edilen özelliklere göre görüntü sınıflandırması yapılmaktadır.

Evrişim Katmanı

Evrişim katmanı görüntü üzerinde belirli filtrelerin kaydırılarak görüntünün yeni piksel değerlerinin komşu piksellere göre hesaplanması işlemidir. Her filtre $k \times k$ boyutunda bir matrisi temsil etmektedir. Her filtre kendi boyutu ile belirlenen bir komşulukta bütün piksel değerlerinin bir doğrusal kombinasyonunu üretir. Şekil 2’de basit bir evrişim işlemi gösterilmiştir.

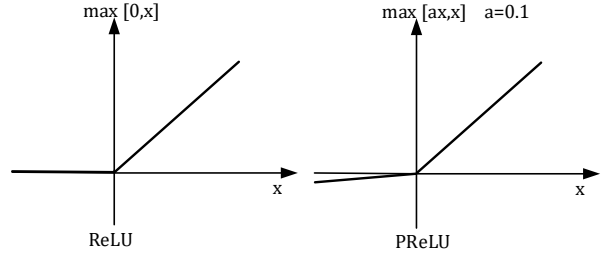


Şekil 2. Giriş görüntüsü üzerinde evrişim işlemi

Evrişim işlemi bir renkli görüntü üzerinde 5×5 boyutunda 4 adet filtreyle uygulanmak istenirse elimizde $5 \times 5 \times 3$ boyutunda filtreler olmalıdır. Çünkü renkli görüntüler 3 kanala sahiptirler. Eğer görüntümüz $32 \times 32 \times 3$ boyutunda ise 4 filtre ile elde edilecek çıkış $32 \times 32 \times 4$ boyutunda 4 matristen oluşan bir tensordur. En çok kullanılan filtreler 5×5 , 3×3 ve 1×1 olup buradaki d parametresi derinliği göstermektedir.

Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu yapay nöron hücresine girdi olarak gelen değere karşılık bir çıktı değeri üreten fonksiyonlardır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında kullanılan tanjant, sigmoid ve doğrusal gibi aktivasyon fonksiyonları yerine ESA’da evrişim işleminden sonra düzeltilmiş bir doğrusal fonksiyon kullanılır. Şekil 3’te düzeltilmiş doğrusal fonksiyonun iki biçimi gösterilmektedir.

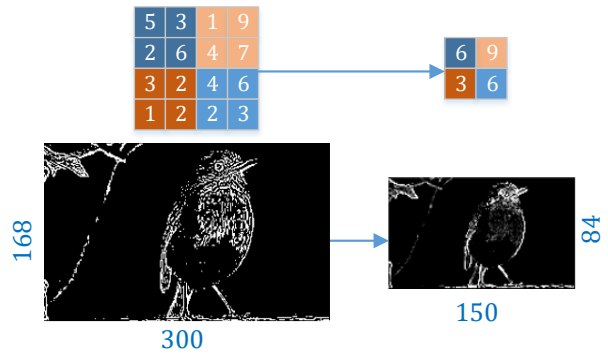


Şekil 3. ReLU ve PReLU aktivasyon fonksiyonları gösterimi

Şekil 3’te verilen ReLU fonksiyonu görüntü işleme algoritmaları sonrasında elde edilen özellik haritasında negatif değerleri düzeltmek için kullanılır. PReLU fonksiyonu ise küçük negatif değerlere izin vermektedir. Her evrişim nöronu aktivasyon fonksiyonundan geçen ve özellik haritası olarak adlandırılan yeni bir matris üretmektedir. Oluşturulan bu matris bir sonraki katmanın girdi değerini oluşturmaktadır.

Havuz Katmanı

Havuzlama katmanı evrişim işleminden sonra görüntü boyutunu düşürmek için kullanılır. En çok kullanılan havuzlama işlemi maksimum havuzlamadır. Bu işlemin temel iki amacı veri boyutunu düşürmek ve görüntü boyutunu azaltmaktır. Basit bir havuzlama işlemi Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Havuz katmanı

Tam Bağlı Katman

Verilen bir görüntü birçok evrişim katmanından geçtikten sonra elde edilen çıkış değerleri tam bağlı katmana verilir. Tam bağlı katman aslında ileri beslemeli sinir ağlarındaki gizli katmana benzerdir. Verilen görüntünün sınıflandırılması için ağın ağırlıklarının

öğrenilmesi gerekmektedir. En son evrişim işleminden sonra elde edilen matrisler bir vektör olarak birleştirilir. Örneğin en son katmanda elde edilen tensor $4 \times 4 \times 20$ ise elde edilen vektör $4 \times 4 \times 20 = 1 \times 320$ boyutunda olur. Dolayısıyla toplamda 320 adet ağırlığın eğitilmesi gerekmektedir. Bir ESA'nın son katmanı ise sınıf etiketlerini göstermektedir. Sınıf etiketleri tahmin etmek için Denklem 1'in sonucunda elde edilen olasılık değeri kullanılır.

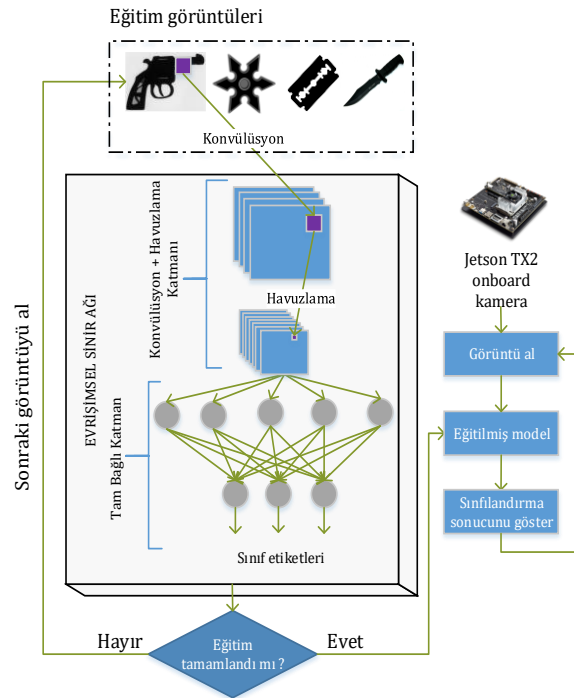
$$P(y = c | x; w; b) = \frac{e^{x^T w_c + b_c}}{\sum_j e^{x^T w_j + b_j}} \quad (1)$$

Denklem (1)'de y tahmin edilen sınıfın olasılığını, x giriş vektörünü, w ve b ise ağırlıklarını göstermektedir.

Gömülü Derin Öğrenme için Önerilen Yöntem

Otonom araçlar, yardımcı ev robotları, silahsız hava araçları vb. birçok uygulama alanında gömülü derin öğrenme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada gömülü derin öğrenme algoritmalarını gerçekleştirmek için Nvidia Jetson Tx2 GPU geliştirme kartı üzerinde Caffe derin öğrenme paketi kurulmuştur. Eğitim aşamasında bilgisayarda kayıtlı olan görüntüler kullanılarak ESA eğitilmiştir. Test aşamasında ise Nvidia Jetson TX2 üzerinde gömülü bulunan kameradan alınan gerçek zamanlı görüntüler kullanılmıştır. Şekil 5'te önerilen yöntemin blok diyagramı verilmiştir.

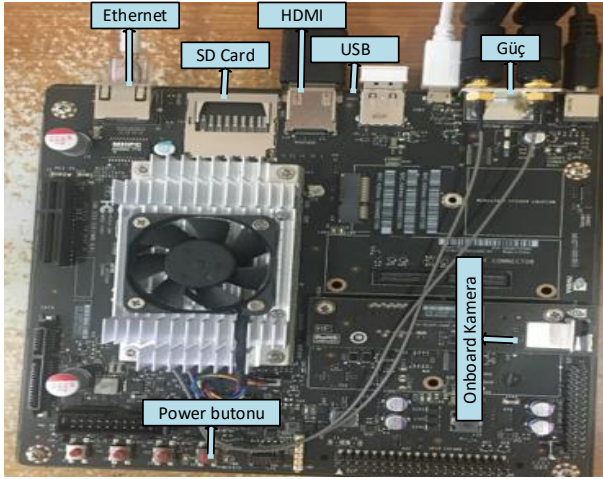
Şekil 5'te önerilen sistemde Jetson TX2 geliştirme kartı üzerinde kayıtlı eğitim veri kümesi kullanılarak ESA eğitilmektedir. Test işlemi ise eğitim aşamasında elde edilen modele göre gerçekleştirilmektedir. Jetson TX2 kartının kamerasından alınan görüntüler modele verilmekte ve sınıflandırma işlemi yapılmaktadır.



Şekil 5. Önerilen sistemin blok diyagramı

Nvidia Jetson Tx2 GPU geliştirme kartı

Jetson TX2 gömülü sistemi NVIDIA tarafından üretilmiştir. Bu gömülü sistem önceden düzenlenip uyarlanmış olan bir Linux işletim sistemi kurulu bir şekilde gelmektedir. Yapay zekâ destekli sistemlerde düşük güç tüketimi ile yüksek hesaplama performansı gerektiren tüm işlemleri hızlı bir şekilde yerine getiren gömülü sistemdir. Geliştirme kartı NVIDIA'nın ücretsiz olarak sunduğu tüm geliştirme API'lerini (Application Programming Interface) ve yaygın olan diğer API'leri de desteklemektedir. Ayrıca geliştirme seti olduğu için çeşitli donanım ara yüzü sunarak, oldukça esnek ve genişletilebilir bir platforma olanak sağlamaktadır. Şekil 6'da Jetson TX2 geliştirme kartının bir görseli verilmiştir.



Şekil 6. Jetson Tx2 bağlantıları

Şekil 6’da verilen Jetson TX2 geliştirme kartının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Jetson TX2 teknik özellikleri

Özellik	Açıklama
GPU	NVIDIA Pascal™, 256 CUDA Çekirdeği
CPU	HMP Dual Denver 2/2 MB L2 + Quad ARM® A57/2 MB L2
Hafıza	8 GB 128 bit LPDDR4
PCIE	58.3 GB/s
Disk kapasite	32 GB eMMC, SDIO, SATA
Protokoller	CAN, UART, SPI, I2C, I2S, GPIOs
USB	USB 3.0 + USB 2.0
Internet Bağlantısı	1 Gigabit Ethernet, 802.11ac WLAN, Bluetooth

Geliştirme kartına gerekli programları yüklemek için Ubuntu 16.04.4 LTS sürümlü işletim sistemine sahip olan bir bilgisayar gerekmektedir. İşletim sistemini güncellemeden önce JetPack dosyası gerekmektedir. Bu yazılım geliştirme kiti içerisinde görüntü işleme için gerekli uygulamaları içermektedir. Kurulacak olan JetPack içinde TensorRT, cuDNN, CUDA Toolkit, VisionWorks, GStreamer ve OpenCV dâhil olmak üzere tüm Jetson platform yazılımlarını içermektedir.

Caffe derin öğrenme kütüphanesi ile görüntü sınıflandırma

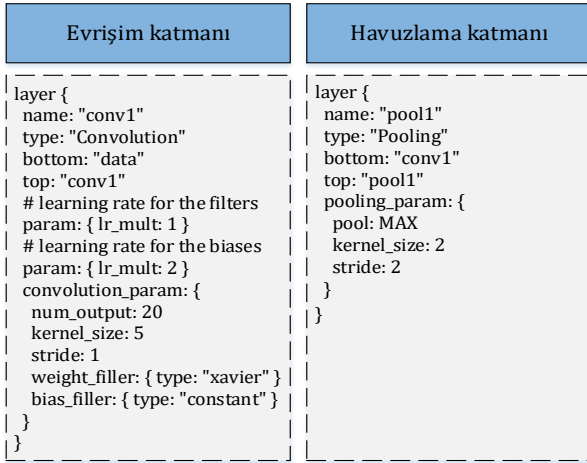
Caffe Berkeley üniversitesinde yapay zekâ araştırma grubu tarafından geliştirilen bir derin öğrenme platformudur (Jia, 2014). Caffe’de kullanılan ifade yapısı yeni uygulamaların

gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Model üzerinde yapılacak değişiklikler kod yazmadan ayar dosyaları ile yapılmaktadır. Hem CPU hem de GPU tabanlı eğitimi desteklemektedir. Caffe’nin temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- CPU ve GPU desteği mevcuttur.
- Çoklu GPU ile eğitim yapılabilir.
- Python’da katman tanımına izin verir.
- Yeni katmanlar ve ağ oluştururken kod yazmaya gerek yoktur.
- MATLAB ve Python desteği vermektedir.

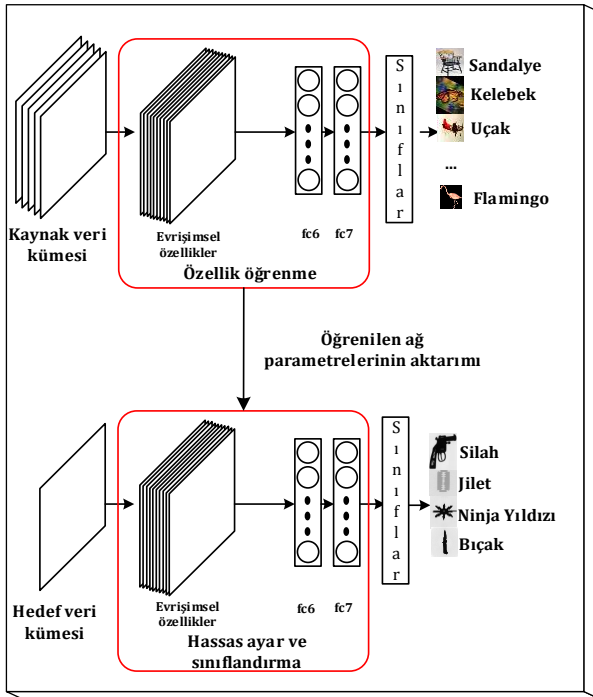
Hızlı işlem yapma yeteneği, Caffe’yi araştırma deneyleri ve endüstri uygulamaları için mükemmel bir hale getirmiştir. Caffe tek bir NVIDIA K50 GPU ile günde 60M görüntüden daha fazlasını işleyebilir. Uygulama için ilk olarak Caffe derin öğrenme paketi Nvidia Jetson Tx2 kartına yüklenmiştir. Yükleme tamamlandıktan sonra Makefile.config dosyasında USE_CuDNN=1 ayarlaması yapılarak CUDA aktifleştirilmiştir. NVIDIA cuDNN, derin sinir ağları için GPU hızlandırmalı ilkel bir kütüphanedir. cuDNN, ileri ve geri dönüş, normalleştirme ve etkinleştirme katmanları gibi standart işler için yüksek düzeyde ayarlanmış uygulamalar sağlar. NVIDIA derin öğrenme SDK’sinin (Software Development Kit) bir parçasıdır. Ayrıca Opencv 3’ü kullanabilmek için OPENCV_VERSION = 3 olarak ayarlanmıştır.

Şekil 7’de verilen ağ yapısı ilgili problemin modelini oluşturmak için Caffe klasöründe bulunan Models klasöründeki .protxt uzantılı dosyanın çizdirilmesidir. Models klasöründe yazılan .protxt uzantılı dosyada bulunan herhangi bir evrişim ve havuzlama katmanı yapısı Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Havuz ve evrişim katmanlarının .prototxt dosyası görünümü

Şekil 7’de verilen görselde evrişim katmanında filtre fonksiyonun sayısı ve boyutu verilmektedir. Caffe’de görüntü sınıflandırma için kurulan ağ yapısı Şekil 8’de verilmiştir.

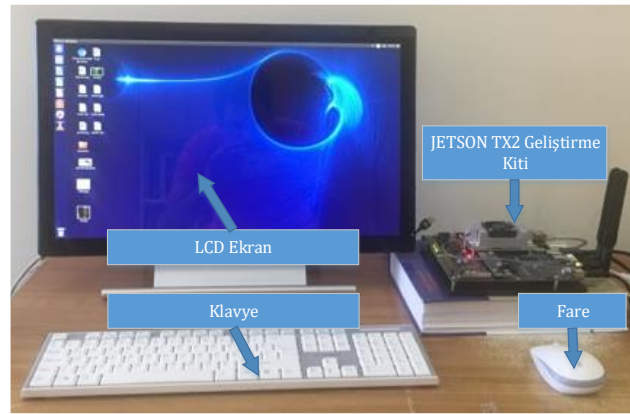


Şekil 8. Transfer öğrenme algoritması

Şekil 8’de ağ yapısını çizdirmek draw_net.py dosyasına .prototxt dosyasını göndermek gerekmektedir. Burada elde edilen çıktı görüntü formatında kaydedilmektedir.

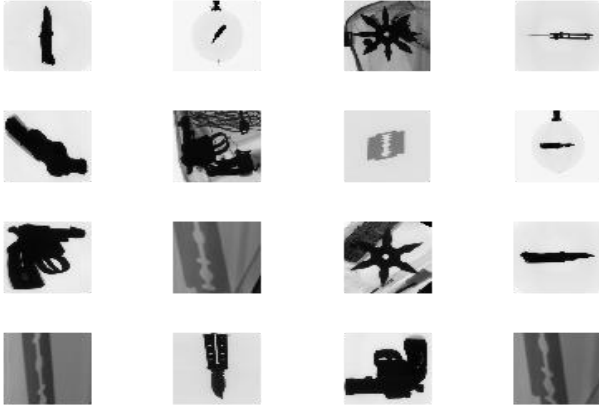
DeneySEL Sonuçlar

Bu çalışmada önerilen derin öğrenme algoritmasının gerçek zamanlı gerçekleştirimi için Nvidia Jetson TX2 kartı kullanılmıştır. Bu kart üzerinde uygulamaların yapılabilmesi için bir deney ortamı oluşturulmuştur. Bu deney ortamında Nvidia Jetson TX2 kartına bir adet ekran, kablosuz klavye ve fare bağlanmıştır. Kurulan gerçek zamanlı sistem Şekil 9’daki görselde verilmiştir.



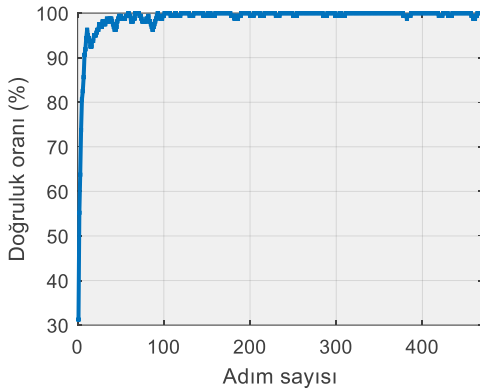
Şekil 9. Gömülü derin öğrenme için kurulan sistem

Şekil 9’da verilen sistem gerçek zamanlı ve gömülü çalışma özelliklerine sahiptir. Jetson Tx2 geliştirme kartı üzerinde bulunan 5 mega piksel kamera ile alınan görüntülerden önerilen sistemin gerçek zamanlı testi yapılabilmektedir. Her bir sınıf için 4.000 tane örnek olmak üzere toplam 12.000 tane görüntü eğitim aşamasında kullanılmıştır. Şekil 10’da kullanılan görüntü kümesindeki görüntülerden bir örnek verilmiştir. Şekil 10’da görüldüğü üzere eğitim kümesinde aynı nesnenin farklı açı ve yönlerdeki görüntüleri kullanılmıştır. Örneğin; bıçak nesnesi için farklı şekil, model, biçimde birden fazla görüntü kullanılmıştır.

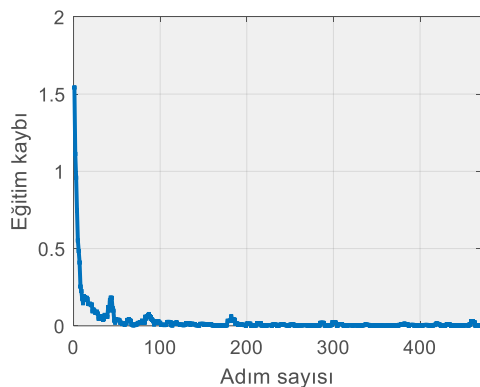


Şekil 10. Kullanılan veri kümesi örneği

Şekil 10'daki görüntüler farklı açılardan alınarak elde edilen bir veri kümesi kullanılmıştır. Veriler sadece farklı açılardan alınmamış olup aynı zamanda karmaşık arka plana sahip veriler de eğitim aşamasında kullanılmıştır. Önerilen derin öğrenme yönteminin eğitim başarımı Şekil 11'de verilmiştir.



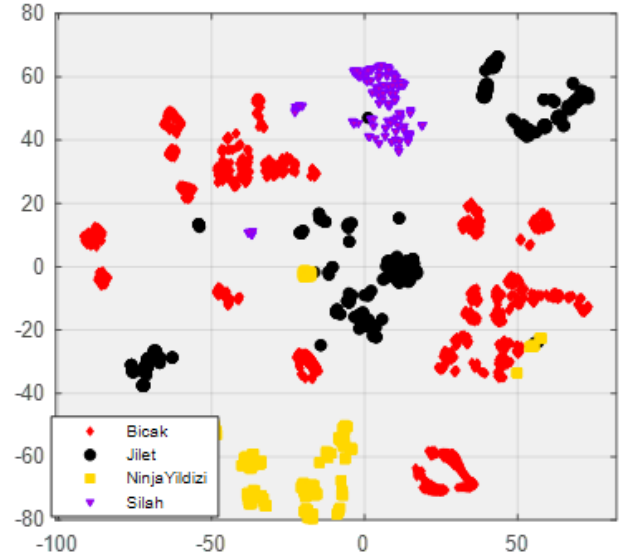
(a) Adım sayısına göre doğruluk oranı



(b) Adım sayısına göre eğitim kaybı

Şekil 11. Derin öğrenme ağının eğitim başarımı

Şekil 11'de görüldüğü gibi eğitim aşamasında, çok kısa bir adımdan sonra eğitim başarımının maksimum olduğu görülmektedir. Her bir eğitim aşaması için algoritma 94 adım çalışmaktadır. Eğitim 5 aşamada yapıldığından toplam 470 adım eğitim yapılmaktadır. Deneyler sonucunda eğitim başarımı %99.6 olarak elde edilmiştir. ESA'nın doğru bir şekilde sınıfları ayırt edip etmediğini belirlemek için tam bağlı katman görselleştirilmiştir. Bu amaçla yüksek boyutlu veriyi görselleştiren bir boyut azaltma algoritması olarak t-dağılımlı stokastik komşu gömülme (t-SKE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem yüksek boyutlu noktalar arasındaki benzerliğe göre daha düşük boyuta dönüştürmektedir. Yöntem ilk olarak yüksek boyutlu nokta çiftleri arasındaki mesafeyi hesaplamaktadır. Bir sonraki adımda benzerlik matrisi oluşturmaktadır. Daha sonrasında düşük boyutlu noktalar için bir başlangıç kümesi oluşturulmaktadır. Son aşamada ise interaktif bir şekilde düşük boyutlu uzaydaki t dağılımı ve yüksek boyutlu uzaydaki Gauss dağılımı arasındaki mesafeyi azaltmak için düşük boyutlu uzaydaki noktalar güncellenmektedir. Tam bağlı katmanın eğitim kümesi üzerinde t-SKE yöntemi ile elde edilen görselleştirilme sonucu Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. ESA'nın tam bağlı katmanından elde edilen özelliklerin t-SKE ile görselleştirilmesi

Şekil 12'de verilen t-SKE yöntemi ile bu sınıflandırma problemi için ESA ile elde edilen

özelliklerin başarılı bir şekilde ayırt edildiği görülmektedir.

Önerilen yöntemin doğruluğunu ispatlamak için karmaşıklık matrisinden elde edilen ölçümler kullanılmaktadır. Karmaşıklık matrisinden kesinlik, hassasiyet ve F1 ölçüm değerleri elde edilmektedir. İki sınıflı bir sınıflandırıcı için basit karmaşıklık matrisi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İki sınıflı bir problem için karmaşıklık matrisi

		Gerçek Etiket		
		1	2	
Tahmin Edilen Etiket	1	DP ₁₁	YP ₁₂	TS ₁
	2	YP ₂₁	DP ₂₂	TS ₂
		ES ₁	ES ₂	Toplam

Tablo 2’de verilen karmaşıklık matrisine göre doğruluk oranı, kesinlik, hassasiyet ve F1 ölçümü hesaplanmaktadır. Doğruluk oranının hesaplanması denklem (2)’de verilmiştir.

$$Dogruluk = \frac{\sum_{i=1}^C DP_{ii}}{Toplam} \quad (2)$$

Hassasiyet her bir sınıf için doğru bir şekilde tahmin edilen sınıf etiketlerinin toplam tahmine oranıdır. Aşağıda verilen denklem (3)’e göre hesaplanır.

$$Kesinlik = \sum_{i=1}^C \frac{DP_{ii}}{TS_i} \quad (3)$$

Denklemden TS_i değeri i etiketi ile sınıflandırılan toplam test örneklerinin sayısıdır. DP_{ii} ise i sınıf etiketi için doğru bir şekilde sınıflandırılan örnek sayısıdır. Hatırlama değeri ise her bir sınıf için her bir sınıf için doğru bir şekilde sınıflandırılan doğru etiketlerin ağırlıklı ortalamasıdır. Bu değer denklem (4)’e göre hesaplanır.

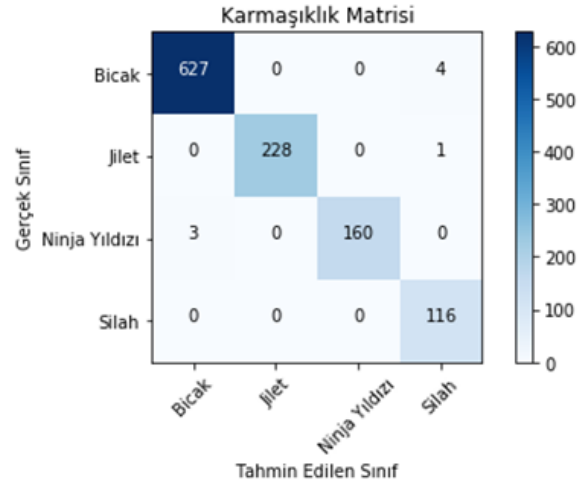
$$Hatirlama = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{DP_{ii}}{ES_i} \quad (4)$$

Denklemden ES_i değeri i gerçek etiketi ile sınıflandırılan test örneklerinin sayısını gösterir

ve ilgili sütunun toplamı ile hesaplanır. Son ölçüm olarak F1 ölçümü ise kesinlik ve hatırlama değerlerini tek bir ölçümde birleştirmek için kullanılır. Bu ölçümün değeri 0 ile 1 arasında değer alır ve sınıflandırıcı bütün örnekleri doğru sınıflandırırsa 1 değerini alır. F1 ölçümü denklem (5)’te verilmiştir.

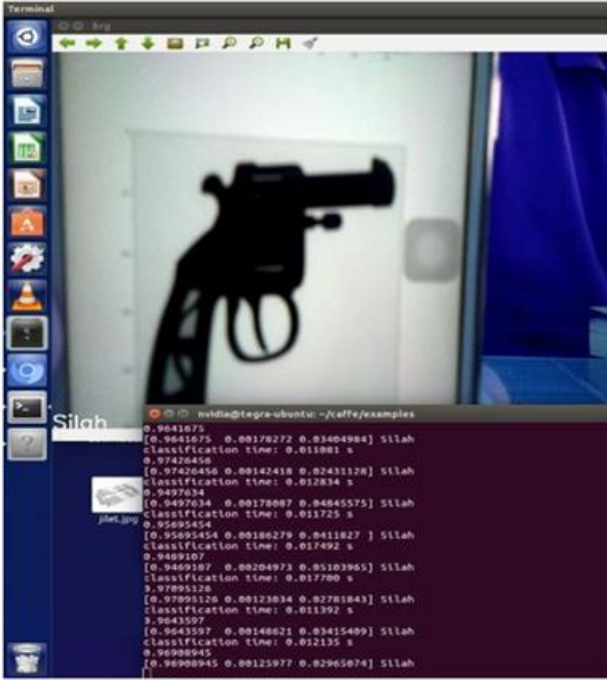
$$F_1 = \frac{2 * Kesinlik * Hatirlama}{Kesinlik + Hatirlama} \quad (5)$$

Eğitim işlemi tamamlandıktan sonra test aşamasında toplam 1239 adet test örneği ile eğitilen model test edilmiştir. Test sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13. ESA test sonucu karmaşıklık matrisi

Şekil 13’te gösterildiği gibi karmaşıklık matrisinde yanlış sınıflandırılan örnek sayısının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Önerilen yaklaşım aynı zamanda Jetson TX2 kartının kamerasından alınan görüntüler ile de test edilmiştir. Bu amaçla bir cep telefonundan kameraya gösterilen görüntüler kullanılmıştır. Şekil 14’teki örnekte giriş olarak bir silah görüntüsünü alan algoritmanın sınıflandırma sonucu verilmiştir.



Şekil 14. Jetson Tx2 kamerasından alınan görüntü ile ESA'nın test edilmesi

Şekil 14'teki sistemin çalışması sırasında her defasında yeni bir görüntü alınmakta ve öğretilen model test edilerek alınan görüntünün sınıfı belirlenmektedir. Bir sonraki adımda tekrar yeni görüntüler alınarak aynı işlemler tekrar yapılmaktadır. Dolayısıyla sistem gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Şekil 14'te verilen görseldeki örnekte kartın kamerasından alınan görüntü % 96.9 silah olarak sınıflandırılmaktadır. Test aşamasında her bir görüntünün işlenmesi yaklaşık olarak 12 milisaniye sürmektedir. Dolayısıyla bir saniyede 80 görüntü işlenebilmektedir. Önerilen yöntem doğruluk oranı, kesinlik ve hatırlama parametrelerine göre farklı yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 3'te Kesinlik (K) ve Hatırlama (H) performans ölçütlerine göre önerilen yöntem ile literatürde önerilen yöntemleri başarımları verilmiştir. Önerilen yöntem aynı veri seti üzerinde daha önce yapılan çalışmalardan daha iyi bir sınıflandırma başarımı sağladığı görülmüştür.

Tablo 3. Her bir sınıflandırıcı için kesinlik ve hatırlama değerleri

Yöntem	Silah		Ninja Yıldızı		Jilet		Doğruluk (%)
	K	H	K	H	K	H	
BoWs (Baştan vd., 2011)	0.65	0.84	1.0	0.92	1.0	0.97	89.4
Seyrek KNN (Mery vd., 2016)	0.99	0.97	1.0	0.99	0.97	0.94	97.7
AISM (Riffo ve Mery, 2016)	0.97	0.97	0.95	0.96	0.99	0.88	95.2
XASR+ (Mery vd., 2015).	0.92	0.88	0.69	1.0	0.78	0.97	86.7
DVM (Mery vd., 2017)	0.9	0.99	1.0	0.85	0.51	1.0	86.0
Önerilen Yöntem	1.0	0.96	0.98	1.00	1.0	1.0	99.00

Tablo 3'te BoWs kelimeler çantası yöntemi olup SIFT yöntemine göre görüntülerden anahtar noktalar çıkarmakta ve rastgele orman yöntemine göre sınıflandırma işlemi yapılmaktadır (Baştan vd., 2011).

Seyrek KNN K-ortalamlar kümeleme algoritması ile bölütleme yapmakta ve SIFT anahtar noktalarını elde etmektedir. Daha sonra özellik seçimi yapılarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır (Mery vd., 2016).

Uyarlamalı örtülü şekil modelinde (AISM) görüntünün benzer parçaları elde edilen SIFT anahtar noktalarına göre bir kümeleme yöntemi ile kümelenebilir. Test aşamasında ise gelen test örneğine en benzer parçalara göre nesne

tanıma işlemi yapılmaktadır (Riffo ve Mery, 2016).

Uyarlamalı seyrek gösterim (XASR+) x-ray görüntülerinden nesne tanıma için geliştirilmiştir. Bu yöntem bazı rastgele parçalar görüntüden çıkarılarak bir gösterim modeli oluşturulur. Ayrıca birbirine benzeyen parçalar modelden çıkarılır. Test aşamasında ise test görüntüsünden çıkarılan modeli en yakın temsil eden eğitim verisine göre sınıflandırma yapılmaktadır (Mery vd., 2015).

Destek vektör makinalar ise görüntüden elde edilen SIFT anahtar kelimelerine göre sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Tablo 3'te edilen sonuçlar göz önüne alındığında önerilen

derin öğrenme tabanlı yöntemin hem kesinlik ve hatırlama hem de doğruluk oranı açısından daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir (Mery vd., 2017).

Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Derin öğrenme yöntemlerinin güçlü grafik kartları üzerinde sağlamış olduğu sınıflandırma başarımları, bu yöntemlerin hızlı bir şekilde birçok alanda uygulanmaya başlanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada da gömülü bir kart üzerinde ESA ile güvenlik açısından tehdit unsuru taşıyan görüntüleri sınıflandırmak için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçla çalışmada Nvidia Jetson Tx2 yapay zekâ geliştirme kartı kullanılmıştır.

Kartın temel özelliği, üzerinde gömülü bir Linux işletim sisteminin bulunmasıdır. Kart üzerine Caffe derin öğrenme kütüphanesi yüklenmiş ve transfer öğrenme algoritması ile eğitim işlemi yapılmıştır. Geliştirme kartı üzerinde tasarlanan LeNet ağı ile görüntü sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu doğrultuda bıçak, silah, jilet ve Ninja yıldızı gibi görüntüler başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Her bir sınıf için nesnelere, farklı açılardan ve arka plan görüntüleri eklenmiş görüntüler kullanılmıştır. Yapılan testlerde nesne sınıflandırmada başarımlarının (% 99) oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Seçilen uygulama alanı ile derin öğrenme algoritmalarını kullanarak havaalanları, otogar, müze ve büyük alışveriş merkezlerinde görev yapan güvenlik görevlilerinin kontrol görevi için otomatik bir asistan tasarlanması mümkündür. Gelecek çalışmalarda önerilen yöntem, otonom araçlarda tehdit oluşturan durumların tespit edilmesinde, düşük donanım gereksinimleriyle yüksek başarımlar sağlama yönünde iyileştirmeler yapılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Baştan, M., Yousefi, M. R., & Breuel, T. M. (2011). Visual words on baggage X-ray images. *Computer analysis of images and patterns*, 360-368, Springer, Berlin, Heidelberg.

- Chen, Y. (2015). Convolutional Neural Network for Sentence Classification, *Yüksek lisans tezi*, University of Waterloo, Kanada.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., ... & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks, *Pattern Recognition*, **77**, 354-377.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition, *Proceedings, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770-778.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory, *Neural Computation*, **9**, 8, 1735-1780.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., ... & Darrell, T. (2014, November). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding, *Proceedings, 22nd ACM international conference on Multimedia*, 675-678.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks, *Advances in neural information processing systems*, **25**, 1097-1105.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition, *Proceedings of the IEEE*, **86**, 11, 2278-2324.
- LeCun, Y. 2015. LeNet-5, Convolutional Neural Networks. URL: <http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>. Erişim tarihi: 12 Ekim 2018.
- Mery, D., Svec, E., Arias, M., Rizzo, V., Saavedra, J. M., & Banerjee, S. (2017). Modern computer vision techniques for x-ray testing in baggage inspection, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, **47**, 4, 682-692.
- Mery, D., Svec, E., & Arias, M. (2016). Object recognition in X-ray testing using adaptive sparse representations, *Journal of Nondestructive Evaluation*, **35**, 3, 45.
- Mery, D., Svec, E., & Arias, M. (2015, November). Object recognition in baggage inspection using adaptive sparse representations of X-ray images, *Proceedings, Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*, 709-720, Springer, Cham.
- Niu, X. X., & Suen, C. Y. (2012). A novel hybrid CNN-SVM classifier for recognizing handwritten digits, *Pattern Recognition*, **45**, 4, 1318-1325.

- Parliament, E. (2012). Aviation security with a special focus on security scanners. European Parliament Resolution (2010/2154 (INI)), 1-10.
- Ponti, M. A., Ribeiro, L. S. F., Nazare, T. S., Bui, T., & Collomosse, J. (2017, October). Everything you wanted to know about Deep Learning for Computer Vision but were afraid to ask. In Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T), 2017 30th SIBGRAPI Conference, 17-41.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks, *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, **6**, 1137-1149.
- Riffo, V., & Mery, D. (2016). Automated detection of threat objects using adapted implicit shape model, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, **46**, 4, 472-482.
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., ... & Berg, A. C. (2015). Imagenet large scale visual recognition challenge, *International Journal of Computer Vision*, **115**, 3, 211-252.
- Salur, M. U., & Aydin, İ. (2018, May). Sentiment classification based on deep learning, *Proceedings, 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4, IEEE.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions, *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1-9.

Real-Time Detection of Threatening Objects with Embedded Deep Learning

Extended abstract

Deep learning methods have become an important technology in computer vision and image processing, especially image classification problems. One of the most important reasons for this is the superior achievement of deep learning on different problems. With the thanks to development of the Internet, very big data sets are collected and these data can be processed in real time with the high power graphics processor. However, for many problems, it is a very costly large-scale operation to collect data in this way. For this purpose, pre-trained deep learning models can be used to classify the data of a lower size with the transfer learning method. In this study, a system which is embedded and real time can be

developed by transfer learning method to classify objects containing threat elements in the images taken from X-ray devices. This system utilizes the Alexnet deep learning model, which is a convolutional neural network on the Nvidia Jetson TX2 development kit. The X-ray baggage security images including objects such as knives, weapons, razors, and ninja stars have been successfully classified. The performance of the proposed method was compared with the different computer vision techniques previously applied to the same data set and more successful results were obtained.

For the test the proposed method, we set the experimental environment which consists of Nvidia Jetson TX2 development kit. Firstly, we have used 12.000 images for training the Alexnet. Secondly, we used fine-tuning hyper parameters with the help of transfer learning to test the system.

Table 4. Accuracy and recall values for each classifier

Methods	Weapon		Ninja Stars		Razor Blade		Accuracy (%)
	P	R	P	R	P	R	
BoWs (Baştan vd., 2011)	0.65	0.84	1.0	0.92	1.0	0.97	89.4
Sparse KNN (Mery vd., 2016)	0.99	0.97	1.0	0.99	0.97	0.94	97.7
AISM (Riffo ve Mery, 2016)	0.97	0.97	0.95	0.96	0.99	0.88	95.2
XASR+ (Mery vd., 2015).	0.92	0.88	0.69	1.0	0.78	0.97	86.7
SVM (Mery vd., 2017)	0.9	0.99	1.0	0.85	0.51	1.0	86.0
Proposed Method	1.0	0.96	0.98	1.00	1.0	1.0	99.00

The proposed method was compared with the different methods according to the accuracy rate, precision and recall parameters. Table 3 shows the performance of the methods proposed in the literature by the proposed method according to the criteria of precision (P) and recall (R). The table clearly shows that the proposed method has achieved higher performance than the methods in the literature.

Keywords: Deep learning, Jetson Tx2 Development card, Embedded systems, Convolutional neural networks, Object classification



Bimetalik CuPt Nanoparçacıkların Stabilitesi, Yapısal ve Elektronik Özellikleri

Mikail Aslan*

Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, 27310, Şehitkâmil, Gaziantep
aslanm@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0003-0578-5049, Tel: +90 (342) 317-3904

Geliş: 31.12.2018, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Pt temelli Nanoparçacıklar oksijen azaltma reaksiyonları, polimer elektrolit membranlı yakıt pillerinde metanol oksidasyonu, heterojen NO_x azaltımı ve fotokatalitik olarak hidrojen üretimi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bimetalik CuPt nanoparçacıkların süper bilgisayarlar kullanarak modelleme ve simülasyonu yapılmıştır. Yöntem olarak genetik algoritma tabanlı yoğunluk fonksiyonel teorisini kullanılmıştır. CuPt nanoparçacıklarının stabilitesi, yapısal ve elektronik özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenildi. Ayrıca nanoparçacıkların geometrik yapıları modellendi. Geometrik yapının belirlenmesi ve değiştirilme kabiliyeti katalizör olarak tasarlanan malzemenin aktif olan yüzeyini ayarlanması için önemlidir. Elde edilen sonuçlara göre Cu elementi yapının merkezinde, Pt elementi yapının kenarında durma eğiliminde olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Cu₃Pt₂ nanoparçacığın kısmi yoğunluk durumu ve XRD analizleri hesaplandı. İlk aşama olarak, Pt katalizör maliyetlerinin azaltılması için Pt tabanlı Cu nanoparçacıklarının alternatif olarak düşünülebileceğini öneriyoruz.

Anahtar Kelimeler: Nanoparçacıklar; DFT, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi, Bimetaller, Katalizörler, Genetik Algoritma

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Son yıllarda süper bilgisayar alanındaki hızlı gelişmeler, hesaplamalı modelleme ve simülasyonların malzeme alanında kullanım ağının genişlemesine ve yaygınlaşmasına olanak sağlamış ve bunun sonucu olarak büyük firmalar, maliyetleri azaltmak ve zaman tasarrufu sağlamak için bilgisayar üzerindeki hesaplamalara yönelmiştir. Bu hesaplamalar ile araştırmacılar ve mühendisler malzemelerin yapısal, elektronik, manyetik, optiksel ve mekanik özelliklerini atomik ölçekte inceleyebilmektedir.

Süper bilgisayar alanındaki gelişmeler malzemelerin atomik ölçekte anlaşılmasına, deneylerin yorumlanmasına ve yeni deneylerin planlanmasına yardımcı olan, istenilen özellikte malzeme tasarımının sağlanması ve henüz deneysel çalışmaların konusu olmamış fakat yeni ufuklar açabilecek malzemelerin incelenmesi için birçok metodun geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Bu metotlardan biri de yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT). DFT yaygın olarak gaz durumundaki izole edilmiş nanotopaklar ve moleküller, nanoparçacıklar (NP), kristal yapılar, ara yüzler ve periyodik yüzeyler gibi sistemlerin incelenmesi ve özelliklerinin araştırılmasında tercih edilen hesaplamalı yöntemlerden biridir. DFT yönteminin tercih edilmesinde iki önemli etkenin varlığından söz edebiliriz. Bunlardan ilki, DFT'nin farklı alanlarda mevcut olan zorlayıcı bilimsel sorulara tatmin edici cevaplar vermesi iken diğeri de deneylerle belirlenmesi mümkün olmayan önemli bilgilerin elde edilebilmesidir (Neugebauer ve Hickel, 2013).

DFT metodu kullanılarak NP'ler üzerine yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu yöntem NP'lerin yapısal karakterizasyonunu, potansiyel birçok uygulamayı gerçekleştirecek şekilde nanometrik malzemelerinin boyutuna bağlı özelliklerini aydınlatmanın anahtarıdır.

Küçük nanopartiküllerin veya alt nanometre kümelerinin nanometrik ya da daha küçük boyuttaki geometrik yapıları, deneysel ölçümleri kompüsyonel hesaplamalarla birleştirilerek belirlenebilir (Heiles, Logsdail, Schäfer, & Johnston, 2012). Bu yöntemde, NP'lerin yapısal özelliklerini bulmak için yapının en kararlı halini gösteren küresel minimum (KM) enerjilerini hesaplamak gerekiyor. Deneysel bulguları açıklamak için sezgi ile geometrik izomerler oluşturularak NP'lerin KM enerjileri hesaplanabilir ancak büyük hacimli sistemlerde sezgi ile geometrik izomer oluşturmak çok zordur ya da güvenilmeyen ön yargılı sonuçlar doğurur. Ön yargılı sonuçlardan kurtulmak için kullanılan yaklaşımlardan biri NP'lerin en kararlı halinin bulunmasını sağlayan KM enerjilerini hesaplamak için geometrik izomerlerin oluşmasını araştıran bir algoritmanın kullanılmasıdır. KM'yi belirlemek için birçok hesaplama yöntemi mevcuttur. İstatistiksel mekanik yöntemler (Montejano-Carrizales ve Morán-López, 1990), basing hoping (Wales ve Doye, 1997) ve genetik algoritmalar (GA) (Johnston, 2003) gibi yöntemler bunlardan bazılarıdır.

NP'lerin karakteristik özelliklerini yalnızca boyutla değil aynı zamanda bileşim ve kimyasal sıralamayla ayarlamak için iki veya daha fazla metal alaşımlanması gerekir. Bunun sonucu olarak, NP'ler daha karmaşık hale gelir ve muhtemelen bu "nano-alaşım" için özel sinerjik etkilere neden olur (Ferrando, Jellinek, & Johnston, 2008). Bu karmaşıklığı üstesinden gelmek için potansiyeller geliştirilmiştir. Son yıllarda, ampirik potansiyeli kullanılarak bimetalik NP'ler incelenmiştir. Bu potansiyelle beraber GA kullanılarak KM enerjileri tahmin edildi ve deneylerle uyumlu sonuçlar elde edildi (Tran ve Johnston, 2011). Ayrıca küçük (altnanometre) bimetalik NP'lerin bağ özelliklerinin araştırılması ancak elektronik yapı yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bir diğer motivasyon ise katalitik olarak aktif değerli metallerin bir kısmını veya tamamını nispeten ucuz metallerle değiştirerek katalizör

maliyetlerini azaltmaktır. Örneğin, Pt iyi bir katalizör ve hem bilimsel araştırma hem de endüstriyel uygulamalar için kullanılan yaygın bir metaldir. Ancak Pt nadir bulunan ve pahalı olan bir metaldir. Pt metal yüklemelerini azaltmak ve potansiyel olarak katalitik etkinliğini ve kullanım verimliliğini arttırmak için, Pt' nin diğer metallerle alaşımlanması giderek artan bir ilgi ile karşılanmaktadır. Biz bu çalışmada katalizör maliyetlerinin azaltılması üzerine odaklanmamakla birlikte, NP 'lerin yapısı ve kararlılığı üzerinde alaşımlama etkilerinin incelenmesinin gelecekteki katalizör maliyetlerini düşürme çalışmalarına katkı sağlayacağı kanısındayız. Ayrıca atomik ölçekte alaşımlanmış NP 'lerle tek elementli NP 'ler karşılaştırıldığında alaşımlanmış olanların üstün kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olma potansiyeli gösterebilmesi bu yapılarla ilgili çalışmaları artırmıştır.

Geciş metalleri arasında Pt temelli NP 'ler yoğun araştırmaların odağı olmuştur. Pt bazlı NP 'ler önemli ve etkili katalizörlerdir. Oksijen azaltma reaksiyonları (ORR) polimer elektrolit membranlı yakıt pillerinde (PEMFCs)(Choi vd., 2013), metanol oksidasyonu(Li, Luo, Peng, Wang ve Yu, 2018), heterojen NO_x azaltımı(Lindholm, Currier, Fridell, Yezerets, & Olsson, 2007) ve fotokatalitik olarak hidrojen üretimi(Du, Knowles, & Eisenberg, 2008) gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Pt elementinin farklı metallerle karışımlanması, spesifik reaksiyonların reaktivitesini artırabilirken daha düşük Pt yüklerinin kullanılması nedeniyle de üretim maliyetlerini düşürür(Tao vdl, 2008). Örneğin, CO ve O₂ emilim reaksiyonu için, birçok ikinci metal (Ru, Fe, Co, Ni, ve Cu) Pt ye eklenmiştir(Du vd., 2008; C. Li vd., 2018; Tian vd., 2018). Ping ve arkadaşları(Fang vd., 2011) Pt atomlarını AuPd çekirdek kabuğu NP 'leri üzerine kümelenendirerek, formik asit elektrooksidasyonu için olağan dışı yüksek aktivite oluştuğu sonucuna vardılar. John ve arkadaşları(York, Llobet, Cramer, & Tolman, 2007) CuPd ve CuPt bimetalik komplekslerin

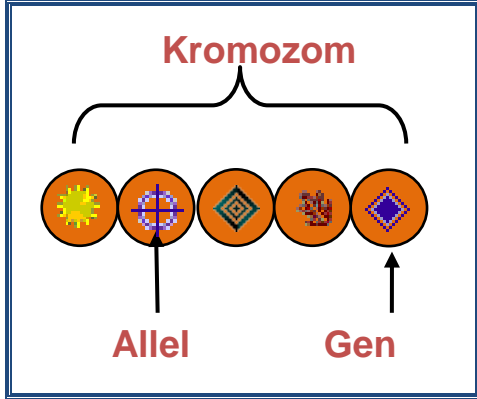
üretilmesini başararak Raman, UV ve MNR spektroskopik analizlerini yaptılar. Fengjiao ve arkadaşları(Yu vd., 2014) sudan hidrojen elde etmek için ürettikleri CuPt nanorodlarını kullandılar. Monica ve arkadaşları(Assumpção vd., 2014) amonyak yakıt hücresi (DAFC) performansını anot PtIr /C elektrokatalistleri kullanılarak araştırdılar. PtIr/C (50:50) kullanılarak en yüksek akım yoğunluğu ve açık devre voltajı elde edildi.

Biz bu makelede, Cu ile Pt elementlerinin alaşımlanması ile NP' nin stabilitesinde, yapısında ve elektronik özelliklerinde değişiklikleri genetik algoritma tabanlı yoğunluk fonksiyon metodu kullanılarak yorumlayacağız. Elde ettiğimiz verileri topolojik yapı, yoğunluk enerjisi, bağlanma enerjisi, karıştırma enerjisi ve ikinci sonlu fark enerjisi ile analiz edeceğiz.

Yöntem

GA yöntemi birçok alanda kullanılma özelliğine sahiptir. GA metodu 1990' ların başından beri kimya, fizik, malzeme bilimi ve biyolojinin çeşitli alanlarında global minimum (GM) enerjisi bulmak için kullanıldı(Núñez-Valdez, Allahyari, Fan, & Oganov, 2018; Rodemerck, Baerns, Holena, & Wolf, 2004; Sharifpour vd., 2018; Song & Zhang, 2001). Bu çalışmamızda, GA metodu önyargısız olarak optimize edilmemiş farklı izomer yapılarını oluşturmak için kullanıldı. Optimize edilecek değişkenler ("genler") bir kod ("kromozom") oluşturacak şekilde farklı dizildiğinde her biri izomerleri oluştururlar. KM enerjisini bulmak için her bir kromozom (izomer) deneme çözümünü temsil eder. Genlerin karakteristiği "allel" olarak bilinir.(Johnston, 2003). Şekil 1 'de GA metodunda kullanılan kromozom, gen ve allel arasındaki ilişki gösterilmiştir. Ayrıntılı bilgi için Johnston ve Mitchell 'in çalışmalarına bakılabilir.(Johnston, 2003; Mitchell, 1998). Bu çalışmada, DFT koduyla bağlantı yapılarak Roy L. Johnston ve ekibi tarafından yazılan Birmingham Nanoparçacık Genetik Algoritma

(BCGA) açık kaynak kodu kullanılmıştır(Johnston, 2003). BCGA nanoparçacıkların ve nanoalaşımların yapısal karakterizasyonu için uygulanan bir genetik algoritma kodudur.



Şekil 1. Genetik algoritma optimizasyonunda bir bireyin genel olarak şematik gösterimi

Bu kaynak kod ile tahmini aday KM izomerleri üretilir ve sonra BCGA koduna arayüz olarak kullanılan Kuantum Espresso (QE)(Giannozzi vd., 2009) programıyla bu izomerlerin KM enerji düzeyleri hesaplanır. QE arayüz programı bir sistemin en düşük enerji düzeyli (en kararlı halinin) yapısının DFT yöntemiyle hesaplanmasını sağlar. BCGA kodunda, ilk olarak 10 kişilik bir nüfusu oluşturmak için bir grup yapı rastgele yerleştirilir. Her bir yapı için gerçek değerli kartezyen koordinatları seçilir ve koordinatların bir fonksiyonu olan potansiyel enerji optimize edilerek her bir yapı serbest bırakılır. Nüfusun her bir üyesinin enerjisi PWscf DFT hesaplamasından elde edilir. En düşük enerjili yapı en yüksek uygunluğa karşılık gelecek şekilde yapılara değer atanır. Sonra bu bireylerden yavrunun (offspring) üretilmesi için (crossover), rulet çarkı seçim kriteri ve Deaven-Ho kesme ve birleştirme yöntemi kullanılarak yapılır(Deaven ve Ho, 1995) ve ayrıca bu yavrular mutasyona da uğrar. Mutasyon, BCGA'da, atom yer değiştirmesi, nanoparçacık bükümü, nanoparçacık yer değiştirme gibi bir dizi şema kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, nanoparçacık yer değiştirme kullanılmıştır. Crossover ve mutasyon işlemi önceden belirlenmiş maksimum sayıya kadar

iterasyona devam edebilir. Bu çalışmada maksimum sayı 200 olarak belirlenmiştir. Bu döngü süresince, belli sayıda neslin ardından nüfusun en düşük enerjili üyesi değişmezse, popülasyonun yakınsadığı düşünülür ve GA sonlandırılır(Aslan, Davis, & Johnston, 2016).

QE hesaplamaları için, skalar relativistik etki dikkate alınarak PAW psödopotansiyelleri kullanıldı(Blöchl, 1994). Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) değişim-korelasyon fonksiyonu, genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) ile kullanıldı(Ernzerhof ve Scuseria, 1999; Perdew, Burke, ve Wang, 1996). Kullanılan PBE küçük hacimdeki karışık metallere hesaplamalarında genişçe kullanılan bir fonksiyondur. Programın varsayılan yoğunluk kesme yakınsama kriteri olan 50 Ry'nin enerji kesilmesi (E_{cut}) uygulandı. Metalik yakınsamayı arttırmak için 0.01'lik bir değerde Fermi-Dirac tekniği kullanıldı.

Atom başına düşen ortalama bağlanma enerjisi (E_b) aşağıdaki formülden hesaplandı:

$$E_b = \frac{E_{Cu_mPt_n} - mE_{Cu} - nE_{Pt}}{m+n} \quad (1)$$

Burada, Cu atomlarının sayısı m ve n ise Pt atomlarının sayısıdır. Elementlerin ve NP 'lerin hesaplanan en düşük enerji seviyeleri sırasıyla E_{Cu} , E_{Pt} ve $E_{Cu_mPt_n}$ şeklinde gösterilmiştir. NP içerisindeki bakırın platinyum atomları ile karıştırılmasının etkisi, Karıştırma (Fazla) Enerji (Δ) ile aşağıdaki formül yardımıyla hesaplandı:

$$\Delta = E_{Cu_mPt_n} - \frac{mE_{Cu}}{N} - \frac{nE_{Pt}}{N} \quad (2)$$

Burada, m ve n atom sayılarının toplamı N şeklinde verilmiştir.

Saf Cu, Pt ve karışık Cu-Pt NP 'lerin kararlı durumlarını tespit etmek için, ikinci sonlu fark enerjisi ($\Delta_2 E$) aşağıda verilmiştir:

$$\Delta_2 E = E(A_{m+1,n-1}) + E(A_{m-1,n+1}) - 2E(A_{m,n}) \quad (3)$$

Burada, Cu_mPt_n nin en düşük seviyeli enerjisi $E(A_{m,n})$ şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 1. Bimetalik CuPt Nanoparçacıklarının Stabilite Özellikleri

NP	BE (eV/atom)	KE (eV)	ISFE (eV)
Cu_0Pt_3	-2.315	0.000	-
Cu_1Pt_2	-2.105	-0.364	0.244
Cu_2Pt_1	-1.814	-0.484	0.603
Cu_3Pt_0	-1.322	0.000	-
Cu_0Pt_4	-2.588	0.000	-
Cu_1Pt_3	-2.454	-0.410	0.328
Cu_2Pt_2	-2.239	-0.493	0.305
Cu_3Pt_1	-1.946	-0.269	0.046
Cu_4Pt_0	-1.643	0.000	-
Cu_0Pt_5	-2.843	0.000	-
Cu_1Pt_4	-2.718	-0.428	-0.022
Cu_2Pt_3	-2.597	-0.877	0.117
Cu_3Pt_2	-2.452	-1.210	0.965
Cu_4Pt_1	-2.115	-0.578	-0.054
Cu_5Pt_0	-1.789	0.000	-

NP: Nanoparçacık, BE: Ortalama atom başına düşen bağlanma enerjisi, KE: Karıştırma Enerjisi, ISFE: İkinci Sonlu Fark Enerjisi

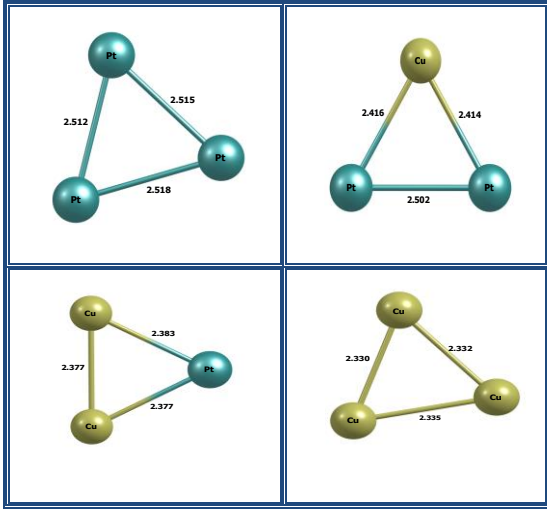
Tartışma ve Sonuç

Cu_mPt_n ($m+n = 3-5$) NP 'lerin en düşük enerji yapıları Şekil 2-4'de verilmiştir. Atom başına düşen ortalama bağlanma enerjisi (BE), Karıştırma (Fazla) Enerji (KE) ve ikinci sonlu fark enerjisi (ISFE) Tablo 1 'de verilmiştir. Şekil 2-4 ten anlaşılacağı gibi 3 ve 4 atomlu NP' lerin en düşük enerji seviyeleri 2 boyutlu (2D) yapıları tercih etmektedir. Bunun sebebi relativistik etkilere bağlı d ve s orbitallerinin güçlü melezleşmesi olarak açıklanabilir (Ginatempo, Guo, Temmerman, Staunton, & Durham, 1990). 5 atomlu yapılarda ise istisnalar olmakla birlikte 3 boyutlu (3D) yapıları tercih etmektedir.

3 atomlu CuPt NP' ler üçgensel bir geometrik

özellik göstermektedir ve ayrıca CuPt yapıları 2D olacak şekilde en kararlı durum enerjilerine geçmişlerdir. İki elementli alaşımlarla yapılan çalışmalardan 3 atomlu CoPd (Mokkath, 2014), CoPt (Hu, Yuan, Chen, Wang, & Zhang, 2014) ve CuNi (Derosa, Seminario, & Balbuena, 2001) NP ' lerin en düşük enerji seviyeleri 2D yapıları tercih etmektedir. Pt₃ trimerin en düşük enerjili geometrisi eşkenar üçgen olarak tanımlanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara destek olarak Yank ve arkadaşları (Yang, Drabold, Adams, Ordejón, & Glassford, 1997) Pt₃' ün geometrik yapısını eşkenar üçgen olarak tanımlamıştır. Chaves ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre (Chaves, Rondina, Piotrowski, Tereshchuk, & Da Silva, 2014), elektron sayısını azaltığımızda Pt₃' ün üçgensel geometrik yapısı değişmiyor ama elektron sayısını bir artırdığımızda Pt₃' ün geometrik yapısı dogrusal bir çizgi halini alıyor. Bu çalışmadan NP 'nin elektron sayısı değiştirmek Pt₃ geometrik yapısını önemli derecede etkileyebilir sonucuna varabiliriz. Bu çalışmamızda, Pt-Pt ortalama bağ uzunluğunu 2.513 Å olarak hesapladık. BE (-2.315) ise 3 atomlu yapılar içerisinde en yüksek değere sahip olunan NP' dir. Pt atomunu bir Cu atomuyla değiştirdiğimizde, eşkenar üçgen yapı ikizkenar üçgen şeklini aldı. Bu yapının en kararlı halinde Cu atomu tepede Pt atomları da tabanda olacak şekilde yerleşti. Ayrıca, tepe atomuna olan uzaklıklar taban uzunluğundan daha kısadır (Şekil 2 ye bakınız). Pt-Pt atomları arasında bağ uzunluğunda önemli olmayacak derecede bir kısalma olmuştur. 2 bakır atomunun ve bir Pt atomunun oluşturduğu sistemde ise, yapı ikizkenar üçgen olma özelliğini korudu. Bir önceki yapıyla kıyasladığımızda, Cu-Pt atomlar arası uzaklık ortalama olarak 0.385 Å kısaldı. Saf Pt₃ gibi saf Cu₃ ' ün geometrik yapısı eşkenar üçgen özellik göstermektedir. Cu-Cu ortalama bağ uzunluğu 2.334 Å olarak hesaplandı. Bu yapının BE ' si Pt₃, Cu₁Pt₂ ve Cu₂Pt₁ yapılarından sırasıyla 0.993, 0.783 ve 0.492 eV daha küçüktür. Deneysel olarak bu yapının BE 1.07 ± 0.12 eV/atom olarak bulundu (Spasov, Lee, & Ervin,

2000). Hernandez ve arkadaşları (Sosa-Hernández, Montejano-Carrizales, & Alvarado-Leyva, 2017) bakır-demir (3:1 ve 2:2) NP' lerin geometrik yapısını dörtgen şeklinde

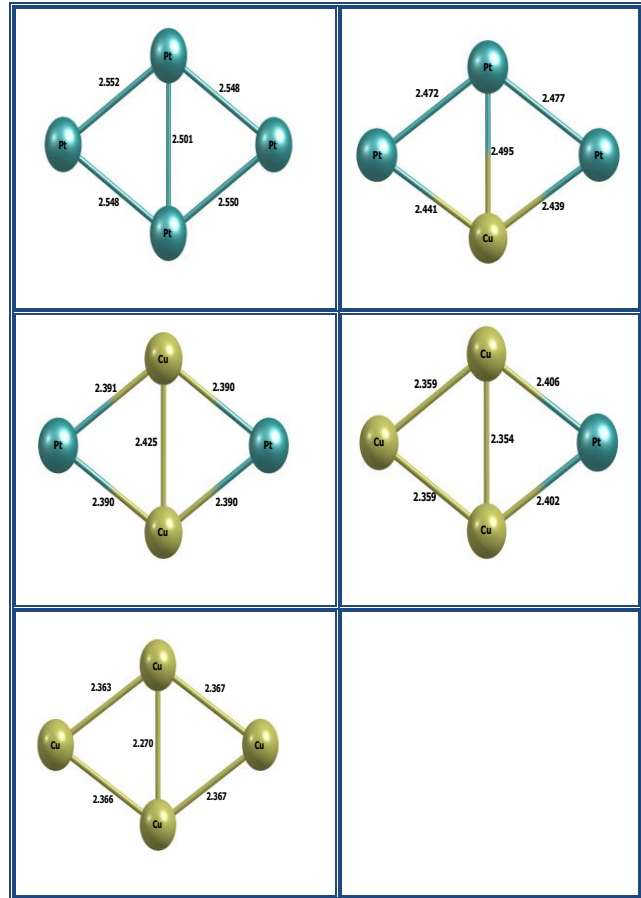


Şekil 2. En düşük enerjili bimetalik Cu_mPt_n ($m+n=3$) nanoparçacıklarının geometrik Yapısı

tanımladılar. Yuan ve arkadaşları aynı hacimdeki Pt-Co NP 'lerin bütün bileşiklerini eşkenar dörtgen ya da dört yüzlü şekil olarak tanımladılar. Geometrik yapının belirlenmesi ve değiştirilme kabiliyeti katalizör olarak tasarlanan malzemenin aktif olan yüzeyini tanımlamak için önemlidir. Bizim çalışmamızla birlikte yukarıdaki yapılan çalışmalardan şu sonuç çıkarılabilir; Cu ve Pt 'nin başka elementlerle alaşımlaması değişik aktif yüzeylerin oluşmasını sağlayabilir. Saf Pt₄' ün geometrik yapısı ortalama bağ uzunluğu 2.55 Å olmakla birlikte eşkenar dörtgen yapısındadır. Chaves ve arkadaşları(Chaves vd., 2014) bu yapıyı bozulmuş eşkenar dörtgen şeklinde buldular. İlginç olarak Pt₄ NP 'nin elektron sayısında bir artırma ya da bir azaltma yaptıklarında daha önceden bahsedilen Pt₃ yapısı gibi geometrik yapısında önemli derecede değişiklik olduğu sonucuna vardılar. Bu çalışmada Pt₄ e bir elektron eklenmesi yapıyı kareye, bir elektron çıkarılması da dört yüzlü atoma dönüştürdü. Pt₃ ve Pt₄ elektron sayılarını değiştirmek ilginç olarak bu yapıların elektron sayılarını değiştirdi. Elde ettiğimiz sonuca göre Pt₃ yapısına bir tane Pt atomu eklenmesi komşu

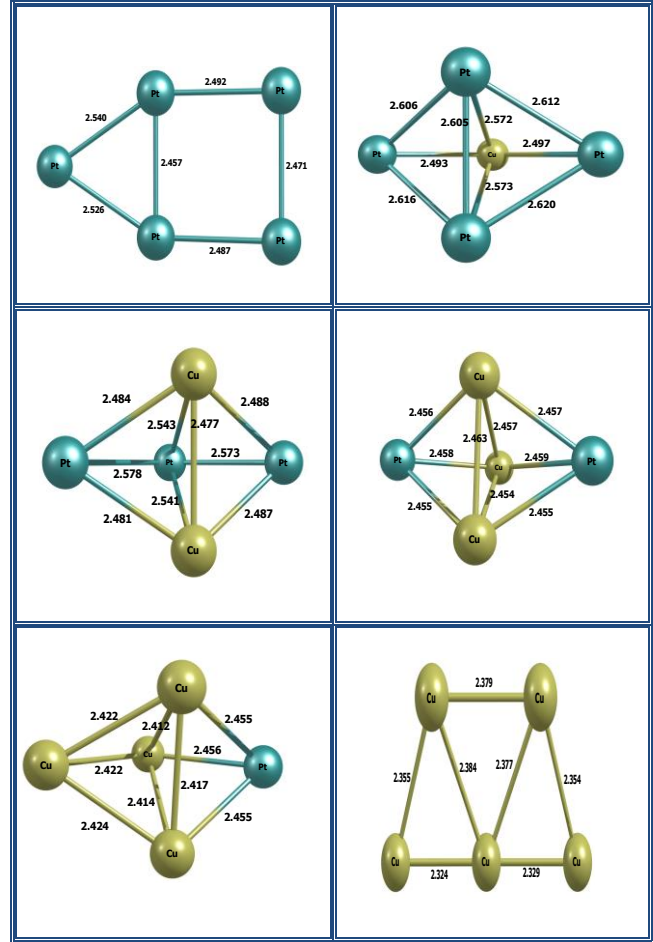
atomların birbiriyle olan uzaklıklarında önemli derecede bir değişikliğe sebep olmadı. Pt atomu yerine bir tane Cu atomunun eklenmesi yapının topolojik yapısında önemli derecede bir değişikliğe de sebep olmadı. Bu yapıyı Cu₁Pt₂ ile kıyaslarsak, yapının BE ' si Pt atomun etkisiyle 0.35 eV kadar arttı. Bunun sonucu olarak atomlar arasındaki uzunluklarda kısalma oldu. Cu₂Pt₂ NP' de ise Cu ve Pt atomları kendi arasında karşılıklı olarak dizildi. Cu₁Pt₃ yapısında ise, NP 'nin içerisinde bakır atomları arasında eşkenar üçgensel bir birim oluştu. (Şekil 3 bakınız). Ortalama Cu-Cu ve Cu-Pt atomları arası bağlar sırasıyla 2.36 ve 2.404 Å olarak hesaplandı. Deneysel olarak saf Cu₄ ün BE 'si 1.48 ± 0.14 eV/atom olarak bulundu (Spasov et al., 2000). Bizim bulduğumuz sonuçla deneysel olarak yapılan sonuç birbiriyle uyumludur(Tablo 1'e bakınız).

5 atomlu yapılarda istisnalar olmakla birlikte (Pt₅ ve Cu₅) NP' lerin yapısı 3D şeklindedir.



Şekil 3. En düşük enerjili bimetalik Cu_mPt_n ($m+n=4$) nanoparçacıklarının geometrik yapısı

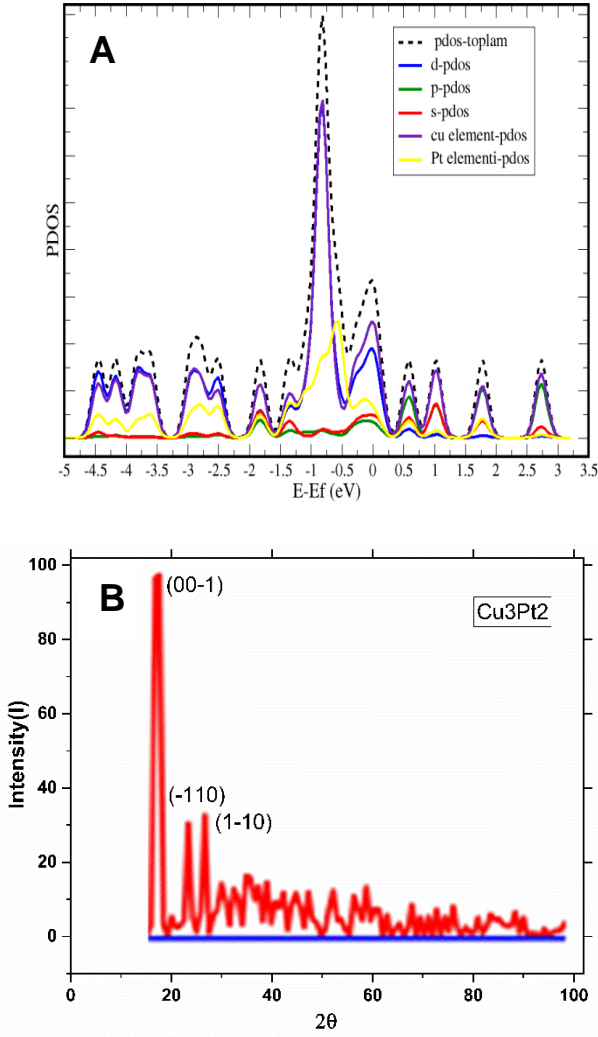
Bu hacimde saf yapıların 2D şeklinde, saf olmayan yapıların da 3D şeklinde olması gösteriyor ki bakır ve platinum alaşımlanması parçacığın topolojik yapısında önemli değişikliklere neden olmaktadır. CuPt nanoalaşımların geometrik yapıları bozulmuş üçgensel bipramit şeklindedir. Minimum enerjik yapı saf Pt₅ 'in yapısı hafif bozulmuş şapkalı kare şeklindedir. Pt-Pt ortalama bağ uzunluğu 2.50 Å şeklindedir. Bir Pt elementinin Pt₃ yapısına eklenmesi ile kazanılan BE enerjisi (0.273 eV/atom) ile Pt₄ yapısından Pt₅ yapısına geçerken kazanılan BE miktarı (0.255 eV/atom) arasında önemli bir fark yoktur. Kazanılan BE sebebi, Pt elementinin eklenmesi ile Platin atomları çevresinde daha çok komşu atomun oluşmasından dolayı bağ sayısının artmasıdır. Bir Pt elementi yerine bir bakırın yerleştirilmesi ile oluşan en düşük enerjilik yapının morfolojisi önemli derecede değişikliğe uğradı ve ayrıca Pt-Pt arasındaki bağların uzamasına sebep oldu. Cu-Pt atomları arasındaki ortalama bağ uzunluğu 2.53 Å' dur. 2 Bakır ve 3 Platin atomundan oluşan en düşük enerjili yapının geometrik morfolojisinde bir değişim olmadı. Bir önceki NP' e göre Cu-Pt ortalama bağ uzunluğunda 0.03 Å kısalma oldu ve Cu-Cu bağ uzunluğu 2.48 Å olarak bulundu. Cu₃Pt₂ yapısındaki Cu-Cu ortalama bağ uzunluğu ise 2.46 Å olarak bulundu. Bu yapıda, Cu elementleri tabanda üçgensel bir birim oluşturdu ve Pt elementleri tepe noktalarında geometrik olarak dizildi. Bu yapıdaki Cu ve Pt elementleri arasındaki etkileşimi daha d orbitallerinden dolayı olmaktadır(Şekil 5a' ya bakınız) ve bağ yapısına en çok katkısı bulunan element Cu elementidir. Ayrıca XRD analiz sonuçlarına göre en yüksek şiddet (00-1) de görülmüştür. Bir Pt elementinin yerine Cu elementi yerleştirdiğimizde oluşan NP 'de kazanılan BE 'si 0.337 eV/atom ' dur. Cu₄Pt₁ yapısını Cu₃Pt₁ ile kıyaslırsak, bir Cu elementinin eklenmesi Cu-Pt bağ uzunluğuna etkisi önemli derecede bir değişikliğe sebep olmadı. Saf Cu₅ yapısı 2D bir yapıdadır. Oluşan geometrik diziliş hafif bozulmuş yamuk şeklindedir.



Şekil 4. En düşük enerjili bimetalik Cu_mPt_n (m+n=5) nanoparçacıkların geometrik yapısı

Ho ve arkadaşlarının(Ho, Ervin, & Lineberger, 1990) yaptığı deneysel çalışmada bizimle aynı sonucu buldular. Ortalama Cu-Cu bağ uzunluğu 2.36 Å olarak bulundu. Jaque ve arkadaşları(Jaque ve Toro-Labbé, 2002) ortalma Cu-Cu bağ uzunluğunu 2.43 Å olarak buldular. Spasov ve arkadaşları(Spasov vd., 2000) deneysel olarak BE' yi 1.552 ± 0.37 eV/atom olarak buldular. Bizim bulduğumuz sonuçlarla uyum içerisinde (Tablo 1' e bakınız).

NP' lerin stabilesi (kararlılığı) önemli bir kavramdır. Nanoparçacığı ürettikten sonra mevcut yapısını koruyamaması istenilen bir durum değildir. Başka bir deyişle NP üretildikten sonra beklenmeyen başka bir yapıya dönüşmesi ya da istenilmeyen mekanik, manyetik, elektriksel ya da optiksel özellikler göstermesi tercih edilen bir durum değildir.



Şekil 5. Cu₃Pt₂ Nanoparçacığın (A) kısmı yoğunluk durumu (PDOS) (B) XRD analizi

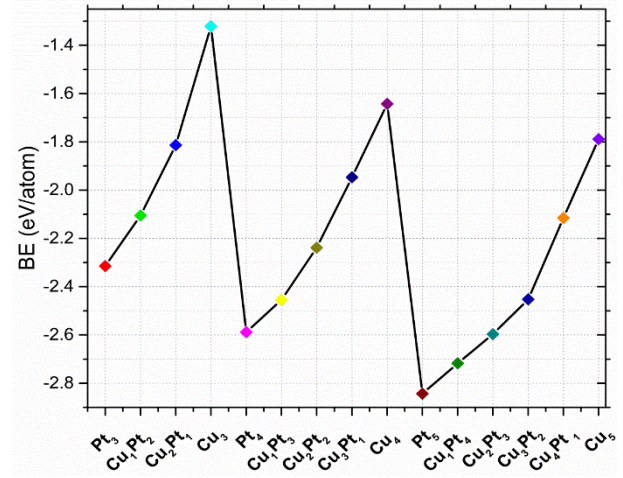
Nanopartikül stabilitesi çeşitli yollarla analiz edilebilir; en yaygın olan yöntemlerden biri, izole edilmiş atomlardan başlayarak metal nanoparçacıkların büyütülmesi sırasında açığa çıkan enerjinin hesaplanmasıdır. Biz bu enerjiye bağlanma enerjisi olarak tanımlıyoruz. Kısacası, bağlanma enerjisi bir NP' nin termodinamik kararlılığının bir ölçüsüdür.

Çalıştığımız CuPt yapılarının atom başına düşen bağlanma enerjileri (BE) Şekil 6' da gösterilmiştir. Ayrıca BE formülü Denklem 1 de verilmiştir. BE çekimsel bir enerji olduğundan dolayı negatif değer alır. Tablo 1 'de BE değerleri verilmiştir. En büyük BE değeri Pt₅' e ait en küçük ise Cu₃' e aittir. Tablo 1 'den anlaşılacağı üzere Cu elementinin Pt

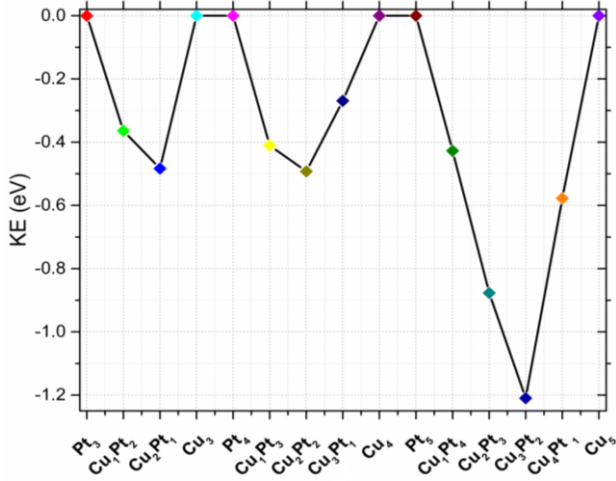
elementine katkısı BE değerlerinin düşürmüştür. Beklendiği gibi, artan nükleerlik, BE'yi daha büyük değerlere sahip olmasını sağlar. Bunun nedeni, büyüme süreci sırasında, en yakın komşuların sayısının artmasından dolayı, ortalama atom başına etkileşime giren atom sayısının artmasıdır.

Karıştırma (Fazla) Enerjileri (KE) iki metalli alaşımların tek elementli olan yapılara göre stabilitesinin bir ölçüsünü sağlamak için hesaplanan bir enerjidir. KE' nin negatif değer alması kullanılan iki farklı metallerin alaşımlanmasının enerjistik olarak desteklendiğini gösterir. Çalışılan bimetalik CuPt alaşımların hepsi negatif değer aldığından dolayı enerjistik olarak desteklenmektedir. Denklem 2 de verilen KE formülünden anlaşılacağı üzere saf metaller için bu denklem tanımlanmamıştır. NP 'deki Cu ve Pt oranlarının değişiminin KE 'ye etkisi için herhangi bir eğilim gözlenmemiştir. Şekil 6'dan de anlaşılacağı üzere Cu₃Pt₂ değeri KE açısından stabilitesi en yüksek olan yapıdır. Elde ettiğimiz sonuç yapılan ISFE hesaplamaları ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca NP' nin hacmini artırdığımızda KE açısından belirli bir eğilim gözlenmemiştir.

NP kararlılığını ve hacme bağlı davranışlarını daha fazla incelemek için, Çalıştığımız yapıların ikinci sonlu fark enerjilerini hesapladık (ISFE).



Şekil 6. CuPt Nanoparçacıklarının atom başına düşen ortalama bağlanma enerjileri(BE)

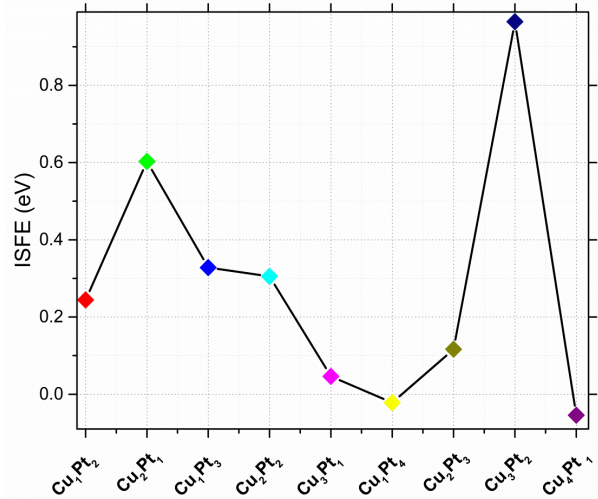


Şekil 7. CuPt Nanoparçacıklarının Karıştırma (Fazla) Enerjileri (KE)

Bu enerji ile bir nanoalaşımın komşu yapılara göre nispi stabilitesi hassas bir şekilde ölçülebilir. Elde edilen sonuçlar genellikle kütle spektroskopisi deneylerinde belirlenen sonuçlarla doğrudan karşılaştırılırlar. Kütle spektroskopisi deneylerinde bazı yapılar daha çok bulunurlar. Bunlara "büyülü sayılar" denir. Eğer bir yapı stabilitesi yüksek ise bu sayının "büyülü sayılı" olma ihtimali yüksektir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, (Şekil 8' e bakınız) Cu_2Pt_1 ve Cu_3Pt_2 yapılarının komşularına göre stabilitesi yüksek olduğundan kütle spektrometre deneylerinde daha çok bulunma ihtimali vardır.

Sonuç

Bu çalışmada, bimetallik CuPt NP 'lerin bütün bileşimlerinde GA-DFT metodunu uygulayarak global en düşük enerji seviyeli yapıları hesaplanmıştır. İki boyutlu yapıdan üç boyutlu yapıya geçişte 5 atomlu yapılar da görüldü. 3 ve 4 atomlu yapılarda iki boyutlu topolojik yapıların oluşmasının sebebi relativistik etkilere bağlı s ve d orbitallerinin güçlü melezleşmesi olabilir. Şekil 4 'ten anlaşılacağı üzere Cu elementleri yapının merkeze yerleşme eğiliminde, Pt elementleri ise kenar pozisyonlarına yerleşme eğiliminde olduğunu söyleyebiliriz. Buradan hareketle, daha büyük hacimli CuPt katolizör malzeme olarak



Şekil 8. CuPt Nanoparçacıklarının İkinci Sonlu Fark Enerjileri (ISFE)

kullanılırsa aktif olan tarafın Pt yüzeyi olabileceği tahmin edilebilir. CuPt'nin elde ettiğimiz yapısal ve stabilite özelliklerinden dolayı, başlangıç seviyesi olarak kimyacılar, malzeme ve kimya mühendislerine katolizör üretim maliyetlerini azaltmak için CuPt' leri saf Pt NP' lere alternatif olarak kullanmalarını bu çalışmayla önerebiliriz.

Bu çalışmanın devamı olarak, daha büyük hacimde Cu-Pt NP 'leri ve farklı metallerle alaşımlanması üzerinde durmayı planlıyoruz.

Kaynaklar

- Aslan, M., Davis, J. B., ve Johnston, R. L. (2016). Global optimization of small bimetallic pd-co binary nanoalloy clusters: A genetic algorithm approach at the dft level. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **18**, 9, 6676-6682.
- Assumpção, M. H. M. T., da Silva, S. G., de Souza, R. F. B., Buzzo, G. S., Spinacé, E. V., Neto, A. O., ve Silva, J. C. M. (2014). Direct ammonia fuel cell performance using ptir/c as anode electrocatalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, **39**, 10, 5148-5152.
- Blöchl, P. E. (1994). Projector augmented-wave method. *Physical review B*, **50**, 24, 17953.

- Boulbazine, M., Boudjahem, A.-G., ve Bettahar, M. (2017). Stabilities, electronic and magnetic properties of Cu-doped Nickel clusters: A dft investigation. *Molecular Physics*, **115**, 20, 2495-2507.
- Chaves, A. S., Rondina, G. G., Piotrowski, M. J., Tereshchuk, P., ve Da Silva, J. L. F. (2014). The role of charge states in the atomic structure of Cu_n and Pt_n ($n = 2-14$ atoms) clusters: A dft investigation. *The Journal of Physical Chemistry A*, **118**, 45, 10813-10821.
- Choi, R., Choi, S. I., Choi, C. H., Nam, K. M., Woo, S. I., Park, J. T., & Han, S. W. (2013). Designed synthesis of well-defined Pd@ Pt core-shell nanoparticles with controlled shell thickness as efficient oxygen reduction electrocatalysts. *Chemistry-A European Journal*, **19**, 25, 8190-8198.
- Deaven, D. M., & Ho, K.-M. (1995). Molecular geometry optimization with a genetic algorithm. *Physical review letters*, **75**, 2, 288.
- Derosa, P. A., Seminario, J. M., ve Balbuena, P. B. (2001). Properties of small bimetallic Ni-Cu clusters. *The Journal of Physical Chemistry A*, **105**, 33, 7917-7925.
- Du, P., Knowles, K., ve Eisenberg, R. (2008). A homogeneous system for the photogeneration of hydrogen from water based on a platinum (ii) terpyridyl acetylide chromophore and a molecular cobalt catalyst. *Journal of the American Chemical Society*, **130**, 38, 12576-12577.
- Ernzerhof, M., ve Scuseria, G. E. (1999). Assessment of the perdew-burke-ernzerhof exchange-correlation functional. *The Journal of chemical physics*, **110**, 11, 5029-5036.
- Fang, P.-P., Duan, S., Lin, X.-D., Anema, J. R., Li, J.-F., Buriez, O., Ren, B. (2011). Tailoring au-core pd-shell pt-cluster nanoparticles for enhanced electrocatalytic activity. *Chemical Science*, **2**, 3, 531-539.
- Ferrando, R., Jellinek, J., ve Johnston, R. L. (2008). Nanoalloys: From theory to applications of alloy clusters and nanoparticles. *Chemical reviews*, **108**, 3, 845-910.
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Dabo, I. (2009). Quantum espresso: A modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of physics: Condensed matter*, **21**, 39, 395502.
- Ginatempo, B., Guo, G. Y., Temmerman, W. M., Staunton, J. B., ve Durham, P. J. (1990). Electronic structure of ordered and disordered Cu alloys: Cu 3 Pd, Cu 3 Pt, and Cu 3 Au. *Physical review B*, **42**, 5, 2761-2767.
- Heiles, S., Logsdail, A. J., Schäfer, R., & Johnston, R. L. (2012). Dopant-induced 2d-3d transition in small Au-containing clusters: Dft-global optimisation of 8-atom Au-Ag nanoalloys. *Nanoscale*, **4**, 4, 1109-1115.
- Ho, J., Ervin, K. M., & Lineberger, W. (1990). Photoelectron spectroscopy of metal cluster anions: Cu^-_n , Ag^-_n , and Au^-_n . *The Journal of chemical physics*, **93**, 10, 6987-7002.
- Hu, W., Yuan, H., Chen, H., Wang, G., ve Zhang, G. (2014). Structural and magnetic properties of CoPt clusters. *Physics Letters A*, **378**, 3, 198-206.
- Jaque, P., ve Toro-Labbé, A. (2002). Characterization of copper clusters through the use of density functional theory reactivity descriptors. *The Journal of chemical physics*, **117**, 7, 3208-3218.
- Johnston, R. L. (2003). Evolving better nanoparticles: Genetic algorithms for optimising cluster geometries. *Dalton Transactions*, **22**, 4193-4207.
- Li, C., Liu, T., He, T., Ni, B., Yuan, Q., ve Wang, X. (2018). Composition-driven shape evolution to cu-rich ptcu octahedral alloy nanocrystals as superior bifunctional catalysts for methanol oxidation and oxygen reduction reaction. *Nanoscale*, **10**, 10, 4670-4674.
- Li, X., Luo, L., Peng, F., Wang, H., ve Yu, H. (2018). Enhanced activity of Pt/CNTs anode catalyst for direct methanol fuel cells using Ni_2P as co-catalyst. *Applied Surface Science*, **434**, 534-539.
- Lindholm, A., Currier, N. W., Fridell, E., Yezerets, A., ve Olsson, L. (2007). Nox storage and

- reduction over pt based catalysts with hydrogen as the reducing agent: Influence of H₂O and CO₂. *Applied Catalysis B: Environmental*, **75**, 1-2, 78-87.
- Mitchell, M. (1998). An introduction to genetic algorithms: MIT press.
- Mokkath, J. H. (2014). Magnetism, structure and chemical order in small CoPd clusters: A first-principles study. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **349**, 109-115.
- Montejano-Carrizales, J., ve Morán-López, J. (1990). Bimetallic nanostructures: I. General aspects and the ground state. *Surface science*, **239**, 1-2, 169-177.
- Neugebauer, J., ve Hickel, T. (2013). Density functional theory in materials science. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Computational Molecular Science*, **3**, 5, 438-448.
- Núñez-Valdez, M., Allahyari, Z., Fan, T., ve Oganov, A. R. (2018). Efficient technique for computational design of thermoelectric materials. *Computer Physics Communications*, **222**, 152-157.
- Perdew, J. P., Burke, K., ve Wang, Y. (1996). Generalized gradient approximation for the exchange-correlation hole of a many-electron system. *Physical review B*, **54**, 23, 16533.
- Rodemerck, U., Baerns, M., Holena, M., ve Wolf, D. (2004). Application of a genetic algorithm and a neural network for the discovery and optimization of new solid catalytic materials. *Applied Surface Science*, **223**, 1-3, 168-174.
- Sharifpour, E., Ghaedi, M., Nasiri Azad, F., Dashtian, K., Hadadi, H., ve Purkait, M. (2018). Zinc oxide nanorod-loaded activated carbon for ultrasound-assisted adsorption of safranin o: Central composite design and genetic algorithm optimization. *Applied Organometallic Chemistry*, **32**, 2.
- Song, R., ve Zhang, Q. (2001). Heat treatment optimization for 7175 aluminum alloy by genetic algorithm. *Materials Science and Engineering: C*, **17**, 1-2, 133-137.
- Sosa-Hernández, E. M., Montejano-Carrizales, J. M., ve Alvarado-Leyva, P. G. (2017). Global minimum structures, stability and electronic properties of small Fe_xCu_y (x + y ≤ 5) bimetallic clusters: A dft study. *The European Physical Journal D*, **71**, 11, 284.
- Spasov, V. A., Lee, T.-H., ve Ervin, K. M. (2000). Threshold collision-induced dissociation of anionic copper clusters and copper cluster monocarbonyls. *The Journal of chemical physics*, **112**, 4, 1713-1720.
- Tao, F., Grass, M. E., Zhang, Y., Butcher, D. R., Renzas, J. R., Liu, Z., Somorjai, G. A. (2008). Reaction-driven restructuring of Rh-Pd and Pt-Pd core-shell nanoparticles. *Science*, **322**, 5903, 932-934.
- Tian, R., Shen, S., Zhu, F., Luo, L., Yan, X., Wei, G., ve Zhang, J. (2018). Sandwich-structured icosahedral PtNi alloy nanocrystalline electrocatalyst: From the growth mechanism to its oxygen reduction activity. *ChemSusChem*.
- Tran, D. T., ve Johnston, R. L. (2011). Study of 40-atom pt–au clusters using a combined empirical potential-density functional approach. Paper presented at the Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, *Physical and Engineering Sciences*.
- Wales, D. J., ve Doye, J. P. (1997). Global optimization by basin-hopping and the lowest energy structures of lennard-jones clusters containing up to 110 atoms. *The Journal of Physical Chemistry A*, **101**, 28, 5111-5116.
- Yang, S. H., Drabold, D. A., Adams, J. B., Ordejón, P., ve Glassford, K. (1997). Density functional studies of small platinum clusters. *Journal of physics: Condensed matter*, **9**, 5, L39.
- York, J. T., Llobet, A., Cramer, C. J., ve Tolman, W. B. (2007). Heterobimetallic dioxygen activation: Synthesis and reactivity of mixed Cu– Pd and Cu– Pt bis (μ-oxo) complexes. *Journal of the American Chemical Society*, **129**, 25, 7990-7999.
- Yu, F., Xu, X., Baddeley, C. J., Bellabarba, R. M., Lignier, P., Tooze, R. P., Zhou, W. (2014). Surface ligand mediated growth of CuPt nanorods. *CrystEngComm*, **16**, 9, 1714-1723.

Stability, Structural and Properties of Bimetallic CuPt Nanoparticles

Extended Abstract

In recent years, due to the rapid developments in the field of supercomputers, computational modeling and simulations in the material science and engineering field have been developed. As a result of this, large companies show great attention to computer based calculations to reduce costs and save time. With these calculations, researchers and engineers can examine the structural, electronic, magnetic, optical and mechanical properties of materials on an atomic scale.

Developments in the field of supercomputers have contributed to the development of many methods to investigate materials on an atomic scale, to interpret the experiments and to plan new experiments, to provide material design with the desired features and to examine the materials that have not yet been subject to experimental studies but which can open up new overlook. One of these methods is density functional theory (DFT). DFT is one of the common computational methods for investigating the properties of commonly isolated clusters and molecules, nanoparticles (NPs), crystal structures, interfaces and periodic surfaces.

Pt based nanoparticles are widely used in applications such as oxygen reduction reactions, methanol oxidation in polymer electrolyte membrane fuel cells, heterogeneous NO_x reduction, and photocatalytic hydrogen production. In this work, we have modeled and simulated bimetallic CuPt nanoparticles using high power computer system with the frame of genetic algorithm based density functional theory. The stability, structural and electronic properties of the nanoparticles have been studied extensively. The geometry structure of the nanoparticles was modelled. The ability to identify and modify the geometry is important to define the active surface of the material that is designed as a catalyst.

In this study, we have applied the GA-DFT method in all combinations of bimetallic CuPt NPs to calculate the lowest energy structures. The transition from two-dimensional structure to three-dimensional structure was seen at 5 atomic structures. The formation of two-dimensional geometrical structures in 3 and 4 atomic structures

may be due to the strong hybridization of s and d orbitals comin from relativistic effects. As can be seen from Figure 4, Cu elements tend to place at the core position of the structure whereas Pt elements tend to place at the edge positions of the structure. Thus, it can be inferred that the active catalytic site may be Pt surface site if it is used as a larger size CuPt catalitic materials. Due to the structural and stabilized properties of CuPt, we can recommend the use of CuPt as an alternative catalytic material rather than pure Pt NPs to reduce the cost of catalyst production to chemists, material and chemical engineers.

In the next study, we will focus on studying larger sizes of Cu-Pt and various alloying nanoparticles

Keywords: *Nanoparticles; DFT; Density Functional Theory; Bimetallic; Catalytic Materials; Genetic Algorithm.*



Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı PI-PD ile Twin Rotor Denetimi

Cuma Anıl TAKEŞ*

Diyarbakır Sosyal Güvenlik İl Müdürlüğü, İnşaat-Emlak Kontrol Şefliği, Diyarbakır
cumaaniltakes@gmail.com, Tel: (412) 224 39 35 (1379)

Fadi ALYOUSSEF

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280
eng.fadialyousef@hotmail.com, Tel: (412) 241 10 00 (3508)

İbrahim KAYA

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280
ikaya@dicle.edu.tr, Tel: (412) 241 10 00 (3508)

Geliş: 03.04.2019, Kabul Tarihi: 20.05.2019

Öz

Bu çalışmada, helikopter sistemleri ve son zamanlarda üzerinde oldukça sık çalışılan drone sisteminin temeli olan Twin Rotor MIMO Sistem (TRMS)'nin kontrolü üzerinde çalışılmıştır. TRMS kontrol alanında kullanılan temel sistemler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, günlük hayatta sağlık, askeri, ulaşım, yangın anında yangına müdahale amacıyla kullanılan helikopterler bu amaçlarla kullanılırken bir yerden başka bir yere ulaşması anında havada belli bir irtifada iken ve kalkış ve iniş anında içerisinde bulunan bireylerin ve taşınan önemli ekipmanların zarar görmemesi için kontrol işlemlerinin çok iyi yapılması ve istenilen kontrol sinyaline sistem cevabının oldukça hızlı olması gerekmektedir. Sistem cevabındaki aksaklıklar ve denetleyicinin istenilen şekilde çalışmaması hava araçlarında kazalara ve böylece can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilir. Literatürde TRMS'nin denetimi çoğunlukla PID denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak PID denetleyiciler açık çevrim kararlı sistemler hariç yetersiz performans gösterebilmektedir. PI-PD denetleyiciler ise, PID denetleyicilerin yetersiz kaldığı durumlarda, çok daha iyi performans verebilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada TRMS'nin kontrolü PI-PD denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve PID denetleyicilerden daha iyi kapalı çevrim cevaplar elde edildiği benzetim ve gerçek zamanlı uygulama ile gösterilmiştir. Hem PID hem de PI-PD denetleyicinin ayar parametreleri Parçacık Sürü Optimizasyonu ile ISTE kriterine göre hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PID, PI-PD, TRMS, MIMO, PSO (Particle Swarm Optimization), Kararsız Sistemler

* Yazışmaların yapılacağı yazar:

DOI: 10.24012/dumf.548629

Giriş

Bu çalışmada literatürde üzerinde sık sık çalışılan, Çok Girişli-Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) bir sistem olan Feedback firmasının üretmiş olduğu Twin Rotor Multi-Input Multi-Output (MIMO) Sistemin (TRMS)denetimi üzerinde çalışılmıştır (Feedback Instruments Ltd.). Twin rotor karmaşık bir sistem olan helikopter sistemlerinin basitleştirilmiş bir modelidir.

Literatürde TRMS ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışma yayınlanmıştır. Juang, Lin ve Liu (2008) var olan klasik kontrol tasarımları ile akıllı kontrol tasarımlarının TRMS denetimindeki kıyaslamasını vermiştir. Ramalakshmi ve Manoharan (2012) çalışmalarında TRMS'nin Simülasyon ortamında PID denetleyici ile kontrolü üzerinde çalışmışlardır.

Mahmoud, Marhaban ve Hong (2009) ANFIS (Uyarlamalı Sinirsel Çıkarım Sistemi) ve FSCM (Bulanık Eksiltici Kümeleme Yöntemiyle) ile tasarlanmış FLC (Bulanık Mantık Kontrolör) ile TRMS'nin kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Liu ve Juang (2009) tek nöron PID kontrolörü kullanarak Twin Rotor'u kontrol etmişlerdir. Toha vd.(2009) TRMS'nin dinamik yayılma faktörlü Parçacık Sürü Optimizasyona dayanarak parametrik modelleme yaklaşımını çalışmışlardır. Subudhi ve Jena (2009) Twin Rotor Sisteminin Nöral ağ yaklaşımıyla sistem tanımlamasını ele almışlardır. Toha ve Tokhi (2010) çalışmalarında TRMS modellemesini ANFIS-PSO kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayırıştırma Modelleme ve Optimal kontrol önermesini yapan Wen ve Li (2011) TRMS'nin bu yöntemle kontrolünü sağlamışlardır. Pratap (2012) TRMS'nin denetimini Nöro Kayma Kipli denetleyici ile denetlemeye dönük bir çalışma yapmıştır. Allouani, Boukhetala, Boudjema (2012) TRMS ile ilgili Merkezless Bulanık Kaydırma Modu kontrolünün (FSMC) kayan yüzey sabitleri PSO üyelik fonksiyonları yardımıyla optimizasyonu üzerinde üzerinde çalışmışlardır. Silva vd. (2014) Twin Rotor Mimo Sistem Modellemesi için eNFN (Gelişen

Sinirsel Bulanık Ağ) yaklaşımı kullanmışlardır. Biswas vd. (2014) PSO tabanlı PID ile Twin Rotor Mimo Sisteminin kontrolünü çalışmışlardır. Deniz vd. (2015) yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları ile TRMS'nin kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Saha ve Chakraborty (2016) yaptıkları çalışmada TRMS için Genetik tabanlı I-PD kontrolör tasarlayarak denetim yapmışlardır. TRMS modellemesinin genetik algoritma yardımıyla yapıldığı bir çalışma Huu ve Ismail (2016) tarafından verilmiştir. Pandey, Dey ve Banerjee (2017) Kharitonow kararlılık teoremiyle tasarladıkları PID ile TRMS kontrolünü çalışmışlardır. Bouarroudj vd. (2017) TRMS'nin kontrolü için merkezi olmayan bir bulanık mantık kayma modu (DFLSM) stratejisine dayanan değişken yapıli denetleyicinin optimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Neeraj ve Seema (2018) TRMS'nin kontrolüne ilişkin PSO, SFPSO (Dinamik Yayılma Faktörlü PSO) ve NMS (Nelder Mead Simplex) PSO optimizasyonları arasında en iyi kontrolörü bulma üzerinde karşılaştırmalar yapmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Parçacık Sürü Optimizasyonu kısmında bu optimizasyonla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Twin Rotor MIMO Sistemin yapısı ve modellenmesi kısmında Twin Rotorun Yapısı ve yapılan modelleme işlemi verilmiştir. PI-PD Denetleyiciler kısmında PI-PD denetleyicilerle ilgili temel bilgiler verilmiştir. PI-PD ve PID Denetleyici Ayar Parametrelerinin Hesaplanması kısmında PSO ile tasarımı yapılan PI-PD ve PID ayar parametreleri verilmiştir. Sonuçlar kısmında, Twin Rotor sisteminin gerçek zamanda ve simülasyon ortamındaki PI-PD ve PID ile denetim uygulama sonuçlarına ait grafikler verilmiştir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu sürü halinde hareket eden hareket eden balık, karınca, arı, böcek ve kuşlardan yola çıkılarak Kenedy ve Eberhart (1995) tarafından tasarlanan bir optimizasyon yöntemidir.

PSO sürü mantığını temel alan bir algoritmadır. Sürü mantığı ile davranan sürü üyesi hayvanlar; yiyecek, güvenlik, uygun sıcaklık, yaşam alanı, iklim ve ekosisteme uygun yaşam gibi durumlara, zamanlarının büyük çoğunluğunda rastgele sergiledikleri hareketler ile ulaşırlar. Yukarıda bahsedilen durumlara, sürü üyesi hayvanların sürü mantığı ile daha kolay ulaştıkları yapılan incelemeler sonucunda anlaşılmıştır (Kenedy ve Eberhart, 1995).

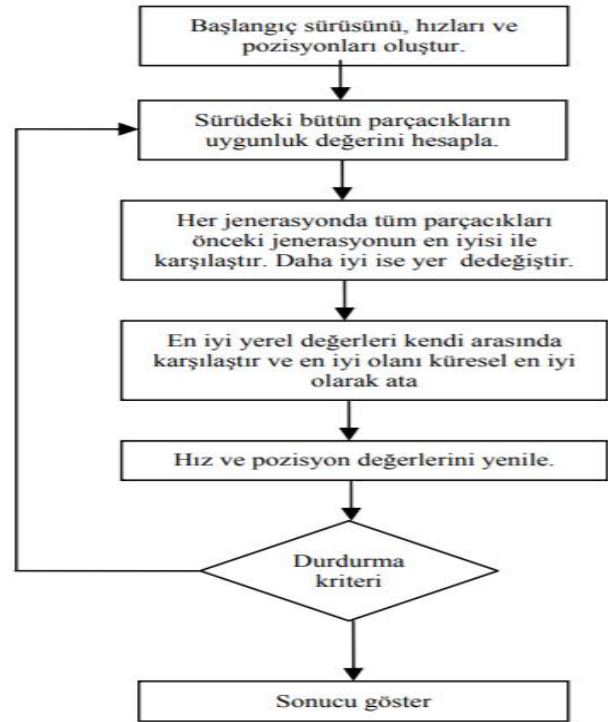
Parçacık Sürü Optimizasyonu; sürüye ait her bir bireyin bir sonraki bireye bilgi aktarması esasına dayanır. Bu durum, bir bireyin sürünün tamamını etkileyerek istenen amaca daha kolay ulaşılmasını sağladığı görülmüştür (Kenedy ve Eberhart, 1995).

Bu optimizasyonun amacı sürü bireyleri içerisinde şartları en iyi olan bireyin yerinin tespit edilerek diğer bireylerin de (parçacık) o yöne doğru hareketinin sağlanmasıdır. Parçacıklar bulunan bir önceki en iyi konumundan daha iyi en iyi şartlara sahip bir konum bulunduğunda sürü hareketi o yöne doğru kaydırılır ve böylece bu döngü sürü içerisindeki birey sayısı ve her bireyin yapması gereken tekrar sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder (Kenedy ve Eberhart, 1995).

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur (Kenedy ve Eberhart, 1995):

- 1) Rastgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- 2) Sürü içerisindeki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır.
- 3) Her birey için işlem görülen jenerasyondan yereldeki mevcut en iyi birey bulunur. Sürü içerisindeki en iyilerin sayısı parçacık sayısı ile aynıdır.
- 4) O anda işlem görülen jenerasyondaki yerel mevcut en iyi bireyler içerisinde küresel en iyi global en iyi birey seçilir.
- 5) Pozisyon ve hızlar yenilenir.

Parçacık sürü optimizasyonu temel döngüsü Şekil 1'de verilmiştir (Kenedy ve Eberhart, 1995).



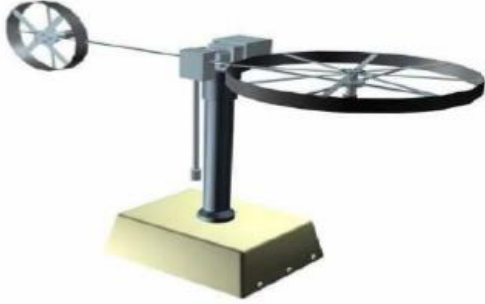
Şekil 1. Parçacık Sürü Optimizasyonu temel döngüsü.

Twin Rotor MIMO Sistem ve Modellenmesi

TRMS, ana rotor ve kuyruk rotor olmak üzere iki adet rotora sahiptir; ana rotor sistemin dikey yön hareketini sağlarken kuyruk rotoru ise yatay yön hareketini sağlamaktadır. Sahip olduğu bu yapı helikopter sistemi çalışma prensiplerine benzer şekilde çalışmaktadır, fakat helikopter ile mukayese edilince bazı önemli sadeleştirmeler yapıldığı gözlemlenir. TRMS'de dört ana donanım vardır: bunlardan ilk ikisi aktif kısımları oluşturan ve yukarı-aşağı hareketi sağlayan ana rotor (pitch rotor) ile sağa-sola hareketi sağlayan kuyruk rotor (yaw rotor) parçalarıdır. Üçüncü ve dördüncü kısımlar ise, kontrol edilmesi gereken aktif kısımların hareketi sırasında sistemin dengede kalmasını sağlayan karşı ağırlık (counterbalance) ve rotorların düşey ve yatay yönde hareketini sağlayan mili tutan gövde kısmıdır. TRMS iki

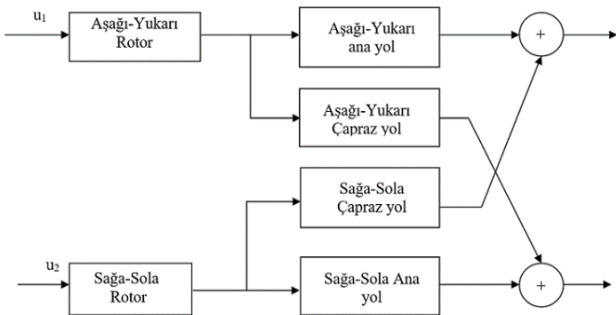
adet giriş (rotorlara verilen gerilimler) ve 2 adet çıkış (dikey-yatay açı ve açısal hız) ile kontrol edilir (Feedback Instruments Ltd.).

Denetimi üzerinde çalışılan Feedback firmasının TRMS mekanik ünitesi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Feedback Firmasına ait TRMS mekanik ünite

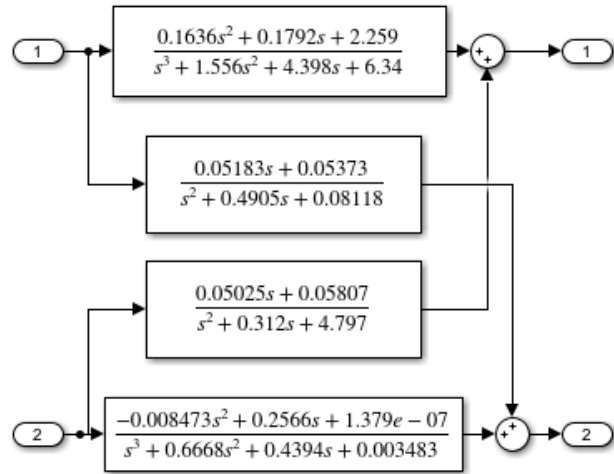
TRMS’nin Şekil 2’de verilen mekanik ünitesinin blok diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. TRMS'nin basitleştirilmiş sistem şeması

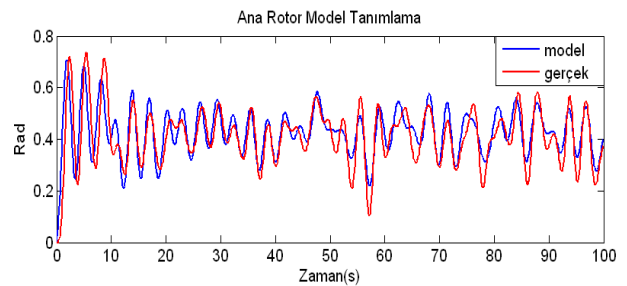
TRMS deney seti içerisinde bulunan PIC 1711 kurulum CD’si içinde yer alan 33-949 TRMS Simulink Models Programı ve Matlab/Simulink Identification Toolbox yardımıyla sisteme ait modelleme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler yapılırken sistemi en iyi ifade eden transfer fonksiyonunu bulmak için tanımlama işlemi bir çok kez tekrarlanmıştır. Sistem tanımlama işlemi sırasında ana rotor, kuyruk rotor tanımlamaları yapıldıktan sonra çapraz yöndeki hareketler olan çapraz kuyruk ve çapraz ana rotor tanımlamaları yapılmıştır. Tanımlama işlemleri sonucunda bulunan transfer

fonksiyonları Şekil 4’te yer alan TRMS blok diyagramında gösterilmiştir. Transfer fonksiyonunda yer alacak sıfır ve kutup sayıları denem ve yanılma ile belirlenip elde edilen tranfer fonksiyonları ile gerçek sistem çıkışları karşılaştırılmış ve en iy cevap elde edilene kadar denemeler tekrarlanmıştır.



Şekil 4. TRMS blok diyagramı

Bulunan transfer fonksiyonunun gerçek sistemi modelleme düzeyi incelenirken farklı genlik ve farklı frekanslardaki sinüzoidal sinyallerden oluşan girişler elde edilen transfer fonksiyonu ile verilen model ve gerçek sisteme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

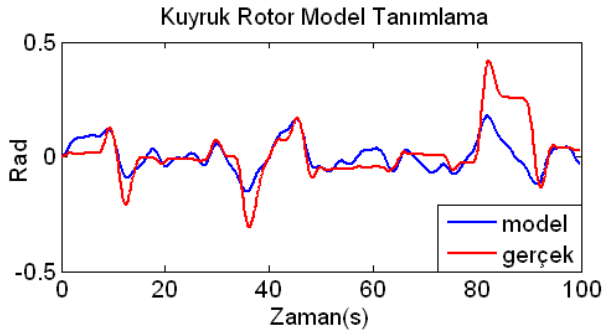


Şekil 5. Ana rotor model çıkış sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Şekil 5’te, farklı genlik ve frekanslardaki sinüzoidal sinyallerden oluşan girişin, ana rotor için bulunan transfer fonksiyonu ile gerçek sisteme uygulanması ile elde edilen çıkış

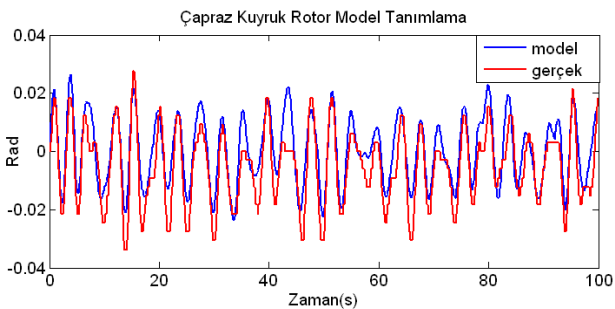
sinyalinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden, elde edilen model ile gerçek sistem çıkışlarının birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmektedir.

Kuyruk rotor için elde edilen transfer fonksiyonu ile gerçek sistemin çıkış sinyalinin karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden, elde edilen transfer fonksiyon modeli ile gerçek sistem çıkışlarının birbirleriyle yeterince uyumlu oldukları görülmektedir.

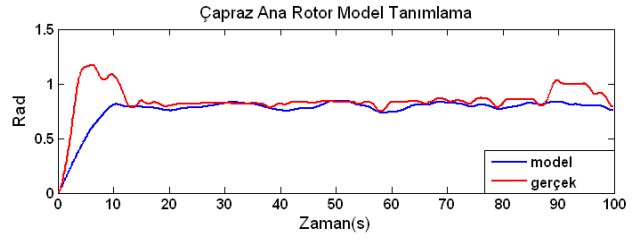


Şekil 6. Kuyruk rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Elde edilen çapraz yol kuyruk açısı ile çapraz yol ana rotor transfer fonksiyonlarının sistemi modellemedeki yeterlilikleri, sırasıyla, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Her iki şekilden, elde edilen çapraz yol kuyruk açısı ile çapraz yol ana rotor transfer fonksiyonlarının çıkışlarının gerçek sistem çıkışları ile oldukça iyi bir şekilde örtüşükleri görülmektedir.



Şekil 7. Çapraz-kuyruk rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

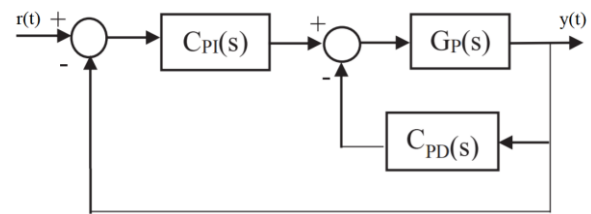


Şekil 8. Çapraz-ana rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Sonuç olarak, Feedback Inc. firmasının TRMS deney setini modellemek için elde edilen transfer fonksiyonlarının sistemi kontrol etme amaçlı olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

PI-PD Denetleyici

Geleneksel PID kontrol algoritmasında oransal, integral ve türev ileri yol üzerinde yer almaktadır. PID denetleyici yapısında ileri yol üzerindeki türev alıcı türev tepmesi olarak adlandırılan ve uygulamada istenmeyen bir olguya yol açabilir. Ayrıca, iç geri besleme döngüsüne eklenen PD denetleyici kararlı bir sistemi kararlı hale getirmede kullanılabilir ve ileri yolda yer alan PI denetleyici ile daha etkin bir kontrol gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla, bu çalışmada, PI-PD yapısı ile TRMS'nin gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. PI-PD denetleyici yapısı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. PI-PD denetleyici kontrol yapısı

Bu yapıda, $G_P(s)$ kontrol edilen sistemin transfer fonksiyonu, $C_{PI}(s)$ ve $C_{PD}(s)$, sırasıyla, PI ve PD denetleyici transfer fonksiyonlarını ifade etmektedir. Aşağıdaki bağıntılarda, sırasıyla, PI ve PD denetleyicilere ait ideal transfer fonksiyonları verilmiştir.

$$G_{PI}(s) = K_c (1 + 1/T_i s) \quad (1)$$

$$G_{PD}(s) = K_f (1 + T_f s) \quad (2)$$

PI-PD ve PID Denetleyici Ayar Parametrelerinin Hesaplanması

Sistem tanımlama işlemlerinden sonra PI-PD ayar parametrelerinin PSO yardımıyla bulunması üzerinde çalışılmıştır. Bu ayar parametreleri bulunurken sürü içerisindeki birey sayısı 80, iterasyon sayısı 550, eylemsizlik momentumu 0.9, kavrama parametresi 0.12 ve sosyal parametre ise 1.2 olarak kullanılmıştır. PSO algoritmasında amaç fonksiyonu olarak ISTE (Integral Squared Time Error) kriteri kullanılmıştır:

$$ISTE = \int_0^{\infty} t^2 e(t)^2 dt \quad (3)$$

Ana rotor ve kuyruk rotorun denetimini sağlayacak 2 adet PI-PD denetleyicinin ayar parametreleri olan K_{c1} , T_{i1} , K_{f1} , T_{f1} , K_{c2} , T_{i2} , K_{f2} , T_{f2} için 8 adet bilinmeyen sayısı kullanılarak PSO algoritması Matlab üzerinde çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucu bulunan her iki PI-PD denetleyiciye ait ayar parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda, PSO algoritmasının denetleyicilere ait ayar parametrelerinin arama uzayı da verilmiştir.

Tasarlanan PI-PD denetleyicilerin performansı, hem ana rotor hem de kuyruk rotor denetiminde kullanılan ve transfer fonksiyonu $G_c(s) = K_p + K_i/s + K_d s$ ile verilen PID denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Adil bir karşılaştırma için, PI-PD optimizasyonunda kullanılan PSO parametrelerinin aynıları PID optimizasyonunda da kullanılmıştır. Ana rotor ve kuyruk rotorun denetimini sağlayacak 2 adet PID denetleyicinin ayar parametreleri olan K_{p1} , K_{i1} , K_{d1} , K_{p2} , K_{i2} , K_{d2} için 6 adet bilinmeyen sayısı kullanılarak PSO algoritması Matlab üzerinde çalıştırılmıştır. Hesaplanan ayar parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo, ayar parametrelerinin arama uzayını da vermektedir.

Sonuçlar

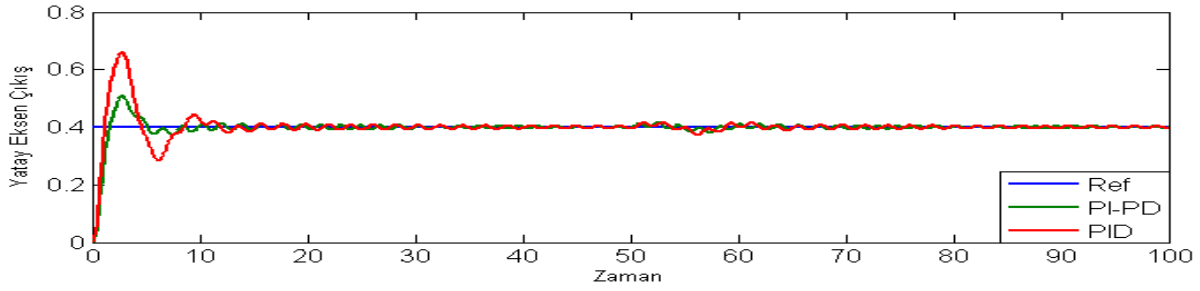
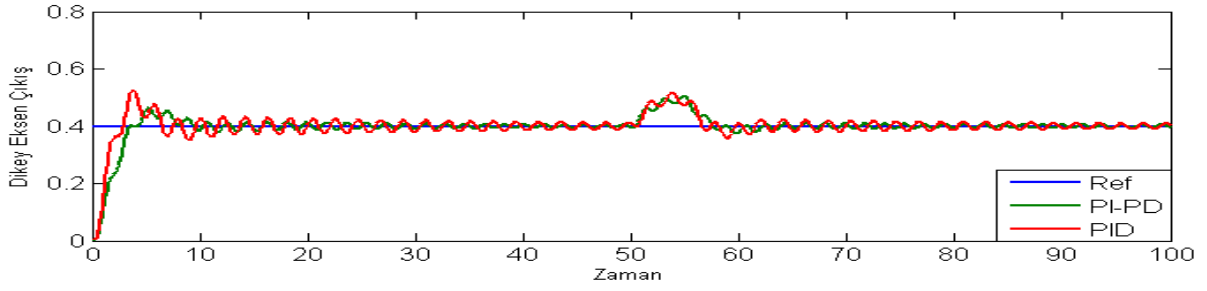
Hesaplanan denetleyici ayar parametreleri kullanılarak Twin Rotor Sistemi hem simülasyon hem de sistem üzerinde gerçek zamanlı çalıştırılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. PI-PD ile PID denetleyici performansları karşılaştırıldığında, PI-PD denetleyicinin PID denetleyiciye göre daha az aşım verdiği hem simülasyon hem de gerçek zamanlı uygulamadan görülmektedir. Yine, PI-PD denetleyici ile sistem cevabının daha kısa zamanda oturduğu gözlenmektedir. Şekillerde, TRMS kontrol sistemine $t=50$ s’de ana rotora 0.08 radyanlık bir bozucu sinyalin uygulanmasına karşılık PID ve PI-PD denetleyicilerin performansları da verilmiştir. Bozucu sinyalin 0.08 radyan seçilmesinde, sistemin giriş geriliminin -2.5 V ve +2.5 V sınırlarında çalışma şartları göz önüne alınmış ve deney setinin çalışma şartlarından daha yüksek gerilim oluşmasıyla zarar görmesinin önüne geçilmiştir. Bozucu sinyallerin etkisinin bastırılmasında PID ve PI-PD denetleyicilerin birbirine yakın performans sergiledikleri gözlenmektedir.

Tablo 1.PI-PD denetleyici ayar parametreleri

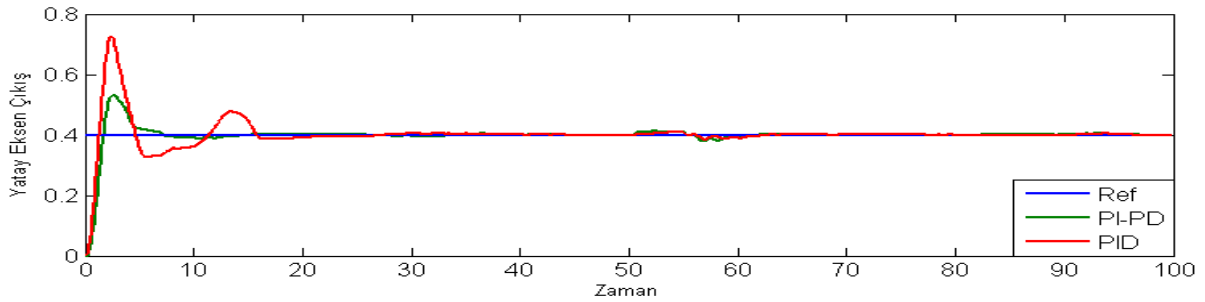
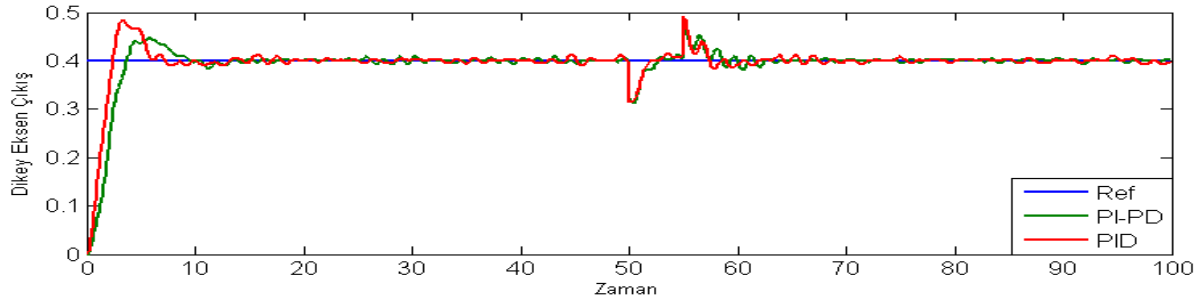
Parametreler		En İyi Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikey Rotor	K_{c1}	1.56	0.01	5.0
	T_i	0.6	0.01	5.0
	K_f	1.46	0.01	5.0
	T_f	3.26	0.01	5.0
Yatay Rotor	K_c	3.07	0.01	5.0
	T_i	0.71	0.01	5.0
	K_f	3.20	0.01	5.0
	T_f	1.25	0.01	5.0

Tablo 2.PID denetleyici ayar parametreleri

Parametreler		En İyi Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikey Rotor	K_p	2.06	0.01	5.0
	K_i	3.21	0.01	5.0
	K_d	3.23	0.01	5.0
Yatay Rotor	K_p	4.79	0.01	5.0
	K_i	4.58	0.01	5.0
	K_d	4.70	0.01	5.0



Şekil:10 Simülasyon Ortamı Dikey ve Yatay Eksen Çıkışları



Şekil:11 Gerçek Zaman Ortamı Dikey ve Yatay Eksen Çıkışları

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından MÜHENDİSLİK.18.004 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Allouani, F., Boukhetala, D., & Boudjema, F. (2012). Particle swarm optimization based fuzzy sliding mode controller for the Twin Rotor MIMO system. *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference -*

- MELECON*, 1063–1066.
- Biswas, P., Maiti, R., Kolay, A., Das Sharma, K., & Sarkar, G. (2014). PSO based PID controller design for twin rotor MIMO system. *International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, CIEC 2014*, 56–60.
- Bouarroudj, N., Djari, A., Boukhetala, D., & Boudjema, F. (2017). Tuning of decentralized fuzzy logic sliding mode controller using PSO algorithm for nonlinear Twin Rotor MIMO System. *2017 6th International Conference on Systems and Control, ICSC 2017*, 45–50.
- Dang Huu, T., & Ismail, I. B. (2016). Modelling of Twin Rotor MIMO system. *2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*, 1–6.
- Deniz, M., Bidikli, B., Bayrak, A., Ozdemirel, B., & Tatlicioglu, E. (2015). Modelling twin rotor system with artificial neural networks | Cift Rotorlu Sistemin Yapay Sinir Aglarl Ile Modellenmesi. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2015 - Proceedings*, 0–3.
- Figure, P. C., Yang, X., Cui, J., Lao, D., Li, D., Chen, J., ... Bonvin, D. (2017). Twin Rotor MIMO System Control Experiments. *ISA Transactions*.
- Juang, J. G., Lin, R. W., & Liu, W. K. (2008). Comparison of classical control and intelligent control for a MIMO system. *Applied Mathematics and Computation*.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks Vol. IV: 1942–1948*.
- Liu, T. K., & Juang, J. G. (2009). A single neuron PID control for twin rotor MIMO system. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 186–191.
- Mahmoud, T. S., Marhaban, M. H., Hong, T. S., & Ng, S. (2009). ANFIS controller with fuzzy subtractive clustering method to reduce coupling effects in Twin Rotor MIMO system (TRMS) with less memory and time usage. *Proceedings - International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2009*, 19–23.
- Neeraj, P. J., & Seema, P. N. (2018). Control of Twin Rotor MIMO System Using Cross PID Control Technique. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2018*.
- Pandey, S. K., Dey, J., & Banerjee, S. (2017). Design and real-time implementation of robust PID controller for Twin Rotor MIMO System (TRMS) based on Kharitonov's theorem. *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016*, 1–6.
- Pratap, B. (2012). Neuro sliding mode controller for twin rotor control system. *2012 Students Conference on Engineering and Systems, SCES 2012*, 9–13.
- Ramalakshmi, S., & Manoharan, S. (2012). Non-linear Modeling and PID Control of Twin Rotor MIMO System of Electrical & Electronics Engineering, Thiagarajar College of Engineering, Madurai. *IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, (978), 366–369.
- Saha, A., & Chakraborty, S. (2016). Genetic algorithm based I-PD controller design for Twin Rotor MIMO system. *2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, CIEC 2016*.
- Silva, A., Caminhas, W., Lemos, A., & Gomide, F. (2015). Real-time nonlinear modeling of a twin rotor MIMO system using evolving neuro-fuzzy network. *IEEE SSCI 2014 - 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence - CICA 2014: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation, Proceedings*.
- Subudhi, B., & Jena, D. (2009). Nonlinear system identification of a twin rotor MIMO system. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 1–6.
- Toha, S. F., Abd Latiff, I., Mohamad, M., & Tokhi, M. O. (2009). Parametric modelling of a TRMS using dynamic spread factor particle swarm optimisation. *11th International Conference on Computer Modelling and Simulation, UKSim 2009*.
- Toha, S. F., & Tokhi, M. O. (2010). ANFIS modelling of a twin rotor system using particle swarm optimisation and RLS. *2010 IEEE 9th International Conference on Cybernetic Intelligent Systems, CIS 2010*.
- Wen, P., & Li, Y. (2011). Twin rotor system modeling, de-coupling and optimal control. *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011*, 1839–1842.

Partical Swarm Optimization based PI-PD Control of a Twin Rotor

Extended Abstract

As it is known, the helicopters are used for many daily life applications such as health, military, transportation and firefighting. In fact, the response of control system has to be very fast to meet the requirements of high performance. Otherwise, a weakly designed control system can lead to accidents of the helicopter and thus loss of life and property.

In this paper, PSO based PI-PD was designed for controlling pitch and yaw angles of Twin Rotor MIMO System (TRMS). TRMS is a nonlinear dynamic which is similar to a helicopter system. In fact, TRMS has two rotors located on the both ends of a beam known as pitch rotor and yaw rotor. The two rotors are led by two DC motors which are equipped with two tachometers for measuring the speed of DC motors. A tower is also used for carrying the mechanical components. As well, I/O card is used for applying control signals on the TRMS and receives the measured signals. Two inputs, represent the position of beam, are used for controlling the pitch and yaw angles. The feedback position of the beam was provided by two incremental encoders.

As it was mentioned before, TRMS has a nonlinear dynamic with cross couplings between the rotors which complicates the control process and makes the controller design a difficult task. To address this problem, simple and linear transfer functions modeling the system were identified in order to compute both PID and PI-PD controllers' tuning parameters. Four transfer functions, corresponding to pitch dynamic, yaw dynamic, cross pitch dynamic, cross yaw dynamic, were identified. First, the pitch dynamic was identified by applying a sine excitation signal, as an input, to excite the pitch dynamic. Then the output, which represents the measured pitch angle, was measured. Next, the input and output were exported to Matlab Identification Toolbox which was used to get the transfer function of pitch dynamic. The numerator and denominator degree of pitch transfer function were determined by trial and error. Following, the identified pitch transfer function was experimentally tested by applying a sine excitation signal as an input to both the pitch transfer function and real time TRMS set up

simultaneously and comparing their output. Similarly, the process was repeated for identifying the other transfer functions. Finally, the identified transfer functions were used for computing the controllers' tuning parameters.

In the literature, TRMS control system was mostly carried out by using PID controller because of its simplicity. However, it has been reported that PID controller can perform poorly in several cases, such transfer functions with unstable poles. Whereas PI-PD controllers can provide better results when PID controller is insufficient. Therefore, PI-PD controller was suggested to control the TRMS system to improve its performance. PI-PD controllers were designed based on Particle Swarm Optimization (PSO) which is easy to implement. For a fair comparison, PID controllers were also designed by PSO. Performance of designed PID and PI-PD controllers were tested both in simulation and real time experiments. The simulation and real time results show that a better closed-loop response can be achieved with PI-PD controllers when compared to PID controllers.

Keywords: PID, PI-PD, TRMS, MIMO, PSO Particle Swarm Optimization, Nonlinear Systems, Proportional, Integral, Derivative, Multi-Input Multi-Output Systems

Radio Frequency Energy Harvesting with Frequency 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 7 May 2019
Revised 31 May 2019
Accepted 2 June 2019
Available online 19 June 2019

Keywords: Radio frequency,
Energy harvesting, Measurement,
Frequency shift keying

ABSTRACT

Radio Frequency (RF) energy harvesting is a promising alternative energy source to provide power for low power electronic devices through the air. RF energy harvesting technologies are used in many application fields such as building automation, industrial monitoring, data center, security and defense.

In this study, effects of frequency shift keying modulation technique on charging times of RF energy harvesting were measured and investigated in detail. An advanced measurement system was established and this measurement system was performed using an RF energy harvesting circuit, a signal generator, patch antennas and other equipment. The modulated signal at 14 dBm output power was generated by signal generator. Then, the energy produced by the signal generator was obtained from 20 cm to 60 cm at the interval of 5 cm distance by the RF energy harvesting circuit with 6 dBi patch antenna. According to measurement results, the shortest charging time was calculated as 1 s at a distance of 20 cm. In addition to that, the longest charging time was calculated as 7 s at a distance of 60 cm. It was determined that the charging time of the RF energy harvesting decreased as the distance between signal generator and RF energy harvesting circuit reduced.

Doi: 10.24012/dumf.561336

Introduction

There are many kinds of energy sources such as solar, mechanical vibrations, thermal gradients and electromagnetic waves in nature. A Radio Frequency (RF) energy harvesting technology is a promising alternative energy source to feed low power electronic devices through the air. Due to the increase in the number of low power electronic devices in the ambient environment, it is hoped that this technology will be widely used in future.

Measurement of power densities of the electromagnetic waves is important for efficient RF energy harvesting. There are

many studies on this subject in the literature [1]–[9]. The operating frequency of an RF energy harvesting circuit should be designed according to the most powerful frequency band in the environment. Thus, maximum efficiency can be obtained.

Various studies on RF energy harvesting exist in the literature [10]–[23]. An RF energy harvesting circuit generally consists of antenna and matching circuit, rectifier, voltage multiplier and energy storage equipment. RF energy harvesting circuit can be designed and implemented as single band, double band, multi band or broad band. Using

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

the multi band RF energy harvesting circuit, more energy may be harvested when it is compared to single band.

The capacitor on the RF energy harvesting circuit can be charged with the power of the modulated signal. The power of the modulated signal varies by the distance between signal generator and RF energy harvesting circuit. For that reason, charging times of the RF energy harvesting change according to the distances.

In this paper, it was aimed to measure and analyze the effects of Frequency Shift Keying (FSK) modulation technique on charging times of the RF energy harvesting. The measurement data such as distance and charging times were shown in a table. Moreover, the effects of FSK on charging times of the RF energy harvesting versus the distances were depicted on the graph.

Materials and Methods

In this section, charging times of RF energy harvesting were measured at different distances. Besides, measurement system and collection of the measurement results were explained in detail.

Measurement system

The measurement system consists of Universal Software Radio Peripheral (USRP) -2900 Software Defined Radio from National Instruments [24], P2110 Powerharvester module from Powercast Company [25], WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board, XLP 16-bit Development Board and PICtail Daughter Card and Patch Antennas. In Figure 1, all measurement devices are depicted.

FSK is a modulation technique that represents digital data (binary 1 or 0) as variations in frequency of a carrier signal. In this study, 8-FSK was used as a modulated signal and it has totally 1 MHz bandwidth. In addition to that, Pseudo Noise (PN) sequence order was chosen as 10. NI USRP-2900 was used to generate FSK modulated signals at 915 MHz carrier frequency. Output power of NI USRP-2900 was set to 14 dBm. Then, the modulated signal was transmitted through the air to the RF energy harvesting module. As seen in Figure 1, patch antennas which has two layers and 6 dBi gain were used as both a receiver and a transmitter antenna [26]. Charging times of RF energy harvesting from 20 cm to 60 cm at the interval of 5 cm were measured and recorded, respectively.

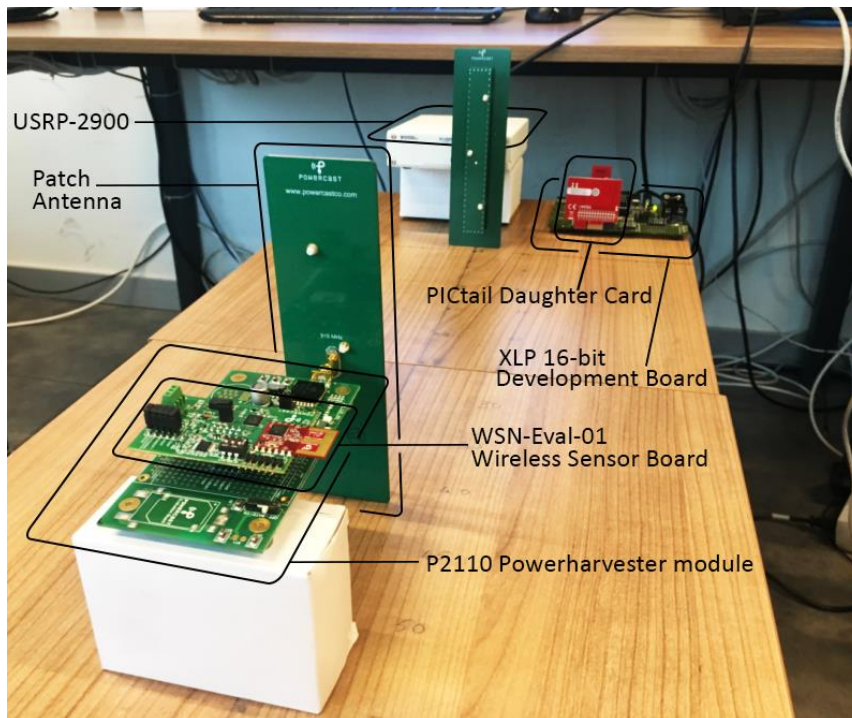


Figure 1. Measurement System

P2110 Powerharvester module allows efficient energy harvesting between 902 MHz and 928 MHz RF band. This energy harvester can collect power down to -11.5 dBm received input power. Furthermore, WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board can sense temperature, humidity and light. As seen in Figure 1, WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board was plugged into the P2110 Powerharvester module and it sends the data such as temperature, humidity, light, Received Signal Strength Indicator (RSSI), Node and Transmitter (TX) ID to the access point.

XLP 16-bit Development Board contains Microchip's PIC24F Micro Controller Unit (MCU) and it can obtain data wirelessly up to 8 Node IDs at the same time. Moreover, it maintains time counter for each Node ID. As shown in Figure 1, PICtail Daughter Card was attached into the XLP 16-bit Development Board and it was used as an access point which has 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 radio module. PICtail Daughter Card obtains the data through the air from WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board.

Collection of data

As soon as the P2110 Powerharvester module stores sufficient power, it will provide the required power for the WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board. Then, the WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board will send the temperature, humidity, light, RSSI, Node and TX ID (data from Wireless Sensor Board as seen in Figure 2) to the access point.

XLP 16-bit Development Board was connected to a computer with a cable. As seen in Figure 2, the data obtained from the XLP 16-bit Development Board was shown via HyperTerminal. HyperTerminal should be set as baud rate: 19200, flow control: hardware, data bits: 8 bits, parity and none stop bits: 1 bit.

Results and Discussions

The NI USRP-2900 generates the FSK modulated signals. The received power levels of the modulated signals vary according to the distance. Therefore, the charging time of the P2110 Powerharvester module varies according to each distance. So, the shorter the distance the faster the charging time will be.

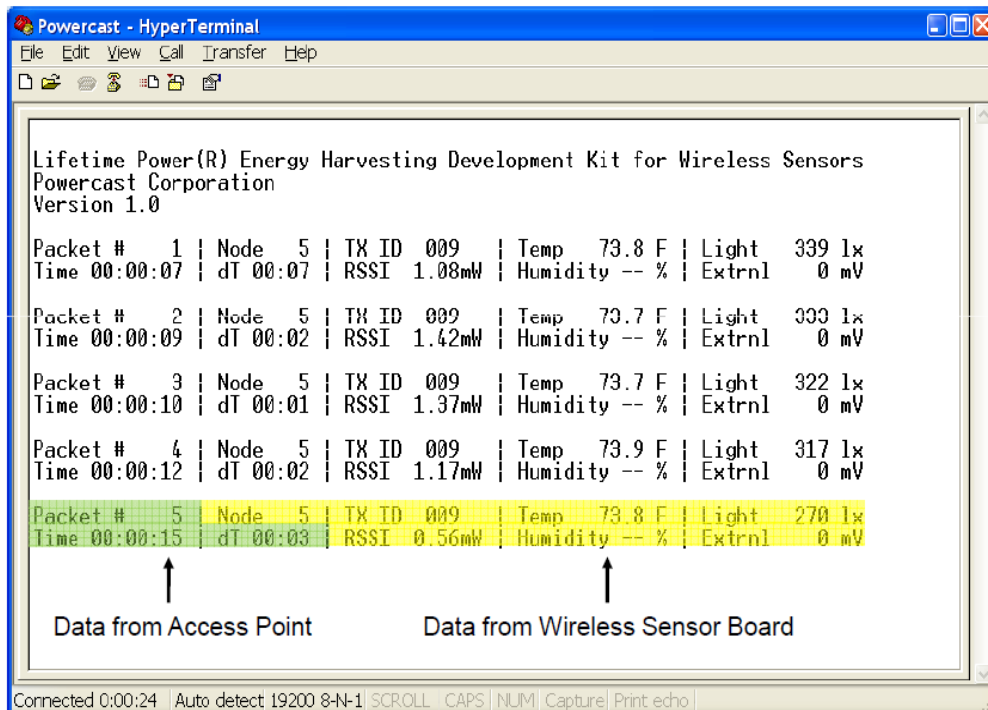


Figure 2. Obtaining data via HyperTerminal [26]

The time difference between the consecutive packets was calculated as charging time for RF energy harvesting. In this study, for each distance from 20 cm to 60 cm at the interval of 5 cm, 100 packets were obtained, recorded and then, evaluated as measurement samples. 100 samples for each distance and totally 900 samples were measured for FSK modulation technique. The unit of distance is centimeter (cm) and the unit of the charging time is second (s) as shown in Table 1.

Table 1: Distance versus charging time for FSK

Distance (cm)	FSK (s)
20	1.00
25	1.57
30	1.95
35	2.30
40	3.12
45	3.79
50	4.47
55	6.05
60	7.00

Table 1 shows the charging times according to the distance. The shortest charging time was measured as 1.00 s at a distance of 20 cm. Besides, the longest charging time was measured as 7.00 s at a distance of 60 cm.

In order to illustrate more clearly, the charging times of the RF energy harvesting with FSK were shown on the graph. As the distance increases, the charging time also increases as depicted in Figure 3. From 20 cm to 60 cm at the interval of 5 cm, the FSK modulation technique performed the best charging time at a distance of 20 cm and the worst charging time at a distance of 60 cm.

Conclusions

Recently, rapid advances in RF energy harvesting technology have been observed. It is estimated that this technology will be used more widely in the future practical applications.

In order to measure the charging times of the RF energy harvesting with FSK modulated signal, an advanced measurement system was established. The advanced measurement system consisted of NI USRP-2900, P2110 Powerharvester module, WSN-Eval-01 Wireless Sensor Board, XLP 16-bit Development Board, PICtail Daughter Card and Patch Antennas.

According to the measurement results, the shortest charging time was measured as 1.00 s at a distance of 20 cm and the longest charging time was measured as 7.00 s at a distance of 60 cm. It was determined that as the distance decreased, the charging time of RF energy harvesting reduced.

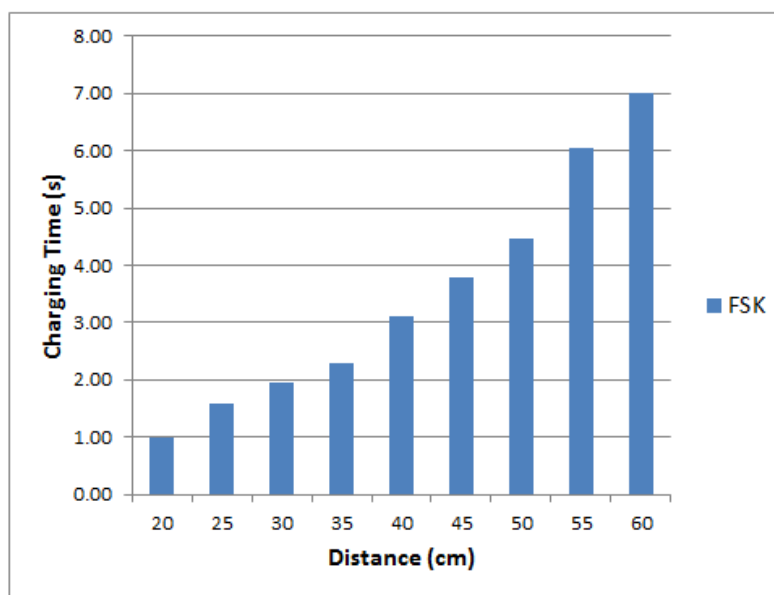


Figure 3. Charging times of RF energy harvesting versus distances for FSK

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] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 63, pp. 309–321, 2015.
- [5] 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.*, no. October, pp. 1–5, Nov. 2016.
- [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] L. Verloock, W. Joseph, F. Goeminne, L. Martens, M. Verlaek, and K. Constandt, "Temporal 24-hour assessment of radio frequency exposure in schools and homes," *Measurement*, vol. 56, pp. 50–57, 2014.
- [8] 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.
- [9] P. Ancey, "Ambient functionality in MIMOSA from technology to services," in *Proceedings of the 2005 joint conference on Smart objects and ambient intelligence innovative context-aware services: usages and technologies - sOc-EUSAI '05*, 2005, no. october, p. 35.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [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. Tjhuis, "Multi-band simultaneous radio frequency energy harvesting," *Antennas Propag.*, no. Eucap, pp. 3058–3061, 2013.
- [14] C. Song *et al.*, "Matching Network Elimination in Broadband Rectennas for High-Efficiency Wireless Power Transfer and Energy Harvesting," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 5, pp. 3950–3961, May 2017.

- [15] C. Song, Y. Huang, S. Member, J. Zhou, J. Zhang, and S. Yuan, "A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting A High-efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting," vol. 63, no. MAY, pp. 3486–3495, 2015.
- [16] M. Cansiz, D. Altinel, and G. K. Kurt, "Efficiency in RF energy harvesting systems: A comprehensive review," *Energy*, vol. 174, pp. 292–309, 2019.
- [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] 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.
- [19] 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.
- [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] 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.
- [22] 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.
- [23] U. Olgun, C.-C. Chen, and J. L. Volakis, "Wireless power harvesting with planar rectennas for 2.45 GHz RFIDs," in *2010 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory*, 2010, pp. 329–331.
- [24] National Instruments, "www.ni.com/en-us.html." .
- [25] Powercast Corporation, "www.powercastco.com." .
- [26] Powercast, "P2110-EVAL-01 User's Manual."



Kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli sistemler için optimal PI denetleyici tasarımı

Hayriye CENGİZ*

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, 21280, Diyarbakır, Türkiye, hayriye.cengiz1@saglik.gov.tr ORCID: 0000-0002-0712-1572, Tel: (412) 228 69 94 (127)

İbrahim KAYA

*Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
ikaya@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-8393-1358, Tel: (412) 241 10 00 (3507)*

Geliş: 15.05.2019, Kabul Tarihi: 10.06.2019

Öz

PID tip denetleyiciler endüstriyel uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu denetleyicilerin ayar parametrelerini belirlemek için literatürde birçok tasarım yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. İntegral performans indeksi PID tip denetleyicilerin ayar parametrelerini belirlemede sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan biridir. Bu çalışmada, kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçleri denetlemede kullanılacak optimal PI parametrelerini veren analitik denklemlerin türetilmesi verilmiştir. Bu amaçla, kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçleri tanımlayan bir model varsayılmış ve kontrol yapısının hata fonksiyonu üzerinde tekrarlanan optimizasyon işlemleri ile süreç transfer fonksiyonu parametreleri ile PI denetleyici parametreleri arasındaki ilişkiyi veren analitik denklemler $ISTE$, IST^2E ve IST^3E integral performans kriterlerine dayalı olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kararlı Süreçler, Ters Cevaplı Süreçler, Zaman Gecikmesi, PI Controller, İntegral Performans Kriteri

* Yazışmaların yapılacağı yazar:

Giriş

Modern kontrol teknolojisinde yaşanan büyük gelişmelere rağmen PID tip denetleyiciler günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu denetleyicilerin yaygın olarak kullanılmasının nedenleri arasında yapılarının bilinmesi ve basit olması, çok farklı süreçler için iyi sonuçlar verebilmesi, ayar parametrelerinin basitçe elde edilebilmeleri sayılabilir. Dolayısıyla, geçtiğimiz 50 yılda araştırmacılar tarafından yoğun ilgi gören bu denetleyiciler için ayar parametrelerini bulmak için birçok ayar yöntemleri geliştirilmiştir.

İntegral performans kriteri ile PID denetleyicilerin ayar parametrelerini belirlemek için iyi bilinen yaklaşımdandır. Literatürde, integral performans kriterini kullanarak PID denetleyicilerin optimum ayar parametrelerini bulan bir çok çalışma bulunmaktadır. Zhuang ve Atherton (1993) açık çevrim kararlı süreçler için birinci derece artı zaman gecikmeli model kullanarak ISE, ISTE ve IST^2E integral performans kriterlerine dayanan optimum PID ayar parametrelerini belirlemiştir. Kaya (2001) açık çevrim kararlı birinci derece ve ikinci derece artı zaman gecikmeli transfer fonksiyon modelleri kullanarak Smith öngörücü yapısındaki PID denetleyiciler için basit ayar kurallarını vermiştir. Bu kuralları elde ederken zaman ağırlıklı integral performans kriterlerini (ISTE ve IST^2E) kullanmıştır. Visoli (2001) integratörlü ve açık çevrim kararsız artı zaman gecikmeli süreçler için ISE, ITSE ve ISTE integral performans kriterlerine dayalı PID denetleyiciler için ayar parametrelerini veren bağıntılar belirlemiştir. Ali ve Majhi (2011) integratörlü süreçleri denetlemek için PI/PID denetleyicilerin ayar parametrelerini ISTE, IST^2E ve IST^3E performans kriterlerine dayalı olarak veren analitik denklemler elde etmişlerdir. Kaya (2018b) integratörlü artı zaman gecikmeli süreçleri kontrol etmek için I-PD yapısını kullanmış ve ISTE ve IST^2E integral performans kriterlerini kullanarak denetleyici ayar parametrelerini veren analitik bağıntılar sağlamıştır.

Basamak girişe karşı önce kalıcı durum

değerinin tersi yönde bir cevap veren süreçler ters cevaplı olarak adlandırılırlar. Ters cevaplı süreçler yaygın olarak kimyasal süreçlerde bulunurlar. Transfer fonksiyonunda ters cevaba neden olan pozitif bir sıfırı bulunan süreçlerin denetimine olan ilgi son yıllarda artmıştır. Camacho (1999) ters cevaplı kimyasal süreçlerin denetimi için değişken kontrol yapısını uygulamıştır. Luyben (2000) kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçlerin denetiminde PI denetleyici için yeni bir tasarım yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin kısıtlılığı zaman gecikmesinin 3.2 den küçük olması gerekmesidir. Luyben (2003) integratörlü ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Chien ve ark. (2003) tarafından kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli ve transfer fonksiyonunda kararlı bir sıfır içeren süreçler için direkt denetleyici sentez metodunu kullanarak PID denetleyicilerin tasarımını önermişlerdir. Jeng ve Lin (2012) kararlı/integratörlü ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçleri kontrol etmek için Smith öngörücü yapısına benzer bir yapı kullanarak ters cevaba neden olan terimleri yok etmeyi önermişlerdir. Kaya ve Cengiz (2017) integratörlü ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçlerin ISTE ve IST^2E integral performans kriterlerine dayalı PI ve PID denetleyiciler için optimum ayarlama kuralları belirlemiştir. Kaya (2018a) integratörlü ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçleri kontrol etmek için denetleyicilerin ayar parametrelerini hesaplamada standart formların kullanımı önermiştir.

Bu makalede, kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçlerin denetimini sağlamak üzere ISTE, IST^2E ve IST^3E integral performans kriterlerine dayalı PI denetleyici tasarımına olanak veren optimum analitik bağıntıların türetilmesi verilmektedir. Denetleyici ve süreç model transfer fonksiyonu parametreleri arasındaki ilişkileri elde etmek için hata sinyali ISTE, IST^2E ve IST^3E cinsinden minimize edilmiştir. Bu işlem farklı normalize edilmiş zaman gecikmesi aralığı $0.1 \leq \theta/T \leq 3$ için tekrarlanmıştır. Önerilen tasarım yönteminin

kullanımını benzetim sonuçları ile ortaya konmuştur.

İntegral Performans Kriteri

İntegral performans kriterleri ile PID denetleyicilerin ayar parametrelerinin hesaplanması en iyi bilinen yaklaşımlardan biridir. Örneğin Chen (1993) ve Dorf ve Bishop (1995) yazdıkları ders kitaplarında bu konuya ait bölümler ayırmışlardır.

Doğrusal sistemler için Åström (1970) tarafından önerilen algoritma sayesinde, günümüzde ISE (Integral of Squared Error) veya bunun türevleri kriterler (ISTE, IST²E ve IST³E gibi) kolaylıkla ve hatasız olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, Åström (1970) tarafından önerilen algoritmaya ile optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

ISE kriterinin zaman alanında hesaplanması

$$J_0 = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (2)$$

ile verilmektedir. Bu integral s-düzleminde

$$J_0 = \frac{1}{2\pi j} \int_0^{\infty} E(s)E(-s)ds \quad (3)$$

ile ifade edilir. Burada $E(s)=B(s)/A(s)$ olarak $A(s)$ ve $B(s)$ polinomları ise,

$$A(s) = a_0s^m + a_1s^{m-1} + \dots + a_{m-1}s + a_m \quad (4)$$

$$B(s) = b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Performans indeksi

$$J_n = \int_0^{\infty} \left[t^n e(t) \right]^2 dt \quad (6)$$

ile verilen zaman ağırlıklı hatanın karesinin integrali $L\{tf(t)\} = -dF(s)/ds$ kullanılarak hesaplanabilir. Burada L Laplace dönüşümünü ve $L\{f(t)\} = F(s)$ 'i gösterir. $n=0$ ISE kriterine karşılık gelmekte olup, zaman faktörü içermediğinden tüm hataları eşit bir şekilde değerlendirdiğinden bu kriterle elde edilen

basamak cevapları salınımlı olmaktadır. Bu çalışmada $n=1$, $n=2$ ve $n=3$ 'e karşılık gelen ISTE, IST²E ve IST³E kriterleri kullanılarak kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçler için optimal PI denetleyici kuralları elde edilmiştir.

PI Denetleyici Tasarımı

Kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli sürecin

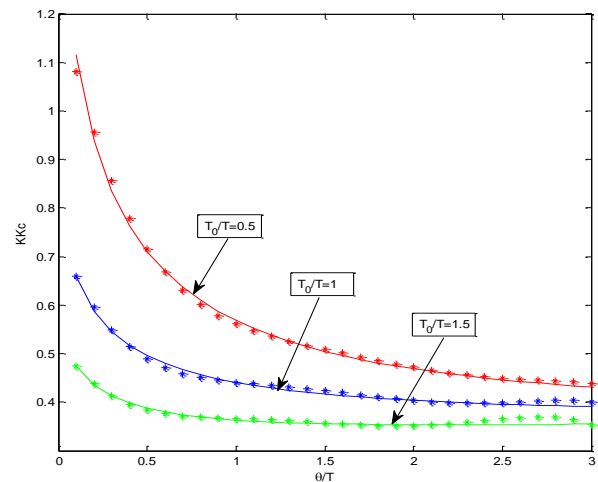
$$G(s) = \frac{K(-T_0s+1)e^{-\theta s}}{(Ts+1)} \quad (7)$$

transfer fonksiyonu ile modellenen transfer fonksiyonu ile modellenebildiği varsayılmıştır. İdeal PI denetleyici transfer fonksiyonu

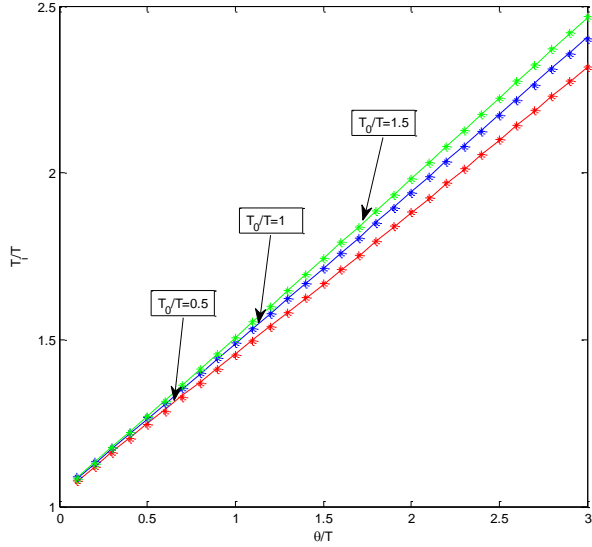
$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (8)$$

ile verilmektedir. Klasik geribesleme kontrol döngüsüne ait hata fonksiyonunda (7) ve (8) nolu denklemler kullanılarak ve ISTE, IST²E ve IST³E integral performans kriterlerine dayanan optimizasyonlar gerçekleştirilerek sabit bir T_0/T değeri için değişen θ/T değerine karşılık gelen KK_c ve T_i/T değerleri elde edilebilir.

Buna göre, ISTE kriteri için sabit bir T_0/T değerinde θ/T 'nin değişen değerlerine karşılık gelen KK_c ve T_i/T grafikleri, sırasıyla, Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. $0.1 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için KK_c değerleri



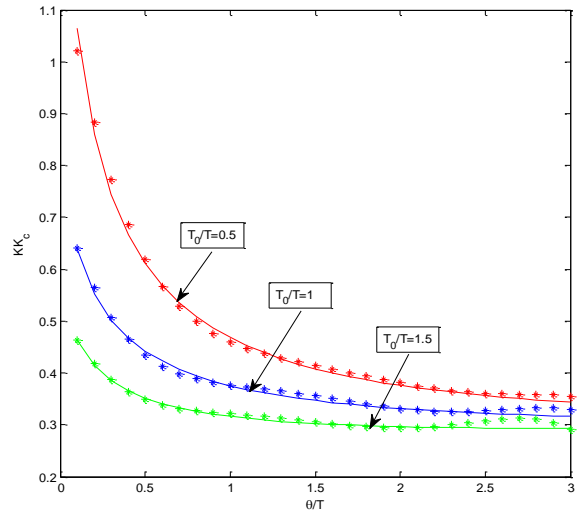
Şekil 2. $0.1 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için T_i/T değerleri

Şekil 1 ve Şekil 2'deki yıldızlar ISTE kriterine göre optimizasyondan elde edilen değerlere karşılık gelmektedir. Bu değerlere eğri uydurma metodu ile aşağıda verilen formüller elde edilmiştir. Bu formüller ile edilen değerler Şekil 1 ve Şekil 2'de düz çizgiler ile verilmektedir.

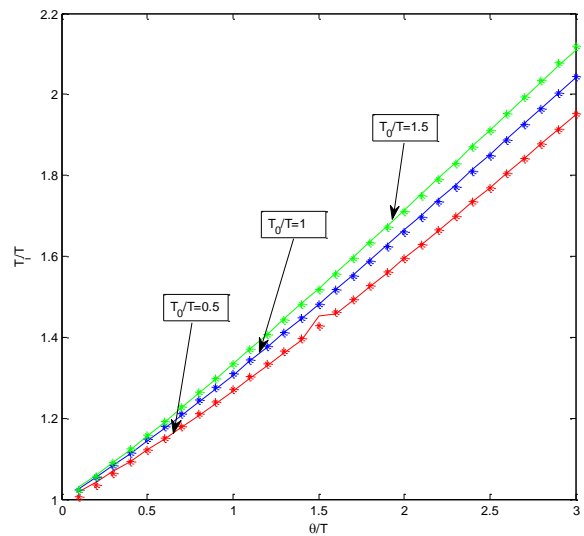
$$\begin{aligned}
 KK_c = & 1.997 - 2.836 \left(\frac{\theta}{T} \right) - 1.8 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 2.433 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 + 2.69 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.5447 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 - 1.093 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \\
 & - 1.675 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T} \right) - 0.7823 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \\
 & + 0.2481 \left(\frac{\theta}{T} \right)^4 + 0.4509 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.3936 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 - 0.02264 \left(\frac{\theta}{T} \right)^5 \\
 & - 0.04224 \left(\frac{\theta}{T} \right)^4 \left(\frac{T_0}{T} \right) - 0.06507 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{T_i}{T} = & 1.01 + 0.3889 \left(\frac{\theta}{T} \right) + 0.07086 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.004438 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 + 0.05028 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (10) \\
 & - 0.03538 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2
 \end{aligned}$$

Benzer şekilde, IST²E kriteri için sabit bir T_0/T değerinde θ/T 'nin değişen değerlerine karşılık gelen KK_c ve T_i/T grafikleri, sırasıyla, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. $0.1 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için KK_c değerleri



Şekil 4. $0.1 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için T_i/T değerleri

IST²E integral performans kriterinin kullanılması ile elde edilen formüller (11) ve (12) nolu denklemlerde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 KK_c = & 1.889 - 3.085 \left(\frac{\theta}{T} \right) - 1.631 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 2.786 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 + 2.723 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.4809 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 - 1.287 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \\
 & - 1.8 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T} \right) - 0.7543 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \\
 & + 0.2967 \left(\frac{\theta}{T} \right)^4 + 0.5049 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.3973 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 - 0.02725 \left(\frac{\theta}{T} \right)^5 - \\
 & 0.04925 \left(\frac{\theta}{T} \right)^4 \left(\frac{T_0}{T} \right) - 0.06726 \left(\frac{\theta}{T} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \quad (11)
 \end{aligned}$$

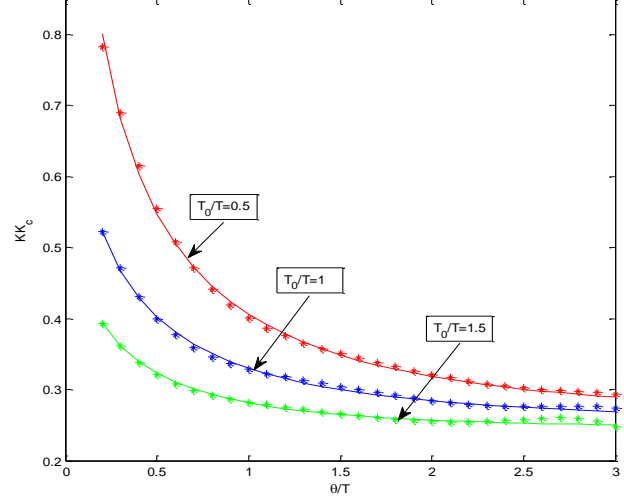
$$\begin{aligned}
 \frac{T_i}{T} = & 0.9498 + 0.2505 \left(\frac{\theta}{T} \right) + 0.07313 \left(\frac{T_0}{T} \right) \\
 & + 0.01593 \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 + 0.05206 \left(\frac{\theta}{T} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (12) \\
 & - 0.03081 \left(\frac{T_0}{T} \right)^2
 \end{aligned}$$

Son olarak, sabit bir T_0/T değerinde θ/T 'nin değişen değerlerine karşılık gelen KK_c ve T_i/T grafikleri, sırasıyla, Şekil 5 ve Şekil 6'da IST³E kriteri için verilmiştir.

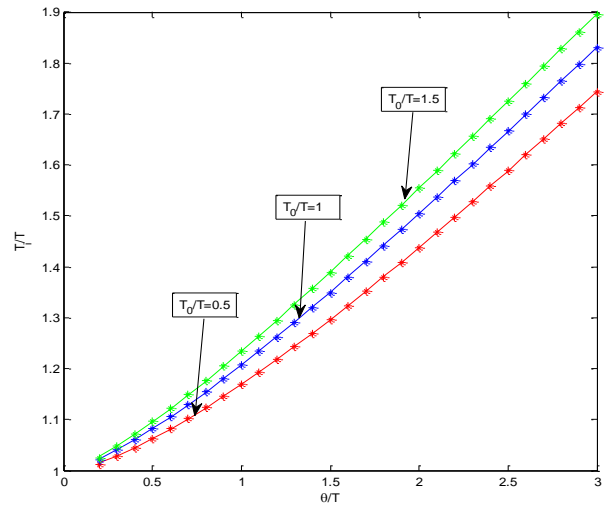
Şekil 5 ve Şekil 6'ya eğri uydurma metotunu uygulanması ile IST³E integral performans kriterine dayalı türetilen formüller (11) ve (12) nolu denklemlerde verilmiştir.

Sonuç olarak, kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli bir süreç (7) nolu denklemdeki transfer fonksiyonu ile modellendiğinde, (9) ve (10) nolu denklemler kullanılarak IST³E kriterine dayalı optimum PI ayar parametreleri, (11) ve

(12) nolu denklemler kullanılarak IST²E kriterine dayalı optimum PI ayar parametreleri ve (13) ve (14) nolu denklemler kullanılarak IST³E kriterine dayalı optimum PI ayar parametreleri hesaplanabilir.



Şekil 5. $0.2 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için KK_c değerleri



Şekil 6. $0.2 \leq \theta/T \leq 3$ aralığı için T_i/T değerleri

Benzetim Sonuçları

Bu bölümde, PI denetleyici için elde edilen optimum analitik denklemlerin kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçlerin denetimindeki kullanımı benzetim sonuçları ile verilecektir. Birinci örnek, IST²E ve IST³E kriterlerinin kullanılması ile tasarlanan PI denetleyicilerin kapalı çevrim performanslarını karşılaştırmaktadır. İkinci örnek ise, farklı

T_0/T ve θ/T oranları için tasarlanan PI denetleyicilerin performansları analiz edilmiştir.

$$\begin{aligned}
KK_c = & 1.574 - 2.375\left(\frac{\theta}{T}\right) - 1.257\left(\frac{T_0}{T}\right) \\
& + 1.994\left(\frac{\theta}{T}\right)^2 + 1.968\left(\frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{T_0}{T}\right) \\
& + 0.3553\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 0.8682\left(\frac{\theta}{T}\right)^3 \\
& - 1.233\left(\frac{\theta}{T}\right)^2\left(\frac{T_0}{T}\right) - 0.5242\left(\frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \\
& + 0.1906\left(\frac{\theta}{T}\right)^4 + 0.3325\left(\frac{\theta}{T}\right)^3\left(\frac{T_0}{T}\right) \\
& + 0.2632\left(\frac{\theta}{T}\right)^2\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 0.01681\left(\frac{\theta}{T}\right)^5 - \\
& 0.03148\left(\frac{\theta}{T}\right)^4\left(\frac{T_0}{T}\right) - 0.04307\left(\frac{\theta}{T}\right)^3\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \quad (13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{T_i}{T} = & 0.9792 + 0.07932\left(\frac{\theta}{T}\right) + 0.014\left(\frac{T_0}{T}\right) \\
& + 0.07069\left(\frac{\theta}{T}\right)^2 + 0.0999\left(\frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{T_0}{T}\right) \\
& - 0.008092\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 0.008138\left(\frac{\theta}{T}\right)^3 - \\
& 0.008009\left(\frac{\theta}{T}\right)^2\left(\frac{T_0}{T}\right) - 0.01228\left(\frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \quad (14)
\end{aligned}$$

Örnek 1: Açık çevrim transfer fonksiyonu $G(s) = (-s+1)e^{-0.5s}/(s+1)$ ile verilen ters cevaplı süreç transfer fonksiyonunu ele alınsın. Bu süreç transfer fonksiyonu için $\theta/T=0.5$ ve $T_0/T=1$ olarak verilmektedir. Bir önceki bölümde ISTE, IST²E ve IST³E integral performans kriterlerine dayanan (9)-(10), (11)-(12) ve (13)-(14) nolu bağıntıların kullanılması ile hesaplanan optimum PI denetleyici ayar parametreleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Örnek 1 için hesaplanan optimum PI denetleyici ayar parametreleri

Optimizasyon Kriteri	K_c	T_i
ISTE	0.4892	1.2661
IST ² E	0.4350	1.1473
IST ³ E	0.3998	1.0832

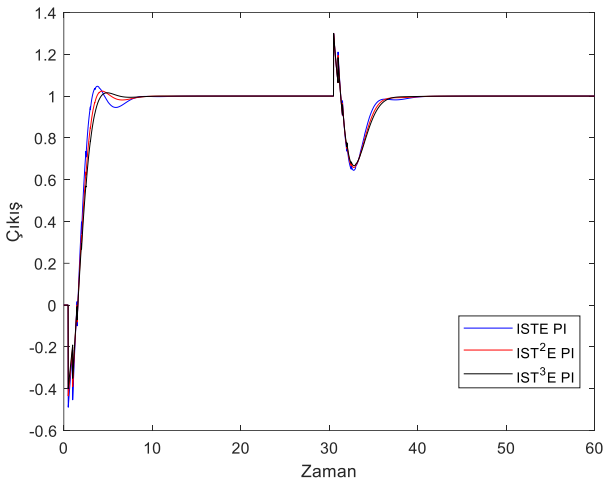
Birim basamak giriş ve $t=15$ saniyede sisteme ilave edilen ve -0.1 büyüklüğündeki bozucu giriş için kapalı çevrim cevapları Şekil 7’de gösterilmiştir. IST³E kriterine dayalı tasarlanan PI denetleyicinin basamak giriş cevabının ISTE ve IST²E kriterlerine dayalı tasarlanan PI denetleyicilerden çok az da olsa daha iyi bir cevap verdiği gözlenmektedir. Tasarlanan ISTE, IST²E ve IST³E kriterlerine dayanan PI denetleyicilerin bozucu girişi bastırmadaki etkilerinin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Süreç model transfer fonksiyonu parametreleri θ , K , T ve T_0 değerlerinin %20 artığının ve %20 azaldığının varsayılmasıyla elde edilen birim basamak referans ve bozucu giriş, sırasıyla, Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 7 ile karşılaştırıldığında, süreç model transfer fonksiyonu parametrelerindeki artma yönündeki bir değişimin, kapalı çevrim referans takip cevaplarında aşımın artmasına ve bozucu girişi bastırma zamanının hafif artmasına neden olduğu görülmektedir. Süreç model transfer fonksiyonu parametrelerindeki azalma yönündeki bir değişimin ise, kapalı çevrim cevaplarında hem referans girişi takipte hem de bozucu girişi bastırmada çok az bir yavaşlamaya sebep olduğu gözlenmektedir.

ISTE, IST²E ve IST³E integral performans kriterlerine dayalı tasarlanan PI denetleyicilerin kapalı çevrim performans değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Tabloda yer alan TV (toplam varyasyon) değeri $TV = \sum_{i=1}^{\infty} |u_{i+1} - u_i|$ ile verilmektedir (Skogestad 2003) ve küçük TV değeri bir sinyalin daha düzgün ve daha az osilasyonlu olduğuna işaret eder (Skogestad 2003). Tablodan, ISE ve IAE değerlerinin tüm tasarımlar için birbirine çok yakın olmasına

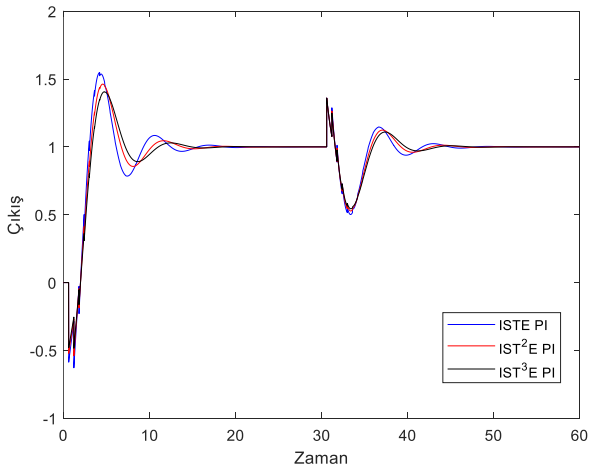
rağmen, en küçük değerlerin ISTE kriterine dayalı olarak tasarlanan PI denetleyici ile elde edilmektedir. En küçük TV değeri ise IST³E kriterine dayalı olarak tasarlanan PI denetleyici ile verilmektedir.

Tablo 2. Örnek 1 için hesaplanan performans değerleri

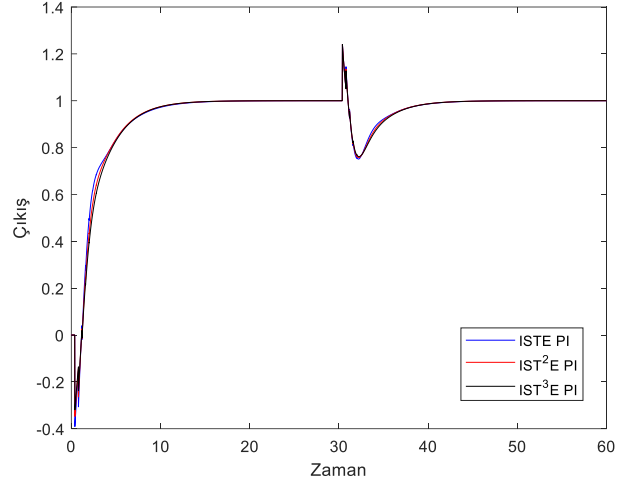
Denetleyici	ISE	IAE	TV
ISTE PI	2.8693	3.6786	0.0038
IST ² E PI	2.8766	3.7036	0.0031
IST ³ E PI	2.8963	3.7855	0.0027



Şekil 7. Önerilen tasarım yöntemleri için birim basamak referans ve bozucu giriş cevapları



Şekil 8. Model parametrelerindeki +%20 değişim için birim basamak referans ve bozucu giriş cevapları



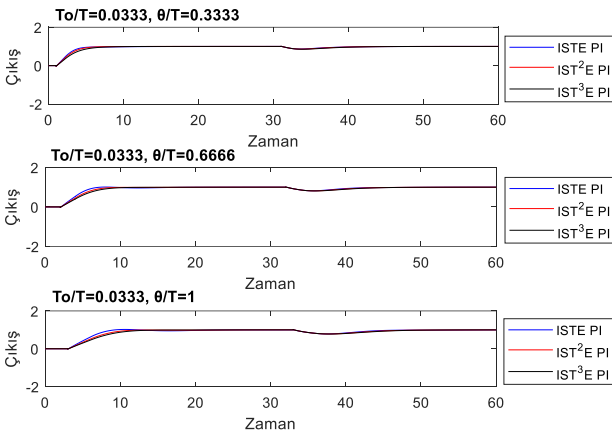
Şekil 9. Model parametrelerindeki -%20 değişim için birim basamak referans ve bozucu giriş cevapları

Örnek 2: Bu örnek farklı θ/T ve T_0/T oranları için önerilen denetleyici tasarım metodları ile elde edilen kapalı çevrim cevaplarındaki değişimi incelemek için verilmiştir. Açık çevrim transfer fonksiyonu $G(s) = (T_0s + 1)e^{-\theta s} / (3s + 1)$ ile verilen süreç transfer fonksiyonu ele alınsın.

$T_0/T = 0.1/3 = 0.0333$, $T_0/T = 0.5/3 = 0.1666$ ve $T_0/T = 1/3 = 0.3333$ değerleri için farklı, $\theta/T = 1/3 = 0.3333$, $\theta/T = 2/3 = 0.6666$ ve $\theta/T = 3/3 = 1$ değerleri kontrol tasarımında elde edilen formüller kullanılarak PI denetleyiciler için ISTE, IST²E ve IST³E kriterlerine dayalı optimum ayar parametreleri hesaplanmıştır. Sabit $T_0/T = 0.1/3 = 0.0333$ için farklı θ/T değerleri için hesaplanan K_c ve T_i değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir. PI denetleyici için birim basamak referans girişi ve $t = 100$ saniyede sisteme girdiği varsayılan -0.3 büyüklüğündeki bir bozucu için kapalı çevrim cevapları Şekil 11’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi θ/T değeri arttıkça sistemin cevap hızı yavaşlamaktadır.

Tablo 3. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.0333$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için hesaplanan optimum PI ayar parametreleri

θ/T	Optimizasyon Kriteri	K_c	T_i
0.3333	ISTE	1.2490	3.4290
0.3333	IST ² E	1.0962	3.1141
0.3333	IST3E	0.9500	3.0441
0.6666	ISTE	0.8891	3.8240
0.6666	IST ² E	0.7285	3.3823
0.6666	IST3E	0.6418	3.1909
1	ISTE	0.7140	4.2220
1	IST ² E	0.5641	3.6611
1	IST3E	0.4912	3.3737



Şekil 11. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.0333$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için tasarlanan PI denetleyici ile birim basamak referans ve bozucu giriş cevapları

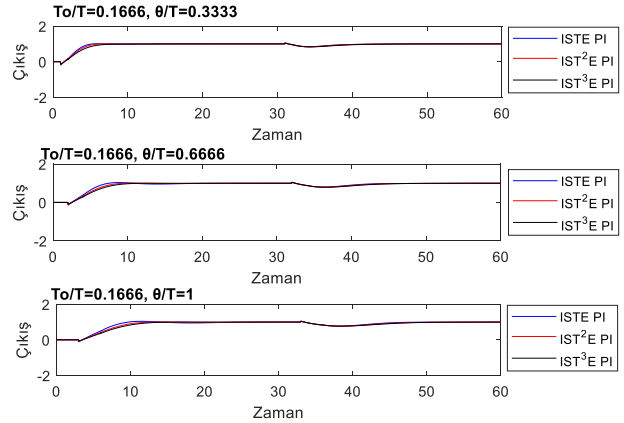
Aynı şekilde $T_0/T = 0.1666$ için farklı θ/T değerleri için hesaplanan ayar parametreleri Tablo 4’te verilmektedir. Bu duruma ait kapalı çevrim cevaplar Şekil 12’de gösterilmiştir. $T_0/T = 0.0333$ de olduğu gibi θ/T değeri arttıkça sistemin cevap hızının yavaşladığı görülmektedir.

Son olarak $T_0/T = 0.3333$ için farklı θ/T değerleri için hesaplanan ayar parametreleri Tablo 5’te özetlenmiştir. Bu duruma ait kapalı çevrim cevaplar Şekil 13’de gösterilmiştir. Daha önceki iki duruma benzer şekilde, θ/T değeri arttıkça sistemin cevap hızının yavaşladığı görülmektedir. Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 karşılaştırıldıklarında, aynı θ/T değerlerinde

T_0/T oranı arttıkça sistemin kapalı çevrim cevabının da yavaşladığı gözlenmektedir.

Tablo 4. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.1666$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için hesaplanan optimum PI ayar parametreleri

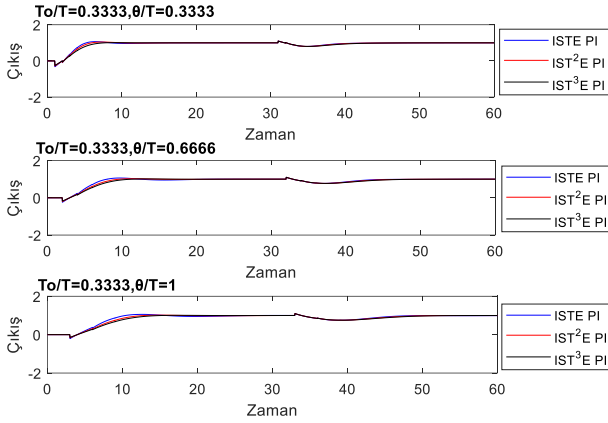
θ/T	Optimizasyon Kriteri	K_c	T_i
0.3333	ISTE	1.1146	3.4612
0.3333	IST ² E	0.9827	3.1478
0.3333	IST3E	0.8587	3.0617
0.6666	ISTE	0.8104	3.8629
0.6666	IST ² E	0.6686	3.4229
0.6666	IST3E	0.5913	3.2204
1	ISTE	0.6662	4.2676
1	IST ² E	0.5319	3.7087
1	IST3E	0.4631	3.4144



Şekil 12. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.1666$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için tasarlanan PI denetleyici ile birim basamak referans ve bozucu giriş cevapları

Tablo 5. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.3333$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için hesaplanan optimum PI ayar parametreleri

θ/T	Optimizasyon Kriteri	K_c	T_i
0.3333	ISTE	0.9628	3.4962
0.3333	IST ² E	0.8544	3.1854
0.3333	IST3E	0.7551	3.0819
0.6666	ISTE	0.7210	3.9063
0.6666	IST ² E	0.6006	3.4692
0.6666	IST3E	0.5337	3.2548
1	ISTE	0.6111	4.3193
1	IST ² E	0.4946	3.7636
1	IST3E	0.4306	3.4623



Şekil 13. Örnek 2 için, sabit $T_0/T = 0.3333$ değerine karşılık farklı θ/T değerleri için tasarlanan PI denetleyici ile birim basamak referans ve bozucu girişi cevapları

Sonuçlar

Endüstriyel uygulamalarda ters cevaplı süreçler ile karşılaşılabilir. Bununla beraber bu tür süreçlerin kontrolü konusunda az sayılabilecek çalışma yapılmıştır. Bu makalede, kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli süreçleri kontrol etmek için ISTE, IST²E ve IST³E integral performans kriterlerine dayalı optimum PI denetleyici ayar parametrelerini hesaplamaya olanak veren bağıntılar elde edilmiştir. Bu amaçla, süreç transfer fonksiyonu ve denetleyici transfer fonksiyonu parametreleri ile normalize edilmiş zaman gecikmesi ve normalize edilmiş sıfır arasındaki ilişkiyi veren grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklere eğri uydurma yaklaşımının uygulanması ile PI denetleyicinin optimum ayar parametrelerinin hesaplanmasına olanak veren analitik bağıntılar türetilmiştir. Elde edilen bağıntıların kullanımı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir. Benzetim sonuçlarında görüldüğü gibi IST³E kriterine dayalı tasarlanan PI denetleyicinin basamak giriş cevaplarının ISTE ve IST²E kriterlerine dayalı tasarlanan PI denetleyicilere göre çok az da olsa daha iyi bir cevap verdiği ve θ/T değeri arttıkça sistemin cevap hızının yavaşladığı ayrıca aynı θ/T değerlerinde T_0/T oranı arttıkça sistemin kapalı çevrim cevabının yavaşladığı gösterilmiştir.

Türetilen denklemlerin gürbüzlüklerini test etmek için model parametrelerinde $\pm 20\%$ değişimler varsayılmış ve tasarlanan mevcut PI denetleyicilerin kontrolü altında kapalı çevrim cevaplar elde edilmiştir. Model parametrelerindeki artış, kapalı çevrim referans takip cevaplarında aşımın artmasına ve bozucu girişi yok etme zamanının hafif artmasına neden olmaktadır. Model parametrelerindeki azalış ise, kapalı çevrim cevaplarında hem referans girişi takipte hem de bozucu girişi yok etmede çok az bir yavaşlamaya sebep olmaktadır.

Kaynaklar

- Aström, K. J. (1970) Introduction to Stochastic Control Theory. Academic Press.
- Ali, A. ve Majhi, S. (2011) 'Integral criteria for optimal tuning of PI/PID controllers for integrating processes', *Asian Journal of Control*, 13(2), pp. 328–337.
- Camacho, O., Rojas, R. ve Garcia, W. (1999) 'Variable structure control applied to chemical processes with inverse response', *ISA Transactions*, 38, pp. 55–72
- Chen, C.-T. (1993) Analog and Digital Control System Design: Transfer-function, State-space, and Algebraic Methods. Saunders College.
- Chien, I.-L., Chung, Y.-C., Chen, B.-S., Chuang, C.-Y. (2003) Simple PID controller tuning method for processes with inverse response plus dead time or large overshoot response plus dead time. *Ind. Eng. Chem. Res.* (42), pp. 4461–4477.
- Dorf, R. C., Bishop, R. H. (1995) Modern Control Systems. Addison-Wesley.
- Jeng, J. C., ve Lin, S. W. (2012) 'Robust proportional-integral-derivative controller design for stable/integrating processes with inverse response and time delay', *Ind. Eng. Chem. Res.* 51(6), pp. 2652–2665.
- Kaya, İ. (2001) 'Tuning Smith predictors using simple formulas derived from optimal responses', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40(12), pp. 2654–2659.
- Kaya, İ., ve Cengiz, H. (2017) 'Optimal Tuning of PI/PID Controllers for Integrating Processes with Inverse Response', *International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2017*, pp. 722–727.
- Kaya, İ. (2018a) 'Controller design for integrating processes with inverse response and dead time based on standard forms', *Electrical Engineering*,

100(3), pp. 2011-2022.

- Luyben, W. L. (2000) 'Tuning proportional-integral controllers for processes with both inverse response and deadtime', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39(4), pp. 973–976.
- Luyben, W. L. (2003) 'Identification and tuning of integrating processes with deadtime and inverse response', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42(13), pp. 3030–3035.
- Shamsuzzoha, M. ve Skogestad, S. (2010) 'The setpoint overshoot method: A simple and fast closed loop approach for PID tuning', *J. Process Control*, 20(10), pp. 1220–1234.
- Skogestad, S. (2003) 'Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning', *J. Process Control*, 13, pp. 291–309.
- Visioli, A. (2001) 'Optimal tuning of PID controllers for integral and unstable processes', *IEE Proceedings Control-Theory and Applications*, 148(2), pp. 180–184.
- Zhuang, M., ve Atherton, D. P. (1993) 'Automatic tuning of optimum PID controllers', *IEE Proceedings-D, Control theory and applications*, 140(3), pp. 216-224.

Optimal PI Controller Design for Controlling Stable Processes with Inverse Response and Dead Time

Extended abstract

PID type controllers are extensively being used in industrial applications. The reasons for the widespread use of these controllers are: 1) their structure well known by engineers 2) they have a simple structure 3) they result in good closed loop results for a wide range of processes that can be encountered in industrial applications. For these reasons, these controllers have been investigated by the researchers for the past 50 years and many tuning methods have been developed.

Integral performance criteria is one of the frequently used approaches to determine the best tuning parameters of PID controllers. In this paper, optimum PI controller tuning formulas are provided control stable processes with inverse response and time delay. For this purpose, transfer function of

$G(s) = K(-T_0s + 1)e^{-\theta s} / (Ts + 1)$ is assumed to model the stable process with inverse response and dead time. Using $\bar{s} = sT$ normalization in both the process and PI controller transfer functions leads to obtaining the error function as a function of KK_c , T_i/T , θ/T and T_0/T . Then repeated optimization was carried out to minimize this error function for different T_0/T values and varying θ/T values for the ISTE, IST^2E and IST^3E integral performance criteria. Obtained results were plotted to give the relationship between process transfer and controller transfer function parameters for a constant value of T_0/T and varying dead time ratio θ/T . Applying the curve fitting approach, analytical expressions allowing to calculate optimum PI controller tuning parameters have been derived.

Simulation results been supplied to see the use of the proposed design method. It has been seen from simulations that PI controller designed based on the IST^3E criterion gives a slightly better response than the PI controllers based on the ISTE and IST^2E criteria. Also, it has been seen that as the θ/T ratio increases, the closed loop response of the system slows down. For a fixed value of and the

θ/T , increasing T_0/T ratio makes the closed loop sluggish as well.

In order to test the robustness of the proposed PI controller design method, $\pm 20\%$ parameter changes in the model parameters were assumed and closed-loop responses were obtained under the control of existing designed PI controllers. A positive change in model parameters results in increased overshoots in the closed loop reference tracking and a slight increase in eliminating the disturbances. On the other hand, a negative change in the model parameters makes the closed loop responses slightly sluggish both for set point tracking and disturbance rejection.

Keywords: Stable processes, Inverse response processes, Time delay, PI controller, Integral performance criteria.



Filtreleme Tabanlı Öznitelik Seçme Yöntemlerinin Anomali Tabanlı Ağ Saldırısı Tespit Sistemlerine Etkisi

Ömer EMHAN*

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
oemhan@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0003-0053-622X

Mehmet AKIN

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
[makn@dicle.edu.tr](mailto:makin@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0001-5439-4824

Geliş: 15.05.2019, Kabul Tarihi: 31.05.2019

Öz

Ağ akış verileri, büyük boyutlu verilerdir ve makine öğrenmesi algoritmaları ile tüm verinin işlenerek anomali tespitinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Ancak, ağ akış verilerini sınıflandırmak için tüm öznitelikler gerekli değildir. Gereksiz öznitelikler işlem yükünü arttırırken, aynı zamanda tespit oranlarını da azaltır. ÖS, veri setini temsil edebilecek en iyi öznitelikleri belirlemeye yarar. Bu bilgiler kapsamında bu çalışmada, filtreleme tabanlı öznitelik seçme (ÖS) yöntemlerinin internet ağlarında anomali tabanlı saldırı tespit sistemlerine (STS) etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada NSLKDD veri kümesi kullanılmıştır. NSLKDD veri kümesindeki KDDTrain20Percent veri kümesi eğitim için, KDDTest veri kümesi test için kullanılmıştır. Böylece farklı bir veri kümesi ile eğitilen sistem farklı bir test kümesi ile test edilerek sistemin güvenilirliği ispatlanmıştır. Veri kümesinde 41 adet öznitelik yer almaktadır. Çalışmada ilk olarak filtreleme tabanlı Bilgi Kazancı, Kazanç Oranı, Simetrik Belirsizlik Katsayısı, Ki-Kare, One-R ve Korelasyon Tabanlı Öznitelik Seçimi yöntemleri ile veri boyutu azaltılmıştır. Her bir öznitelik seçme yönteminde sıralama usulüne göre ilk 8 öznitelik seçilip son veri kümesi olarak sınıflandırıcılara sürülmüştür. Öznitelik vektörleri k-En Yakın Komşuluk (k Nearest Neighbourhood-KNN) ve Rastgele Orman (RO) yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Performans ölçütleri olarak; işlem süresi, doğruluk, pozitif doğru oranı, pozitif yanlış oranı ve ROC (Receiver Operator Characteristic) eğrisi altındaki alan değerleri kullanılmıştır. Sınıflandırıcı açısından, RO yönteminin gerek ham veri kümesi, gerekse 8 öznitelige indirgenmiş veri kümeleriyle elde edilen sonuçlarının KNN yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirilince Bilgi Kazancı, Ki-Kare, One-R yöntemleri ile elde seçilen özniteliklerin RO yöntemi ile sınıflandırılmasının en optimum yöntem olduğu gözlemlenmiş olup ÖS yöntemlerinin STS 'lere olumlu yönde katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağ Saldırısı Tespiti; Filtreleme tabanlı öznitelik seçimi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünya üzerindeki ilk bilgisayarlar arası ağ yapısı 1969'da kurulan Arpanet (Advanced Research Projects Agency Network) ağ yapısıdır ve temel görevi, bağlı olan birkaç üniversitenin ana bilgisayarları arasındaki iletişimin sağlanmasıdır. Böylece farklı fiziksel mekânlardaki bilimsel araştırmacıların bir birleri ile ağ üzerinden dosya paylaşımında bulunmaları imkânlı hale gelmiştir. Ağ teknolojisinin günümüzdeki gibi yaygın kullanılacağı tahmin edilememiş, sistemin güvenliği pek önemsenmemiştir. Ancak bilişim teknolojileri kullanımı hayal edilenin çok ötesinde bir noktaya gelmiş olup bu sistemin güvenliği kritik bir öneme sahip hale gelmiştir. Bilişim teknolojilerinin kullanımı artmasıyla birlikte kötüye kullanım da aynı şekilde artmıştır.

Bilgi güvenliği bilginin gizliliği, güvenilirliği ve hizmetin sürekliliği esas alınarak değerlendirilir. Siber ortamda bilgi güvenliği kimlik doğrulama, anti virüs yazılımları, güvenlik duvarları, saldırı önleme sistemleri gibi mekanizmaların yalnız veya bir arada kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Bu tip güvenlik sistemlerinin koruma yeteneği veri tabanlarının güncelliği ölçüsündedir. Veri tabanlarının önceden hiç görmediği sıfıncı gün saldırıları olarak isimlendirilen saldırıların önlenmesi kural tabanlı sistemlerden ziyade, sistemin hareketlerinin sürekli izlenmesi ve anormal durumların tespit edilmesi ile mümkündür. Bu durum ağ güvenliğini bir sınıflandırma problemine dönüştürür. (Nour M., Jiankun H., Jill S., 2019)

Ağ verileri, büyük boyutlu verilerdir ve makine öğrenmesi algoritmaları ile tüm verinin işlenerek anomali tespitinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. STS 'ler pek çok öznelik içeren büyük miktardaki bu ağ verilerini işler. Ancak, ağ akış verilerini sınıflandırmak için tüm öznelikler gerekli değildir. Gereksiz öznelikler işlem yükünü arttırırken, aynı zamanda tespit oranlarını da azaltır. Öznelik seçimi (ÖS), ağ akış verilerinin tüm özneliklerinden yalnızca önemli olanları veya belirlenenleri bulmak için

kullanılır. Bu sebepten STS 'lerde ağ akış verilerinden değerli özneliklerin seçimi önemli bir konudur (Lee et al. 2012). ÖS yöntemleri genel olarak sarmal yöntemler ve filtreleme tabanlı yöntemler olarak 2 kısımda incelenir. Bu çalışmada 6 farklı filtreleme tabanlı ÖS yöntemi ile veri indirgenmiş ve bu işlemin sistemin başarımına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bazı veri indirgeme yöntemleri, sistemin başarımını az miktarda düşürmüş olsa da veri boyutunun azalmasından dolayı işlem yükünü azaltmış ve işlem süresini kısaltmıştır. Öte yandan bazı veri indirgeme yöntemleri işlem süresini kısaltmakla birlikte sistemin başarımını da arttırmıştır ki bu umut verici bir sonuçtur.

Literatürde ÖS yöntemleriyle yapılan birçok çalışma mevcuttur. Çalışmamızda kullandığımız filtreleme tabanlı ÖS yöntemleri kullanılarak yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Alazab ve ark. (2012) NSL-KDD verilerine bir filtreleme tabanlı ÖS tekniği olan *Bilgi Kazancı* uyguladılar ve toplam öznelik sayısını 41'den 12'ye düşürdüler. Sınıflandırıcı olarak *Karar Ağacı* kullandılar. Özneliklerin azaltılması sonrasında modelin 5 kat daha hızlı sonuç verdiğini tespit ettiler. Ayrıca, sınıflandırma doğruluğu olarak, ROC eğrisi altındaki alan değerleri için 5 farklı saldırı sınıfının ağırlıklı performans ortalaması göz önüne alındığında sonucun hafifçe iyileştiğini gözlemlidiler.

Li ve ark. (2006), KDD 99 veri setindeki öznelik sayısını *Bilgi Kazancı* ve *Ki-Kare* teknikleri kullanarak 41'den 6'ya düşürdüler. Her iki tekniğin de aynı en iyi 6 özneliği sağladığını gözlemlidiler. Bu ilk 6 öznelik her teknik için farklı olarak sıralanırken, her iki teknikte de ilk 6 öznelik dışındaki özneliklerin "değerlilik" ölçütünde çok önemli düşüşler olduğunu tespit ettiler. Sınıflandırıcı olarak *Maksimum Entropi* modeli kullandılar. En iyi 6 öznelik ile bulunan sonucun doğruluğu, tüm veri seti ile bulunan sonuçla karşılaştırıldı (doğruluk değerindeki en büyük kaybın sadece % 0,04 olduğu gözlemlendi). Azaltılmış özneliklerin sınıflandırma test sürelerini %47 'ye kadar azalttığını tespit ettiler.

Fatemeh Amiri ve ark. (2011) *doğrusal korelasyon katsayısı ve doğrusal olmayan karşılıklı bilgi* olmak üzere iki ÖS algoritması önerdiler. Sınıflandırıcı olarak *En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi* kullanarak bir STS sundular. KDD Cup 99 veri seti üzerinde yapılan deneylerde, önerilen yöntemlerden karşılıklı bilgi tabanlı özellik seçim yönteminin, özellikle R2L ve U2R saldırıları için izinsiz girişleri daha yüksek hassasiyetle bulduğunu tespit ettiler.

Bu çalışmada, sınıflandırma işlemi için sırasıyla izlenen yol aşağıda maddeler halinde sıralanmış ve Şekil 1 de akış şeması görülmektedir.

- 1) Boyut indirgemek için Eğitim seti Öznitelik Seçiciler aracılığıyla işleme alınır.
- 2) Her bir öznitelik seçiciden sıralama ölçütüne göre 8 adet öznitelik seçilir.
- 3) Seçilen öznitelikler sınıflandırıcıların eğitimi için kullanılır, aynı zamanda test veri setinden bu 8 öznitelik seçilir.
- 4) Test seti için seçilen öznitelikler oluşturulan modele sürülür.
- 5) Model sonucuna göre Karar verici örneğin atak veya normal kayıt olduğunu belirler.

Materyal ve Yöntem

Veri Seti

Bu çalışmada NSLKDD isimli veri kümesi kullanılmıştır. NSLKDD veri seti KDD cup 99 isimli veri setinin yinelenen kayıtlarının silinerek ve yeterli sayıda kayıt alınarak indirgenmiş şeklidir ve birçok çalışmada kullanılmıştır. Veri seti eğitim için KDDTrain ve KDDTrain20Percent isimli dosyalar ve test için KDDTest ve KDDTest21 isimli dosyalar olmak üzere 4 farklı dosya şeklinde indirilebilmektedir. Her bir dosya 41 adet öznitelik içermektedir. Veri setindeki 42. sütunda atak tipleri bulunmaktadır. DOS, Probe, U2R ve R2L olmak üzere 4 sınıf atak mevcuttur.

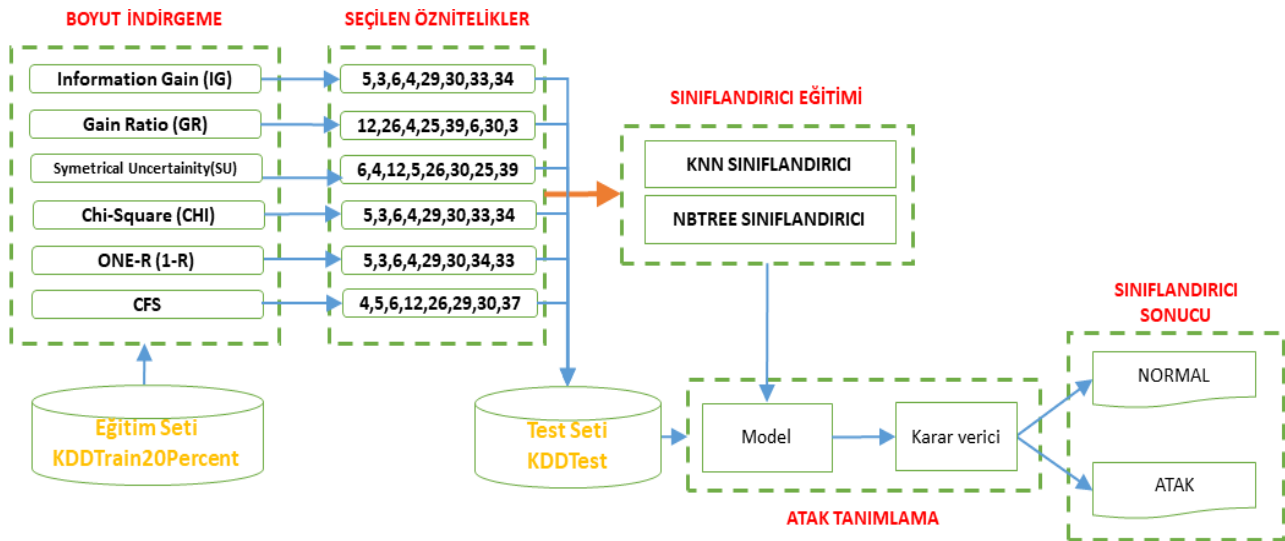
1.DOS (Denial of Service): mağdurun kaynaklarını tüketen ve böylece meşru talepleri yerine getiremeyen bir saldırı kategorisidir.

2.Probe: saldırılarının amacı, uzaktaki mağdur hakkında bilgi edinmektir.

3.U2R (User to Remote): Kullanıcı ayrıcalıklarına yetkisiz erişim, saldırganın kurban sistemine giriş yapmak için normal bir hesap kullandığı ve kurbanda bir güvenlik açığından yararlanarak yönetici ayrıcalıkları kazanmaya çalıştığı bir saldırı türüdür.

4.R2L (Remote to Local): uzaktaki bir makineden yetkisiz erişim, saldırgan uzaktaki bir makineye girer ve kurban makinesine yerel olarak erişir.

(L.Dhanabal, Dr. S.P. Shantharajah, 2015)



Şekil 1. Önerdiğimiz Yöntemin Akış Diyagramı

Bu çalışmada KDDTrain20Percent veri seti eğitim için KDDTest veri seti test için kullanılmıştır. Tablo 1’ de kayıt sayıları gösterilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan veri dosyalarına ilişkin Anomali ve Normal Kayıt Sayıları

Trafik Tipi	KDDTrain20P	KDDTest
<i>Normal</i>	13449	9711
<i>Anomali</i>	DOS	9233
	U2R	11
	R2L	347
	PROBE	2289
TOPLAM	25329	22544

Tablo 2’ de atak tipleri sınıflara göre listelenmiştir. Eğitim setinde bulunan bazı atak tiplerinin test setinde bulunmaması, çalışmanın anomali tespitinde sıfıncı gün saldırılarının tespit edilmesine karşı hassasiyetini göstermektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan veri dosyalarına ilişkin Atak Sınıfları ve Tipleri

Atak Sınıfı	KDDTrain20Percent Atak Tipleri	KDDTest Atak Tipleri
DoS	Back, Land, Neptune, Pod, Smurf, Teardrop (6)	Back, Land, Neptune, Pod, Smurf, Teardrop, Apache2, Udpstorm, Proccesstable, Worm (10)
Probe	Ipsweep, Nmap, Portsweep, Satan (4)	Satan, Ipsweep, Nmap, Portsweep, Mscan, Saint (6)
R2L	Guess_Password, Ftp_write, Imap, Phf, Multihop, Warezmaster, Warezclient, Spy, (8)	Guess_Password, Ftp_write, Imap, Phf, Multihop, Warezmaster, Warezclient, Spy, Xlock, Xsnoop, Snpguess, Snpgetattack, Httpunnel, Sendmail, Named (16)
U2R	Buffer_overflow, Loadmodule, Rootkit, Perl, (4)	Buffer_overflow, Loadmodule, Rootkit, Perl, Sqlattack, Xterm, Ps (7)

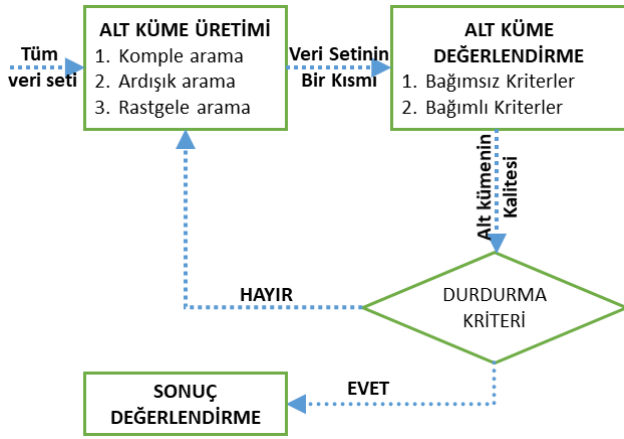
Tablo 3 ‘te NSLKDD veri setindeki tüm özellikler sunulmuştur.

Tablo 3. NSLKDD veri seti özellikleri

Öznitelik No	Öznitelik Adı
1	Duration
2	Protocol-type
3	Service
4	Flag
5	Src-bytes
6	Dst-bytes
7	Land
8	Wrong-fragment
9	Urgent
10	Hot
11	Num-failed-logins
12	Logged-in
13	Num-compromised
14	Root-shell
15	Su-attempted
16	Num-root
17	Num-file-creations
18	Num-shells
19	Num-access-files
20	Num-outbound-cmds
21	Is-host-login
22	Is-guest-login
23	Count
24	Srv-count
25	Serror-rate
26	Srv-serror-rate
27	Rerror-rate
28	Srv-rerror-rate
29	Same-srv-rate
30	Diff-srv-rate
31	Srv-diff-host-rate
32	Dst-host-count
33	Dst-host-srv-count
34	Dst-host-same-srv-rate
35	Dst-host-diff-srv-rate
36	Dst-host-same-src-portrate
37	Dst-host-srv-diff-host-rate
38	Dst-host-serror-rate
39	Dst-host-srv-serror-rate
40	Dst-host-rerror-rate
41	Dst-host-srv-rerror-rate

Filtre Tabanlı Öznitelik Seçme Yöntemleri

Öznitelik seçimi, en basit tanımıyla seçim yapılacak veri setini temsil edebilecek en iyi özniteliklerin belirlenmesidir. ÖS aynı zamanda bir veri indirgeme yöntemidir. Ağ akış verilerinde anomali tespiti için veri boyutunun azaltılması sistemin işlem yükünün azaltılması, ilgisiz verilerin elenmesi ve model başarısının artırılması için kritik öneme sahiptir. ÖS 4 temel adımdan oluşmaktadır.



Şekil 2. Öznitelik Seçimi Genel Akışı

Alt Küme Üretimi - Arama uzayındaki her durumun değerlendirme aşaması için bir aday alt kümeyi belirlediği temel bir sezgisel arama sürecidir. D adet öznitelige sahip bir veri seti için 2^D adet aday alt küme söz konusudur. D' nin artmasıyla arama işlemi zorlaşmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için komple arama, ardışık arama ve rastgele arama gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Alt Küme Değerlendirme - Birinci adımda oluşturulan tüm altkümeler bağımlı ve bağımsız ölçütlere göre değerlendirilerek en iyi alt küme seçilir. Filtreleme tabanlı yöntemlerde genellikle bağımsız ölçütler kullanılır.

Durdurma Ölçütü - Arama işleminin bitmesi, minimum öznitelik veya maximum iterasyon sayısına ulaşılması, yeterince iyi bir alt kümenin elde edilmesi gibi kullanıcı tarafından belirlenen ölçütler aracılığıyla ÖS sürecini durduran adımdır.

Sonuç Değerlendirme - Veriler hakkında önsel bilgileri kullanarak çıktığı tahmin etme adımdır (Nour M., Jiankun H., Jill S., 2019).

Öznitelik seçimi; filtreleme tabanlı yöntemler, sarmal yöntemler ve gömülü yöntemler olmak üzere 3 başlıkta incelenir.

Bu çalışmada öznitelik seçimi yöntemlerinden filtreleme tabanlı olan *Bilgi Kazancı*, *Kazanç oranı*, *Simetrik Belirsizlik Katsayısı*, *Ki-Kare*, *One-R*, *Korelasyon Tabanlı* ÖS yöntemlerinin STS 'lerin başarımına etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada kullandığımız ilk 3 yöntem Entropi tabanlı yöntemlerdir. Entropi, bir sistemin belirsizliğinin bir ölçüsüdür. $p(y)$, veri kümesindeki y. veri sınıfının tüm sınıf içerisindeki bulunma olasılığını ifade etmek üzere, bir Y öznitelik vektörünün entropisi formül 1 'deki şekilde hesaplanır.

$$H(Y) = - \sum_{y \in Y} p(y) \log_2(p(y)) \quad (1)$$

Bir Y özniteliğini tanımlarken bir X özniteliği de kullanılıyorsa Y ile X arasında formül 2 'deki gibi bir ilişki söz konusu olacaktır.

$$H(Y|X) = - \sum_{x \in X} p(x) \sum_{y \in Y} p(y|x) \log_2(p(y|x)) \quad (2)$$

a) Bilgi Kazancı (BK)

Entropi teorisine dayanan bir yöntemdir. X özelliğine bağlı olarak Y özelliğinin entropi değerindeki azalmayı gösterir. BK formül 4 'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\text{Bilgi Kazancı} = H(Y) - H(Y|X) \quad (3)$$

Yöntemin zayıf yanı, daha fazla bilgiye sahip olmasa bile çok çeşitli değerlere sahip özellikler lehine önyargılı şekilde sonuç vermesidir. [(Budak H., 2018), (Jasmina N., 2016)]

b) Kazanç Oranı (KO)

Kazanç oranı; Bilgi Kazancı yönteminin açığı olan çeşitliliğe karşı X özniteliğinin entropisi vasıtasıyla normalize edilmesiyle elde edilir [(Budak H., 2018), (Jasmina N., 2016)]. KO formül 4 'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\text{Kazanç Oranı} = \frac{\text{Bilgi Kazancı}}{H(X)} \quad (4)$$

c) Simetrik Belirsizlik Katsayısı (SBK)

Kazanç oranındaki gibi Bilgi Kazancı yönteminin zayıf yanını X ve Y özniteliklerinin entropilerinin toplamı vasıtasıyla normalize edilmesi sonucu elde edilir [(Budak H., 2018), (Jasmina N., 2016)]. SBK formül 5 'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$SBK = 2 * \frac{\text{Bilgi Kazancı}}{H(Y) + H(X)} \quad (5)$$

d) Ki-Kare (Ki)

Ki-Kare testi gözlenen ve beklenen frekanslar arasındaki ilişkiye dayanan 2 aşamalı bir istatistiksel yöntemdir. İlk aşamada gözlenen değerlerin gerçek sınıflara göre ki-kare χ^2 istatistiği hesaplanır. İkinci aşamada testi yapan tarafından belirlenen önemlilik seviyesi yüzdesi ve veri setindeki öznitelik sayısının 1 eksiği olan serbestlik derecesi referans alınarak bir seçim yapılır. χ^2 değerini sifıra yaklaşması gözlenen ve beklenen frekans değerlerinin uyumluluğu, sifirdan çok büyük olması uyumsuzluğu işaret etmektedir [(Budak H., 2018), (Kaynar O. Ve ark., 2018)]. Ki formül 6 'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (6)$$

n ; veri setindeki öznitelik sayısını,
 o_i ; i'inci öznitelik için gözlenen frekans değeri
 e_i ; i'inci öznitelik için beklenen frekans değeri

e) One-R (1-R)

One-R yöntemi, eğitim setindeki her bir özniteliğin algoritma tarafından oluşturulan kurala göre sınıflandırılıp sınıflandırma hata oranına göre sıralama yapma esasına dayanır. (Morariu, D. ve ark.)

One-R algoritma adımları kısaca sözel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Her bir özellik f için,
 f nin etki alanındaki her v değeri için,
 v değerine sahip f özellik örnek setini seç,
 c = seçilen sette en sık rastlanan sınıf değeri,

her bir f özelliği için "f özelliği v değerini alıyorsa sınıfı c" kuralını ekle,

En yüksek sınıflandırma oranına sahip kuralı çıktı olarak üret.

f) Korelasyon Tabanlı ÖS (KTÖS)

Korelasyon temelli bir değerlendirme işlevine göre öznitelik alt kümelerini sıralayan basit bir filtre algoritmasıdır. Yöntem, sınıf etiketiyle yüksek korelasyon gösteren ve birbirleriyle ilişkisiz öznitelikler içeren alt kümeleri bulma esasına dayanır. İlgisiz öznitelikler düşük, birbirinin aynı veya dengi öznitelikler ise yüksek korelasyon göstereceklerinden dolayı elenmelidir (Hall, M. A., 1999). KTÖS formül 7 'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$M_s = \frac{kr_{cf}}{\sqrt{k + k(k-1)r_{ff}}} \quad (7)$$

M_s = k adet öznitelik içeren S altkümünün fayda değeri

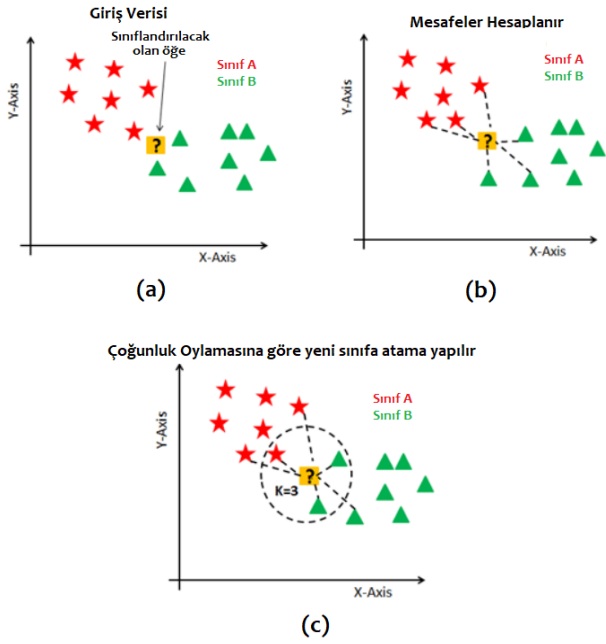
r_{cf} = Sınıf etiketi ile ilgili öznitelik arasındaki korelasyon

r_{ff} = Özniteliklerin birbirleri arasındaki korelasyon

Sınıflandırma ve Başarı Ölçütü

Bu çalışmada NSLKDD veri setinin filtreleme tabanlı 6 farklı ÖS yöntemiyle boyutu indirgenmiştir. Her yöntemden sıralama usulüne göre en başarılı 8 öznitelik seçilmiştir. Elde edilen son öznitelik vektörlerinin sistemin başarımına etkisini incelemek için k En Yakın Komşu ve Rastgele Orman olmak üzere 2 farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır.

a) k-En Yakın Komşu algoritması bilinmeyen bir nesnenin (Şekil. 3-a) mesafe ölçüm değerine göre (Şekil. 3-b) hangi sınıfa ait olduğuna karar veren basit bir öğrenme algoritmasıdır. En bilinen mesafe ölçüm yöntemleri Öklid, Mahalanobis, Minkowski, Manhattan' dır. KNN algoritmasında k komşuluk değeri seçilir ve sonra bilinmeyen nesne çoğunluk kuralına göre ilgili sınıfa atanır (Şekil. 3-c), (Luis A. Berrueta ve ark., 2007).



Şekil 3. KNN algoritmasının X-Y ekseninde gösterimi

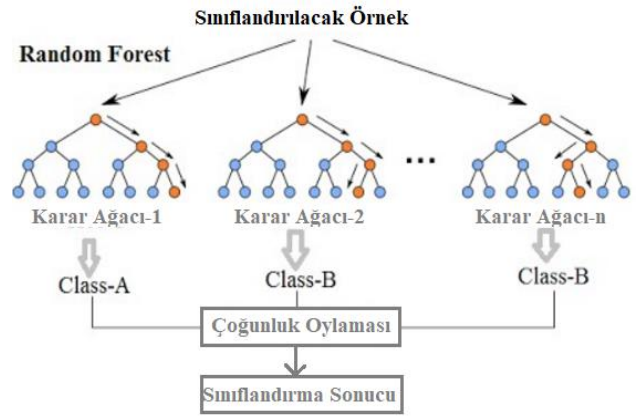
b) Rastgele Orman algoritması, bir karar ağacı sınıflandırma yöntemidir. RO, her karar ağacının sınıflandırıcı modeline tek bir oyla katkıda bulunduğu bir sınıflandırma ağaçları topluluğu olarak tanımlanabilir. Bu ağacın her bir ara düğümü ile öznelikler sınanmakta ve sınama sonucu dallarla ifade edilmektedir. Ağacın yaprakları ise sınıfları temsil etmektedir. Diğer makine öğrenme metotlarına kıyasla özelleştirilmesi gereken parametre sayısı daha azdır [(Zhou, Y ve ark.,2019), (Aydın, A. ve ark., 2018)]

RF' de, bireysel ağaç yapılı sınıflandırıcı topluluğu 8 'deki gibi ifade edilir.

$$\{h(x, \theta_k), k = 1, 2, \dots, i \dots\} \quad (8)$$

- h , Rastgele orman sınıflandırıcı
- θ_k , Bağımsız olarak aynı şekilde dağıtılan rastgele vektörleri ifade eder.
- x , her ağacın sınıf etiketini temsil eder.

Rastgele Orman algoritması düşük hesaplama yüküne sahiptir ve aykırı parametrelere duyarsızdır. Ayrıca, aşırı öğrenme bireysel karar ağacına kıyasla daha az sorun teşkil eder ve iş yükünü arttıran bir işlem olan ağaçları budamaya gerek yoktur.



Şekil 4. RF algoritmasının genel akış şeması

Değerlendirme Ölçütleri

STS 'lerin değerlendirme ölçütleri için bugüne kadar maalesef tam olarak bir referans ölçü belirlenememiştir. Literatürde 2000-2008 yılları arasında yapılan çalışmaların %42 'sinde Pozitif Doğru Oranı-Algılama Oranı (True Positive Rate-TPR, Detection Rate-**DR**), Pozitif Yanlış Oranı-Yanlış Alarm Oranı (False Positive Rate-FPR, False Alarm Rate-**FAR**) ve Eğri Altındaki Alan (Area Under Receiver Operator Characteristic Curve-**AUC**) değerleri kullanılmıştır. Ek olarak Doğruluk (Accuracy) değeri de bu çalışma kapsamında kullanılmıştır (Kumar, G., 2014). Bu çalışmada **DR**, **FAR**, **ACC** ve **AUC** kısaltmaları kullanılacaktır.

Tablo 4. Konfüzyon Matrisi

	Tahmin Edilen Sınıf	
	Normal	Atak
Asıl Sınıf	Normal	Atak
	TN	FP
	FN	TP

TP-Atak olarak tahmin edilen atak örneği
TN-Normal olarak tahmin edilen Normal örnek
FP-Atak olarak tahmin edilen Normal örnek
FN-Normal olarak tespit edilen Atak örneği
 adetlerini ifade etmek üzere; (Milan, 2018)

$$DR = TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

$$FAR = FPR = \frac{FP}{TP + FN} \quad (10)$$

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (11)$$

Uygulama

Bu çalışmada NSLKDD veri setinin filtreleme tabanlı 6 farklı ÖS yöntemiyle boyutu indirgenmiştir. KDDTrain20Percent isimli veriler eğitim amaçlı kullanılarak sınıflandırıcı modeli oluşturulmuştur. Her yöntem için 8 adet öznitelik seçilmiştir. Öte yandan her bir ÖS yöntemi ile sıralama değerlerine göre elde edilen en iyi 8 öznitelik KDDTest verilerinden seçilerek bu öznitelikler sınıflandırıcıya sürülmüştür. Öznitelik seçimi yapılmadan tüm öznitelikler de ayrıca sınıflandırma işletmine tabi tutulmuştur.

Elde edilen öznitelik vektörlerinin sistemin başarımına etkisini incelemek için KNN ve Random Forest olmak üzere 2 farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Sınıflandırıcı çıkışında girişe verilen örnekler *Normal* veya *Atak* olarak etiketlenmiştir.

Her bir ÖS yöntemi ile seçilen öznitelikler ve sıralamadaki değerleri Tablo 5 'te sunulmuştur. Tablo 5 'ten görüleceği üzere 1R, IG ve CHI yöntemleri ile seçilen özniteliklerin sıralamadaki yerleri farklı olsa da aynı özniteliklerdir. Dolayısıyla sınıflandırma sonucunda elde edilecek parametreler aynı olacaktır.

Tablo 5. ÖS yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ve sıralanması

1-R		KO	
Sıralanan Öznitelikler:		Sıralanan Öznitelikler:	
96,28453	5 src_bytes	0,415094	12 logged_in
91,4457	3 service	0,371408	26 srv_serror_rate
91,05272	6 dst_bytes	0,340202	4 flag
88,15497	4 flag	0,336928	25 serror_rate
87,28168	29 same_srv_rate	0,331043	39 dst_host_srv_serror_rate
87,14274	30 diff_srv_rate	0,32372	6 dst_bytes
85,28898	34 dst_host_same_srv_rate	0,279661	30 diff_srv_rate
84,72531	33 dst_host_srv_count	0,27736	38 dst_host_serror_rate
BK		SBK	
Sıralanan Öznitelikler:		Sıralanan Öznitelikler:	
0,806777083	5 src_bytes	0,428608284	6 dst_bytes
0,672035304	3 service	0,411671627	4 flag
0,631947382	6 dst_bytes	0,408991802	12 logged_in
0,519431475	4 flag	0,394991205	5 src_bytes
0,515902949	30 diff_srv_rate	0,374936398	26 srv_serror_rate
0,507754237	29 same_srv_rate	0,363128634	30 diff_srv_rate
0,47284563	33 dst_host_srv_count	0,362298577	25 serror_rate
0,43902981	34 dst_host_same_srv_rate	0,361221335	39 dst_host_srv_serror_rate
Ki		KTÖS	
Sıralanan Öznitelikler:		Sıralanan Öznitelikler: 4,5,6,12,26,29,30,37 : 8	
21786,70275	5 src_bytes	flag	
18639,26163	3 service	src_bytes	
17581,01415	6 dst_bytes	dst_bytes	
15153,70136	4 flag	logged_in	
14723,01823	29 same_srv_rate	srv_serror_rate	
14715,62593	30 diff_srv_rate	same_srv_rate	
13897,27784	33 dst_host_srv_count	diff_srv_rate	
13402,85782	34 dst_host_same_srv_rate	dst_host_srv_diff_host_rate	

1-R ve Ki yöntemleri ile yapılan seçimde tüm sıralama aynı olup sadece 7 ve 8nci sıradaki *dst_host_srv_count* ve *dst_host_same_srv_rate* özniteliklerinin yerleri farklıdır. BK ve Ki yöntemleri ile yapılan seçimde ise tüm sıralama aynı olup sadece 5 ve 6ncı sıradaki *diff_srv_rate* ve *same_srv_rate* özniteliklerinin yerleri

farklıdır. *Flag*, *src_bytes*, *dst_bytes* ve *diff_srv_rate* öznitelikleri tüm yöntemlerde en iyi 8 öznitelik arasında bulunmuştur.

Deneyler WEKA 3.8.3 versiyonu ile 2.6 GHz Intel Core i7-4510U işlemci, 8 GB RAM özelliklerinde diz üstü bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada filtreleme tabanlı öznelik seçme yöntemlerinin STS 'lere etkisi araştırılmıştır. Literatürde çoğunlukla aynı veri seti ile yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada eğitim ve test için farklı veri setleri kullanıldığından ötürü farklılık arz etmektedir. Çalışmada önce ham veri, ardından ÖS yöntemleri kullanılarak elde edilen öznelikler KNN ve RO algoritmalarıyla sınıflandırılmış ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

STS 'lerin değerlendirme ölçütleri için bugüne kadar tam bir referans ölçü belirlenmemiştir. Literatürde çoğunlukla kullanılan *DR*, *FAR*, *AUC* ve *ACC* parametreleri değerlendirme ölçütleri olarak kullanılmıştır. Değerlendirme yapılırken BK/Ki/1-R ÖS yöntemleri aynı öznelikleri barındırdığından bu 3 yöntem bir arada anılacaktır.

Sonuçlar sınıflandırma doğruluğu bakımından değerlendirilince RO 'nun KNN 'ye göre üstünlüğü göze çarpmaktadır. En yüksek ACC değeri BK/Ki/1-R yöntemleri sonucu elde edilen öznelikler kullanılarak RO algoritması sınıflandırması ile %83,31 olarak elde edilmiştir. Ayrıca aynı yöntemle elde edilen DR değeri %74,05, FAR değeri %4,46 ile tüm değerler arasında kabul edilebilir düzeyde olup en önemli ölçüt olan AUC değeri %93,40 ile oldukça başarılı bir seviyededir.

RO ile elde edilen AUC değerleri KNN ile elde edilen AUC değerlerine göre bariz oranda üstünlüğü göze çarpmaktadır.

ÖS yöntemleri bakımından BK/Ki/1-R yöntemleri AUC ve FAR bakımından ham veri sonuçlarına göre az miktarda olumsuz yönde farklılık göstermiş olmakla birlikte ACC ve DR değerleri bakımından daha başarılıdır.

İşlem süreleri bakımından incelendiğinde RO algoritmasının KNN algoritmasına göre üstünlüğü açıkça görülmektedir. RO ile yapılan sınıflandırma süreleri KNN ile yapılan sınıflandırma sürelerinde göre 6 – 8 kat daha düşüktür. Yine işlem süreleri ham veri setine karşılık ÖS sonucu elde edilen öznelikler ile karşılaştırınca ÖS ile veri boyutunun düşmesinden ötürü işlemler beklendiği şekilde daha düşük sürelerde gerçekleşmiştir. BK/Ki/1-R yöntemleriyle 3,09 sn. sürede elde edilen %83,31 ACC değeri tüm yöntemler arasında en yüksek değer olup %74,05 DR değeri RO algoritmasındaki en yüksek değeri vermiştir. Ayrıca aynı yöntemle elde edilen %4,46 FAR değeri ile %93,40 AUC değerleri de kabul edilebilir düzeydedir.

Tüm sonuçlar değerlendirilince BK/Ki/1-R özneliklerinin RO ile sınıflandırılması en optimum yöntem olduğu rahatlıkla ifade edilebilir. Bu sonuçlara göre ÖS yöntemlerinin STS sistemlerine olumlu yönde katkı sağlandığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 6. ÖS yöntemleri sonucu elde edilen özneliklerin KNN ve RF ile sınıflandırma sonuçları

Ö.S. Metodu	Seçilen Öznelikler	KNN					RANDOM FOREST				
		İşlem süresi (sn)	ACC %	DR %	FAR %	AUC %	İşlem süresi (sn)	ACC %	DR %	FAR %	AUC %
Ham	Tüm Öznelikler	58,92	80,36	68,39	3,80	82,30	7,57	80,54	67,92	2,70	95,60
IG	5,3,6,4,30,29,33,34	20,93	79,64	67,47	4,27	82,00	3,09	83,31	74,05	4,46	93,40
GR	12,26,4,25,39,6,30,38	32,25	82,81	75,42	7,42	89,60	4,35	81,42	72,84	7,23	91,00
SU	6,4,12,5,26,30,25,39	25,50	81,14	69,38	3,31	82,80	4,37	77,59	63,16	3,33	90,30
CHI	5,3,6,4,29,30,33,34	20,93	79,64	67,47	4,27	82,00	3,09	83,31	74,05	4,46	93,40
ONE-R	5,3,6,4,29,30,34,33	20,93	79,64	67,47	4,27	82,00	3,09	83,31	74,05	4,46	93,40
CFS	4,5,6,12,26,29,30,37	43,15	77,18	66,41	2,54	78,40	4,85	76,62	61,43	3,28	92,20

Kaynaklar

- Alazab, A., Hobbs, M., Abawajy, J., & Alazab, M. (2012) "Using feature selection for intrusion detection system." In Communications and Information Technologies (ISCIT), 2012 International Symposium on (pp. 296-301). IEEE.
- Aydın, A., Doğru, İ. A., & Dörterler, M. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Android Kötücül Yazılım Uygulamalarının Tespiti. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 1087-1094.
- Budak H., (2018), "Özellik Seçim Yöntemleri ve Yeni Bir Yaklaşım", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 22, Özel Sayı, 21-31
- F. Amiri, M.R. Yousefi, C. Lucas, A. Shakery, N. Yazdani, (2011) "Mutual information-based feature selection for intrusion detection systems," Journal of Network and Computer Applications, 34, pp.1184–1199.
- Hall, M. A. (1999), "Correlation-based feature selection for machine learning."
- Kaynar O., Arslan H., Görmez Y., Işık Y.E., (2018), "Makine Öğrenmesi ve Öznitelik Seçim Yöntemleriyle Saldırı Tespiti", Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 11, Sayı: 2
- Kumar, G. (2014). Evaluation metrics for intrusion detection systems-a study. Evaluation, 2(11).
- L. Dhanabal, Dr. S.P. Shantharajah, (2015) "A Study on NSL-KDD Dataset for Intrusion Detection System Based on Classification Algorithms" International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 4, Issue 6, June 2015.
- Lee, S.M., Kim, D.S. and Park, J.S. (2012) "A survey and taxonomy of lightweight intrusion detection systems", Journal of Internet Services and Information Security, Vol. 2, No. 1/2, pp.119–131.
- Li, Y., Fang, B. X., Chen, Y., & Guo, L. (2006) "A lightweight intrusion detection model based on feature selection and maximum entropy model." In Communication Technology. ICCT'06. International Conference on (pp. 1-4). IEEE.
- Luis A. Berrueta, Rosa M. Alonso-Salces, K'ároly H'eberger (2007), "Supervised pattern recognition in food analysis." Journal of Chromatography A, 1158 (2007) 196–214.
- Milan, H. Sardana, K. Singh (2018), Reducing False Alarms in Intrusion Detection Systems – A Survey, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056
- Morariu, D., R. Cretulescu, Macarie Breazu. (2013) "Feature Selection in Document Classification." The fourth International Conference in Romania of Information Science and Information Literacy.
- Nour M., Jiankun H., Jill S., (2019) "A holistic review of Network Anomaly Detection Systems: A comprehensive survey", Journal of Network and Computer Applications 128 (2019) 33–55
- Novaković, Jasmína. (2016) "Toward optimal feature selection using ranking methods and classification algorithms." Yugoslav Journal of Operations Research 21.1
- Zhou, Y. Y., & Cheng, G. (2019). An Efficient Network Intrusion Detection System Based on Feature Selection and Ensemble Classifier. arXiv preprint arXiv:1904.01352. (<https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html>)

Effect of Filter Based Feature Selection Methods to Network Anomaly Detection Systems

Extended abstract

Information security of systems is provided via the use of authentication, antivirus programs, firewalls, intrusion prevention systems as alone or in combination. The protection capability of such security systems depends on which the databases are updated. Preventing attacks called zero-day attacks, which the databases have never seen before, is possible by the continuous monitoring of the movements of the system and the detection of abnormal conditions rather than by rule-based systems. This turns the anomaly-based network security into a classification problem.

In this study, it is aimed to research the effect of filter based Feature Selection (FS) Methods to Network Anomaly Detection Systems (NADS). The NSLKDD data set was used in this paper. There are 41 features in NSLKDD dataset. NSLKDD data set contains 4 data folder named KDDTrain, KDDTrain20Percent, KDDTest, KDDTest21. In this paper KDDTrain20Percent folder is used for training while KDDTest folder is used for testing. Thus, the robustness of the system has been proven by testing with a data set and testing with another data set.

In this study, firstly dimensionality is reduced by using filter-based feature selection methods [Information Gain (IG), Gain Ratio (GR), Symmetrical Uncertainty (SU), Chi-Square (CHI), One-R (1-R) and Correlation Based Feature Selection (CFS)]. On each FS method, according to ranking rule the most effective 8 features were selected from the training set. Then these selected 8 features also selected on the test set for driving to the classifiers as the final data set. Even though the same 8 features selected with IG, CHI and 1-R methods, the ranking of features were different. 4 common feature was selected for all methods named flag, src_bytes, dst_bytes and diff_srv_rate.

Final feature vectors are classified by using *k*-Nearest Neighbor (KNN) and Random Forest (RF) classifiers.

k-Nearest Neighborhood (KNN) is a non-parametric learning algorithm based on the principle of determining which class an unknown object belongs

according to distance measurement. The most common distance measurement methods are Euclidean, Mahalanobis, Minkowski, Manhattan etc. In the KNN algorithm *k* neighborhood value is chosen and then the unknown object is assigned based on majority rule to the lowest distance class.

Random Forest(RF) is a decision tree technique that operates by constructing multiple decision trees. RF can be described as an ensemble of classification trees where every tree contributes with a single vote for the task of the most frequent class to the input data. Compared to other machine learning methods there are fewer parameters to be specified when running RF.

Although no benchmark metric exists till date for intrusion detection, as per statistics of a survey of 276 papers published between 2000-2008, 42% of the papers accessed performance of the systems by using **DR**, **FPR** and area under the ROC (**AUC**). Additionally **process time** and accuracy **ACC** values were used for evaluating the performance of the methods.

By means of classifier RF is more superior than KNN. Especially on AUC value, this difference clearly can be seen. The mean AUC of all methods is %82,73 for KNN, while it is %92,76 for RF. Mean values of other evaluation metrics are listed below.

	KNN	RF
ACC	%80,06	%80,87
DR	%68,86	%69,64
FAR	%4,27	%4,27
Process Time	31,80 sec	4,34 sec

By means of FS method, the features selected with IG/CHI/1-R are better than other methods. The best ACC is achieved %83,31 on RF classifier and the best AUC is achieved %93,40 among FS methods. DR and FAR values are also reasonable.

By means of processing time, RF is clearly better than KNN for all methods. When compared to the raw features and reduced features with FS methods the processing time is decreased both KNN and RF as expected.

The results showed that FS methods have positive effect to NADSs.

Keywords: Filter based feature selection, Network anomaly detection system

Recognition of static hand gesture with using ANN and SVM

Julius BAMWEND^{1,*}, Mehmet Sıraç ÖZERDEM²

¹ Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, ORCID iD 0000-0002-6549-940X

² Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, ORCID iD 0000-0002-9368-8902

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2019
Revised 16 June 2019
Accepted 17 June 2019
Available online 19 June 2019

Keywords:

Dynamic / Static Hand Gesture Recognition, Artificial Neural Network, Histogram of Oriented Gradient, Support Vector Machine

Doi:10.24012/dumf.569357

ABSTRACT

Hand gesture recognition is a relevant study topic for a reason that sometimes we may not be in position to communicate verbally. There is need to design Hand gesture recognition systems in order to help people adopt to nonverbal communication mainly sign language. However, there is no clue to understand the meaning of gesture through the computers directly. So this calls for definitions that generalize models in a computer. That is why the machine-learning approaches are implemented in recognition systems. There are generally two types of hand gestures recognition systems which researches have concentrated on. These include static and dynamic Hand gesture recognition systems. However, in building Hand gesture recognition systems, various machine learning approaches have been used. For implementing the proposed system, MS Kinect depth sensor was used as a hardware. The Kinect depth sensor is composed of an infrared camera. This is an advantage to the systems that are designed basing on the depth sensing because factors like color, clothing and background have less effect on the performance. So Kinect based depth sensor systems have a high accuracy and performance making them relevant and applicable in our daily lives. In this paper, we propose a static hand gesture recognition system in real time using two machine learning methods namely Support Vector Machine and Artificial Neural Networks. We use of the newly launched Microsoft Kinect sensor for image extraction. The sensor helps us to extract the hand images. We implement the system on a Matlab platform for reasons that Matlab is widely used by researchers in different fields and that can handle complex computations. In the training of the model, we collect a hundred depth-based Histogram of Oriented Gradient features per alphabet from the hand gesture images which we trained, tested and validated using Artificial Neural Networks (ANN) and Support Vector Machine (SVM). From this dataset, we can generate the generalized gesture model for each alphabet image. For the proposed system, the classification with ANN proves a higher performance then SVM.

Introduction

The use of computers has evolved rapidly in many fields namely leisure industrial, communication, and so on. We utilize those machines almost every time at work, home, school and almost in every field now. In any way, computers are part of us and we can't do away with them. Currently we know that using a computer requires interacting with some devices like mouse and keyboard. People started to use the mouse and keyboard in 1980s as a way to communicate with computers. As we speak today, there is a high

progress in technology and sensing devices have been developed hence mouse and keyboards are becoming irrelevant. There have been a lot of studies related with how humans can interact with computers. Technological development has created a number of fields of study such as Gesture Recognition, Image processing and many others. Gesture recognition has become a very important field of study. It provides the basis for body recognition. Many researchers have carried out studies mainly in Face Recognition (FR) and Hand Gesture Recognition (HGR).

* Corresponding author
Julius BAMWENDA
✉ hbamwenda@gmail.com

In this paper, HGR was interested. Furthermore, there has always been a necessity of communicating with Sign Language (SL) in critical environments such as communicating with people that have speaking and hearing challenges. With the current technological advancements, different kinds of studies have been undertaken in order to counteract the sign language communication related problems. The above information motivated us to also play a part in solving the burning challenges in the HGR field. We developed a HGR system that can help in the interpretation of the different sign languages. In this paper, we propose a human hand detection method based on depth images captured by the MS Kinect (Figure 1). Human detection is achieved using the Infrared (IR) cameras found in the Kinect. We apply segmentation of the right hand from the fore, background and extract the hand details perfectly. We have also come up with algorithms that track in depth image. Our procedures are evaluated on a GIU interface using the Kinect and achieve excellent results.



Figure 1. MS Kinect V2 and its components [1]

Related Studies

The aim of our study is to design a system capable of recognizing the hand gestures in real time. In our system, we use the MS Kinect in image extraction and machine learning techniques in the classification of the images. In the literature, we may find many papers based on MS Kinect and some of them are discussed in this section.

[2] presented a skeleton-based dynamic hand gestures recognition system. In order to analyze the figure movements, they extracted the angles of bones from the hand skeleton so they extracted the finger motion features. They extracted the

global rotation and global translation of the hand to describe the global movements of the hand (extraction of the Global Motion Features). In the classification process, the finger motion features and global features are fed into a bidirectional RNN together with the skeleton sequence to aid the prediction of the class of input gestures. The publicly available skeleton-based DHG-14/28 dataset were utilized to compare the performance accuracies. Chong et al, (2016) presented yet another HGR system built basing on the 3D point cloud. They applied digital image processing in their research. Considering a 3D point from the depth camera, raw data from the hand was extracted. Thereafter, the data segmentation and preprocessing proceeded and three parameters were considered including the number of stretched fingers, the angles between fingers and the gesture region's area distribution feature. Decision tree method was applied in the classification. The results of experiment demonstrated that the proposed method was quite good in gesture recognition because it yielded an average accuracy of 94.7%. [3] describe a depth image based real-time skeleton fitting algorithm for the hand. They applied an object recognition method by parts approach and the used hand modeler in an American Sign Language. They created a 3D hand model with 21 different parts. Furthermore, Random decision forests (RDF) were trained on depth images hence creating a hand model and per pixel classification performed. The classification results are fed into a local mode finding algorithm to estimate the joint locations for the hand skeleton. Their system processes depth images from Kinect in real-time at 30 fps. They finally used support vector machine (SVM) based recognition module for the ten digits of ASL. The recognition rate attained is 99.9% on live depth images in real-time which is good enough for a system of this nature.[4] designed a number gesture recognition system based on the recognized hand parts in depth images taken by the Kinect. They proposed an approach that consisted of two main stages, hand parts recognition by random forests (RFs) and rule-based hand number gesture recognition. As already stated before, a database of hand depth and their corresponding hand parts-labeled maps was created, and then training followed using

random forest method. Using the trained dataset, labeling of hand parts in depth images was possible. Basing on the information of labeled hand parts, hand number gestures were recognized according to derived rules of features. The system was evaluated with synthetic and real data and an average recognition rate of 97.80 % over the ten hand number gestures from five subjects was attained. [5] carried out a magnificent study of which they employed multi sensors including MS Kinect to build a driver's hand gesture recognition system. In this paper, we see yet another field in which the Kinect can be applied. Basing on this study, we may predict that in future lots of accidents on the roads due to careless driving may be solved. We may also appreciate the power of ANN as a classification method. [6] presented an approach of feature extraction and classification for recognizing continuous dynamic gestures corresponding to Vietnamese Sign Language (VSL). The captured the Input data by the depth sensor of a MS Kinect, considering the advantage that this device is almost not affected by the light of environment. A dataset of 3000 samples corresponding to 30 dynamic gestures in VSL was created by 5 volunteers. They represented the gestures with a sequence of depth images just like other researchers in this field. Feature extraction is performed by dividing the images into 3D grid of same-size blocks in which each one is then converted into a scalar value They applied Support Vector Machine (SVM) in the classification procedure and the Hidden Markov Model (HMM) technique in order to provide a comparison on recognition accuracy. The experiments yielded an average accuracy 95%. [7] designed a user interface that could help researchers working with Kinect to acquire, edit and even store images from the Kinect. They based their research on the images captured by the Kinect device. They created a dataset of eight gestures of which each gesture had eighty samples. They applied Dynamic Time Warping and Hidden Markov Model in the classification of the gestures. Looking at their accuracy recognition rate (99%), we can conclude that the above classification methods may be appropriate in the classification of the images captured by the Kinect sensor. [8] worked on a Kinect based HGR

system motivated by the need to effectively communicate to the people with hearing problems. His system recognizes the hand gesture made by the user, then compares it with the predefined gesture set and in return it gives a matching. He came up with a simple procedure that had basically three main stages namely hand detection, figure identification and gesture recognition. Applying K-means clustering algorithms, he classified the images. He achieved a recognition rate of approximately 99.5%. Hand modeling being one of the complex tasks to do, many researchers have proposed different methods in order to overcome this challenge. In the same way, [9] proposed a hand posture recognition procedure based on the color, depth and skeleton parameters from Kinect images. In the method, hands are first distinguished from background by color data, which can separate non-skin-color background regions from the original image, then refined by depth data, which is used to remove the skin alike noise areas from the remain image, using skeletal data to decide the threshold of the depth of hand, and finally use morphological methods to segment hand and arm. This procedure can provide a solution to the hand modeling challenge at hand. [10] studied on hand gesture recognition where they SVM and RVMs to classify hand images from a Kinect sensor. They only utilized the skeleton data from the images captures by the Kinect sensor. In the feature extraction stage, point velocity, joint angles and joint angle velocities from the skeleton frame were extracted. The extracted features were then classified using SVM and RVMs and their accuracy gesture recognition rates were compared. [11] described method that could recognize alphabet signs using Kinect's depth images. A segmented hand is obtained by using a depth contrast feature based per-pixel classification algorithm. Then a mode-seeking method is developed and implemented to localize hand joint positions under kinematic constraints. Lastly, they applied Random Forest (RF) classify the extracted features. To validate the performance of this method, they used publically available datasets. The results showed an accuracy of 90% considering 24 static gestures from ASL. [12] presented again a system that could detect the hand gestures statically. As an

input device, they used a webcam in the creation of a dataset. The webcam also has a capacity to sense the depth of an image. In the preprocess stage, they created a boundary box that could separate and isolate the hand from the fore and back grounds. Image resizing in order to remove the unnecessary pixels was performed. The resized image could be detected using the canary's edge detection method. HOG features were extracted from the resized images and stored in the database for classification. They made use of the famous SVM for classification of which the procedure was divided into two namely training and testing. They created a user interface in Matlab which facilitated the implementation process. [13] designed a 3D hand gesture recognition system. They employed the Kinect and specifically used the details from the depth image. In their methodology, they first of all used the Kinect device to acquire the depth image. They then segmented the hand image which they later converted to a point cloud. In order to extract feature from the hand shape, they computed the 3D moment invariants on the point cloud and thereafter applied SVM for classification. They mainly concentrated on three gestures namely paper, rock and scissors hence realizing a high recognition accuracy rate of 97.7%. In the literature it can be seen in the above list, there are two types (static/dynamic) of hand gestures are evaluated. In this paper, we propose a static HGR system in real time using machine learning methods.

Material and Method

Proposed System

Our system consists of five main steps as illustrated in the Figure 2.

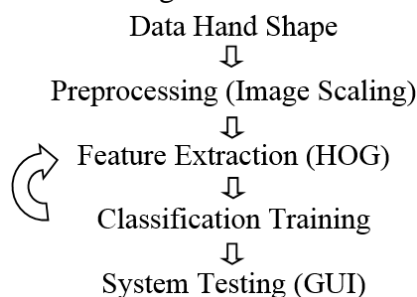


Figure 2. The overall procedure for gesture recognition

With Kinect 2.0 for Windows, we can capture raw data streams and skeletal information in our method. The device has features such as RGB camera and a depth sensor, which provides full-body 3D motion capture capability. In our study, we make use of the skeletal data stream as well as depth and color data streams.

Acquisition Dataset

Matlab Image Acquisition Toolbox provides functions and blocks that enables us to connect industrial and scientific cameras like Kinect to Matlab and Simulink. It includes a Matlab application that let researchers interactively detect and configure hardware properties. The toolbox enables acquisition modes such as processing in-the-loop, hardware triggering, background acquisition, and synchronizing acquisition across multiple devices and many other properties. By attaching the Kinect device, we handled the color and depth frame in real time. Image Acquisition Toolbox gathers 30 frames per sec from the Kinect. Each frame contains the depthMetaData. From the depthMetaData, we extract the skeleton data which is one of the most useful parameters in getting the hand position. The skeleton data helps us in getting the joint positions of right hand. We set the Region of Interest (ROI) based on the center of mass. We then apply the background subtraction to reduce the effects that may result from reflection and other factors. At the end of the above processes, a handDepthImage is generated and stored further processing. The quality of the Kinect depth sensing is still inherently noisy and greatly affected by natural conditions. Depth measurements often fluctuate and depth maps contain numerous holes where no estimations of range are obtained. In the depth images taken by the Kinect, all the points that are not measured by the sensor are offset to 0 in the output array. For reasons of estimating the true depth value, we make the assumption that the space is continuous, and the missing point is more likely to have a similar depth value to its neighbors. Figure 3 represents our training dataset. It is sorted by left to right, top to bottom. It contains alphabets A to Y except J and Z because they are dynamic hand gestures. Our goal is to recognize the static postures so for that reason J and Z were excluded.

Our training data is based on the American Sign Language. However, in order to improve on the performance, some gestures that are closely similar to each other were replaced by gestures that we found easy to classify. The replaced gestures include A, M, N, S, T and Y respectively. All experiments were executed on a PC with CPU (Intel Core i5-4200M) 2.50GHz, 8GB RAM, and 500GB hard disk.

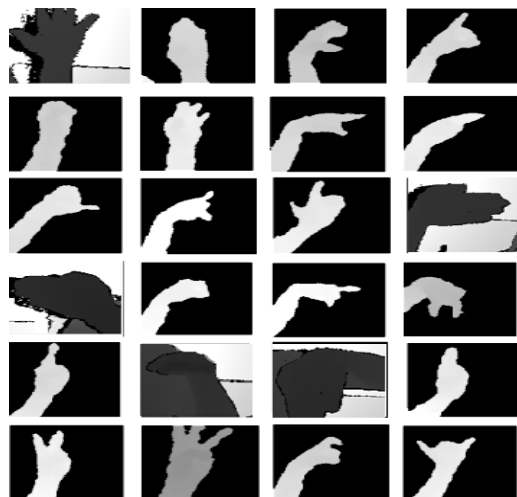


Figure 3. Training data, from A to Y except J, order by left to right, up to down

The machine was operated by Windows 8. In the software part, all the codes were implemented in MATLAB R2016b. For reasons that MS Kinect V2 works with the later versions of Matlab (from R2014 and above) in order to use the Kinect, we installed Kinect for windows SDK V2 and Kinect runtime. Those are very essential software for using the MS Kinect. On the other side, we installed the following hardware support packages namely Computer Vision System Toolbox, Image Acquisition Toolbox, Image Processing Toolbox, Neural Network Toolbox, Signal Processing Toolbox, Statistics and Machine Learning Toolbox, Bioinformatics Toolbox and Matlab Wrapper for SVMlight. With all this setup we carried out all our experiments.

For reasons of evaluating the performance of our approach, we created our own database using Kinect for windows device. Our dataset consists of 24 different hand gestures of which 18 of them belong to the American Sign Language. The other 6 gestures were created by us in order to improve

the performance of the classification algorithms. J and Z letters weren't included into dataset since they are dynamic letters. So, only static letters were evaluated in this study. In the dataset creation, we used gestures from three different people in order to cater for some divergences that may arise due to differences in hand sizes. A total of 2400 depth images were created implying that each alphabet has 100 images (patterns). In addition, we train and test our system on both real and synthetic data that we downloaded from the internet. This helped us in providing a comparison between the dataset results.

Hand Feature Extraction

In this study, Histogram of Oriented Gradient (HOG) was employed. The HOG returns the count of occurrences of oriented gradients. So, the image oriented gradients can be represented by HOG. All hand gestures have different orientations. We then assume that each image would have unique histogram because an image has identical oriented gradients. An example of histogram procedure is given in Figure 4.

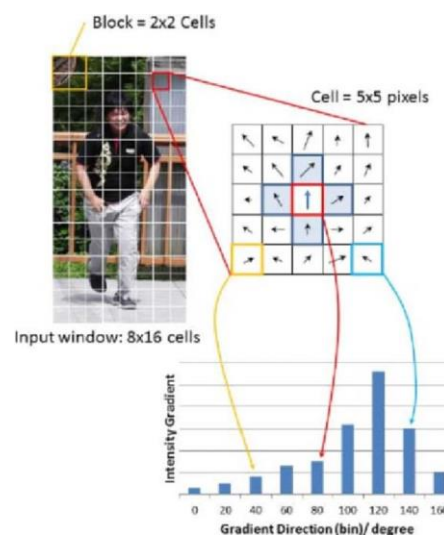


Figure 4. Histogram based feature extraction of image with HOG. M. [14]

The hand image features are extracted and converted by HOG. HOG is an edge orientation histogram based on the orientation of the gradient in localized region called cells. A histogram is a graphical representation of the distribution of numerical data. Therefore, it is easy to express the rough shape of the object and it's robust to variations in geometry and illumination changes.

Gesture Classification with SVM

In this procedure, we make use of the Support Vector Machine (SVM) which is a supervised learning model with associated algorithms that analyze data and recognize patterns. SVM was developed by Vapnik and used to supervised learning, Burges, C. J. C. (1998). Basically, this machine is a classifier of two sets which can be separable. It uses the support vector and kernels for learning. The kernel machine gives a framework which is flexible to the different domain by selecting the appropriate kernel functions. Unlike other machines, SVM makes a hyper plane or set of hyper planes in a high-dimensional space, which can be used for classification, regression, or other tasks. A good separation would be achieved by the largest distance to the nearest training data point of any class hyper plain, since the classification contained large margin can get the lower error and higher generalization.

The SVM (primal) optimization problem is as follows:

$$\max_w \frac{2}{\|w\|} \text{ subject to } w^T x_i + b \begin{cases} \geq 1 & \text{if } y_i = +1 \\ \leq -1 & \text{if } y_i = -1 \end{cases} \text{ for } i = 1 \dots N$$

Or equivalently

$$\min_w \|w\|^2 \text{ subject to } y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \text{ for } i = 1 \dots N \quad (1)$$

This problem is quite complex to solve directly, we can compute this problem by formulating unconstrained optimization using Lagrange multipliers.

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{t=1}^N \alpha_t [y_t (w^T x_t + b) - 1]$$

where $\alpha_t \geq 0$ (2)

In the above formula, we apply Karush-Kuhn-Tucker

$$\begin{aligned} &\text{maximize } \sum_{t=1}^N \alpha_t - \frac{1}{2} \sum_{s=1}^N \sum_{t=1}^N \alpha_s \alpha_t y_s y_t x_s^T x_t \\ &\text{subject to } \sum_{t=0}^N \alpha_t y_t = 0 \\ &\text{where } \alpha_t \geq 0, \forall t \in [1, N] \end{aligned} \quad (3)$$

This dual problem has simpler setting of involved constraints. Although the original problem would imply a finite dimensional space, it only occurs when the discriminated sets are not linearly separable in that space. Because of this, it was suggested that the original finite-dimensional space should be converted into a higher-dimensional space, for making the classification easily. To keep this process reasonably good, the SVM is designed to ensure that data may be computed easily in terms of the variables in the original space, by defining them in terms of a kernel function. Since the number of our dataset gestures is 24, we then need a multi-classifier and proper utility. In this case, we use LIBSVM which supports multi-class classification for classifying the images.

Classification with Artificial Neural Networks (ANN)

Artificial Neural Networks (ANN) refers to the simulations performed on the computer to complete a number of machine learning tasks such as pattern recognition, clustering, classification. The ANNs are biologically inspired. ANNs are similar to the human brain in ways that they acquire knowledge through learning and store that knowledge within inter-neuron connection strengths known as synaptic weights. Those two characteristics make neural networks unique in nature. We applied Multilayer perception in our study. With Multilayer perception, the network is composed of more than one hidden layer of neurons as compared to single layer perception architecture. Different types of structure were tried and we can deduce that the highest classification rate was observed in 20736x23x9x24 ANN structure.

Results

Due to the fact that we needed multi-classification, we employed LIBSVM as stated under methods and procedure. We used a total of 2400 input hand gesture images for SVM training. This implies that the training data is composed of 100 images per alphabet. The test was executed by real-time. The Kinect gets 30

frames per second so that we count the correct recognition frame.

In the test, we created a graphical user interface (GUI) which is composed of four windows. The two windows on the top are taken through Kinect. The left one is an original image returned by the color stream of the Kinect and right one is a depth frame returned by the depth stream. From this depth data, the human body and hands are distinguished as shown in the Figure 5. The segmented hand image is shown in left-bottom window. The last window shows the alphabet which is represented by a hand gesture. When the Kinect detects the human, the framework generates the 25 skeleton points from depth data. Using right hand skeleton point (12), only right hand image is segmented, and compared it with trained model. If the decision is right, the right bottom window changes the appropriate alphabet. We present a sample cases from the 24 alphabets. The experiment was repeated 10 times and the average of performance was obtained as 93.4.

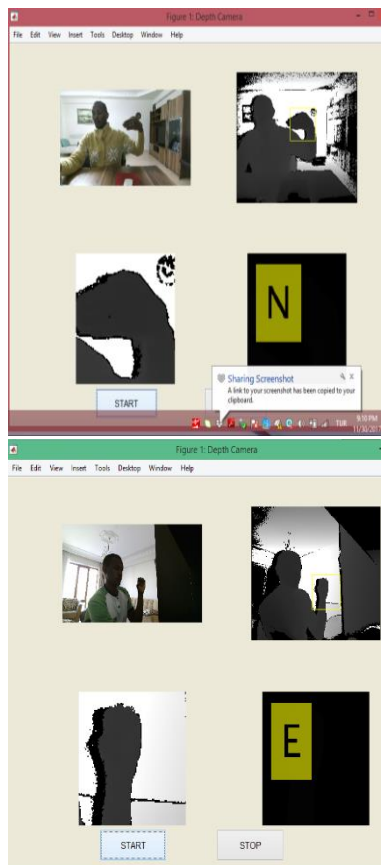


Figure 5. The GUI showing letters E and N

Considering ANN classification, we used scaled conjugate gradient backward propagation as the training function. The performance was evaluated using mean squared error. The dataset was randomly divided up into training, testing and validation data. During the training stage, the performance graphically was obtained shown in Figure 6.

The experiment was repeated 10 times and average of performance was obtained as 98.2.

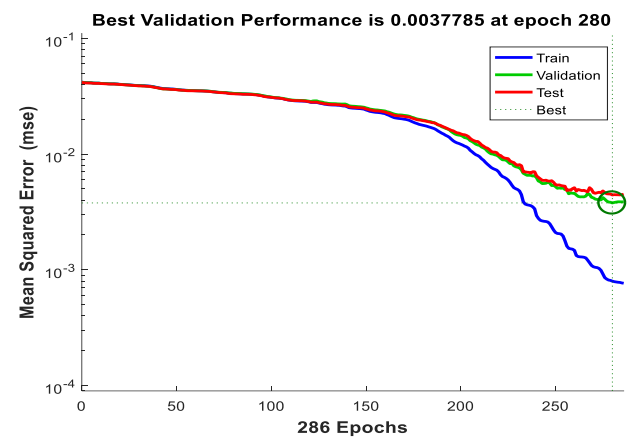


Figure 6. Represents the best validation performance at epoch 280

Conclusions

The aim of our study is to design a system capable of recognizing the hand gestures in real time. In our system, we use the MS Kinect in image extraction and machine learning techniques in the classification of the images. The system is motivated by the importance of real-time communication under specific situations such as communication under water and communicating to people with hearing problems. We reviewed quite a number of systems in our study providing information about sign language recognition systems and hand gesture recognition systems.

The proposed system in this paper, the right hand is distinguished from the background by the depth information and that constitutes the preprocessing procedure. The hand detection is in a range is between 0.5m to 0.8m from the Kinect. HOG features were used to extract the hand positions from the images. A set of hand positions was then passed to ANN and SVM for classifying the images. The dataset was organized as consisting

static letters. The average of recognition accuracy was 93.4 and 98.2 for SVM and ANN, respectively. For the proposed system, the better performance was observed with ANN method.

References

- [1] T. Cook, R. Cargill, *Say Hello to My Little Friend : JavaScript!* 2014.
- [2] X. Chen, H. Guo, G. Wang, and L. Zhang, "Motion feature augmented recurrent neural network for skeleton-based dynamic hand gesture recognition," in *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2017, pp. 2881–2885.
- [3] L. Keskin, C., Kırac, F., Kara, Y. E., Akarun, "Real time hand pose estimation using depth sensors," *Consum. depth cameras Comput. Vis.*, pp. 119–137, 2013.
- [4] T. S. Dinh, D. L., Lee, S., Kim, "Hand number gesture recognition using recognized hand parts in depth images," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 75, no. 2, pp. 1333–1348, 2016.
- [5] M. P. . G. S. . K. K. . P. K., "Multi-sensor system for driver's hand-gesture recognition," in *11th IEEE international conference and workshops on automatic face and gesture recognition (FG)*, 2015, pp. 1–8.
- [6] J. Vo, D. H., Huynh, H. H., Doan, P. M., Meunier, "Dynamic Gesture Classification for Vietnamese Sign Language Recognition," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 8, no. 3, pp. 412–420, 2017.
- [7] M. Ibanez, R., Soria, A., Teyseyre, A., Campo, "Easy gesture recognition for Kinect," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 76, pp. 171–180, 2014.
- [8] L. Y., "Hand gesture recognition using Kinect," in *IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, 2012, pp. 196–199.
- [9] X. Xie, J., Shen, "Hand posture recognition using kinect," in *International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)*, 2015, pp. 89–92.
- [10] H. S. Nguyen, D. D., Le, "Kinect gesture recognition: Svm vs. rvm.," in *Seventh International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, 2015, pp. 395–400.
- [11] Z. Dong, C., Leu, M. C., Yin, "American sign language alphabet recognition using microsoft kinect," in *IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 2015, pp. 44–52.
- [12] R. K. Nagashree, R. N., Michahial, S., Aishwarya, G. N., Azeez, B. H., Jayalakshmi, M. R., Rani, "Hand gesture recognition using support vector machine," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 4, no. 6, pp. 42–46, 2005.
- [13] L. Song, L., Hu, R., Xiao, Y., Gong, "Real-Time 3D Hand Gesture Recognition from Depth Image," in *nd International Conference On Systems Engineering and Modeling (ICSEM-13)*, 2013.
- [14] M. Hatto, "Acceleration of Pedestrian Detection System using Hardware-Software Co-design.," *Lund University MSc Thesis*, 2015.



Bir güneş arabası için farklı kanat profillerinin deneysel olarak değerlendirilmesi

Cem ONAT

Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Elazığ
conat@firat.edu.tr ORCID:0000-0002-2886-0470

Mahmut DAŞKIN

İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya
mahmut.daskin@inonu.edu.tr ORCID:0000-0001-7777-1821

Mehmet ALTUĞ

İnönü Üniversitesi, Makine Metal Teknolojileri Bölümü, Malatya
mehmet.altug@inonu.edu.tr ORCID:0000-0002-4745-9164

Abdullah TURAN*

Şırnak Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şırnak
abdullahturaturan@outlook.com ORCID: 0000-0002-0174-2490, [Tel:\(486\) 216 82 35](tel:(486)2168235)

Geliş: 09.04.2018, Kabul Tarihi: 25.09.2018

Öz

Araba tasarımında önemli konulardan biri sürüklenme kuvvetinin minimizasyonudur. Bir aracın geometrisine bağlı olarak elde edilen sürüklenme katsayısını azaltmak, geometrik boyutları ve hızı bilinen aracın hava direnç kaybının düşürülmesiyle mümkündür. Cisim dış formundan dolayı hava akışında ne derece az bozuntuya neden olursa sürüklenme katsayısı ve bununla birlikte sürüklenme kuvveti de o derece düşük olur.

Bu çalışmada bir güneş arabasının dış geometrisi için düşünülen 4 farklı kanat profilinin hava akışı içerisinde maruz kaldığı sürüklenme kuvvetleri analiz edilmiştir. Bunun için geometrik olarak birbirinden farklı bu kanat modelleri 3D yazıcıda imal edilmiştir. Deneylerde hücum açısı $\alpha=0^\circ$ olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan hava akım hız değerleri güneş arabasının ortalama hız değerlerine karşılık gelmektedir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile kullanılan profillerin sürüklenme katsayısı (C_d) değerleri belirlenmiştir. Sürüklenme katsayısının en düşük olduğu kanatçık Eppler 625 olurken, en yüksek değer ise Naca Munk M-4 kanat profilinde ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, sürüklenme katsayıları, hacimleri, projeksiyon alanları ve yüzey alanları birlikte göz önüne alınarak profillerin genel değerlendirilmesi yapılarak güneş arabası dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından optimum kanat profili belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürüklenme kuvveti, Aerodinamik, Reynold sayısı, Güneş arabası,

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Aerodinamik, havanın fiziksel etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Katı bir cismin çevresinde var olan hareketli hava veya hareketsiz duran hava içinde hareketli bir katı cisim olduğunda hava, aerodinamik yasalara göre hareket eder. Havanın hareketinden dolayı oluşan direnç kuvvetleri taşıma ve sürüklenme kuvvetleri olarak bilinirler. Bir cismin geometrik boyutları nedeniyle düzgün ve doğrusal akımda oluşan süresizlik, türbülans vb. gibi akım bozukluklarından dolayı meydana gelen C_d değeri hava direnç katsayısı (sürüklenme katsayısı) olarak tanımlanır.

Araç tasarımı bakımından en önemli noktalardan biri aerodinamik etkidir. Aracın dengesi, konforu ve yakıt tüketimi üzerine direkt olarak etkilidir. Normal bir araç ortalama 100 km/h hızla hareket ederken, harekete karşı meydana gelen aerodinamik dirençler toplam dirençlerin % 75'ini oluşturmaktadır. Bu yüzden verimlilik açısından sürüklenme katsayısının düşürülmesi çok önemlidir (Altınışık vd., 2014).

Araç yüzeyine hava akımı doğrultusunda etki eden kuvvet sürüklenme kuvvetidir ve sürüklenme katsayısı, projeksiyon alanı ve göreceli hava akış hızı parametreleri ile doğru orantılıdır (Onat vd., 2004; Onat ve Canbazoğlu, 2007). Sürüklenme kuvvetini minimize etmenin yolu, tasarımsal geometrinin belirlediği sürüklenme katsayısı C_d 'nin değerini minimize etmektir.

C_d değeri birimsizdir ve hava akımı tarafından etki edilen cismin geometrik şekline bağlıdır. (Heisler, 2002). Sabit bir hücum açısı için, sürüklenme kuvvetini değiştirmek sadece sürüklenme katsayılarının değiştirilmesiyle mümkündür. Bu da cismin geometrisini değiştirerek sağlanır. Genellikle tasarımcılar, C_d 'yi minimize edecek şekilde tasarım yapmaya çalışırlar. Böylece araçlarda yakıt tasarrufu sağlanır, yüksek yapı elemanlarının rüzgara karşı dayanımı artar (Altınışık vd., 2014).

Güleren ve Demir (2011) rüzgar türbinleri için yeni profil tasarlamak amacıyla Eppler 625, Eppler 664, Clark Y, Eiffel 10 (Wright), FX 69-

PR-281 ve Naca Munk M-4 kanat profillerini düşük hücum açılarında ($0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$) ve yüksek Reynolds sayısında $CL-\alpha$ ve $CL/CD-\alpha$ değişimleri yönünden sayısal olarak incelemiştir. Sayısal çalışmalarında Spalart Allmaras (SA) türbülans modelini kullanmışlardır. CLARK-Y kanat profilinin en iyi performansa sahip olduğu ve daimi analizlerin geçerliliğinin kanat profillerine göre farklı hücum açıları ile sınırlı olduğu görülmüştür. Yılmaz ve diğerleri (2016) literatürde yaygın olarak kullanılan 3 farklı kanat profillerinin (S826, NACA 4415, NACA 63-415) aerodinamik performansları farklı hızlarda ve açılarda deneysel olarak incelemiştir. Geniş aralıklı hücum açılarında Kayseri'de kurulabilecek düşük hızda çalışan Rüzgar Enerji Santralleri için NACA 63-415 kanat profili kullanımı verim açısından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Yao ve diğerleri (2012) NACA 0018 rüzgar türbin kanat profilinin aerodinamik performansını iki boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile incelemiştir. Bu çalışmada farklı türbülans modeller ve deneysel sonuçlar ile taşıma ve sürüklenme katsayıları analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada farklı türbülans modellerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Sonuçlar rüzgar türbin kanat profilleri için örnek kabul edilebilir. Şahin ve Acır (2015), deneysel ve sayısal olarak NACA 0015 rüzgar türbin kanat profilinin taşıma ve sürüklenme performansını incelemişler, kanat profili için optimum taşımanın ve optimum performansın olduğu hücum açılarını belirlemişlerdir. Maulana ve diğerleri (2016), hesaplamaları akışkanlar dinamiği ile üç boyutlu olarak kanat profili tasarımının rüzgar türbin performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 63 serisi kanat profilleri kullanılmış ve sonuç olarak NACA 63-412 kanat profilinde belirgin iyileştirme sağlanmıştır.

Rüzgar türbinleri için farklı kanat profillerinin sayısal olarak test edildiği başka bir çalışmada farklı hücum açılarında ve farklı rüzgar hızlarında sayısal olarak test edilerek sürüklenme kuvveti katsayıları ile serbest hava akım hızıyla

değişimleri analiz edilerek, kanat performansları değerlendirilmiştir (Düz, 2016). Michael ve Bryan (2002) mesken yerlere yakın kurulabilecek sessiz ve verimli küçük rüzgar türbinleri geliştirmek amacıyla farklı kanat profili ailesinden seçilmiş E387, S822, SD2030, FX63-137, S834 ve SH3055 kanat profillerini aerodinamik ve aeroakustik yönünden rüzgar tüneline test etmişlerdir. Parezanovic ve diğerleri (2006) rüzgar türbinleri için yeni kanat profilleri tasarlamak amacıyla Naca 63(2)215, FFA-W3- 211 ve A-Airfoil kanat profillerinin performanslarını incelemişlerdir. Tangler ve Somers (1995) bir şekilde yatay eksenli rüzgar türbinleri için Nrel serisi kanat profilleri üzerinde performans analizleri yapmışlardır.

Bak ve diğerleri (2000), NACA 63-415 tipi kanat profili ile bu profilin modifiyeli halinin akış karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak rüzgar tüneli sayesinde karşılaştırmışlardır. Rüzgar tüneli testinde elde edilen veriler ile aerodinamik özellikler ortaya çıkarılmış ve geliştirilen kanat profilinin kullanılması durumunda kaldırma katsayısının artırılacağı raporlanmıştır. Shan ve diğerleri (2005), sayısal simülasyon ile NACA0012 kanat profilinin çevresindeki akım ayrılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmalarında 4° hücum açısında ve 100.000 Reynolds sayısında bir serbest akım bölgesinde bulunan NACA0012 tipi kanat profili etrafındaki akış ayrılması, girdaplar, türbülans ve sınır tabaka oluşumunu benzetimsel olarak incelemişlerdir.

Bu çalışmada; literatürde yaygın bir kullanıma sahip geometrik yapı olarak birbirinden farklı 4 kanat profilinin (Eppler 664, Eppler 625,

NacaMunk M-4, Clark Y) 3D yazıcıda imalatı yapılarak, kanat proflinin kesit doğrusu arasında kalan hücum açısı sabit tutularak ($\alpha=0^\circ$) aerodinamik direnç katsayıları deneysel olarak belirlenmiş ve birbirleriyle mukayese edilmiştir. Ayrıca, üretilen profillerin hacim ve yüzey alanları göz önünde tutularak bunların güneş arabası dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Bir başka ifadeyle bu çalışmanın temel amacı, farklı kanatçık ailelerinden alınan kanat örneklerinin sürüklenme katsayısı ve sürüklenme kuvveti deneysel olarak elde edildikten sonra birbiriyle mukayese edilerek güneş arabası dış kabuğu taslağı için optimum kanat profilini elde etmektir.

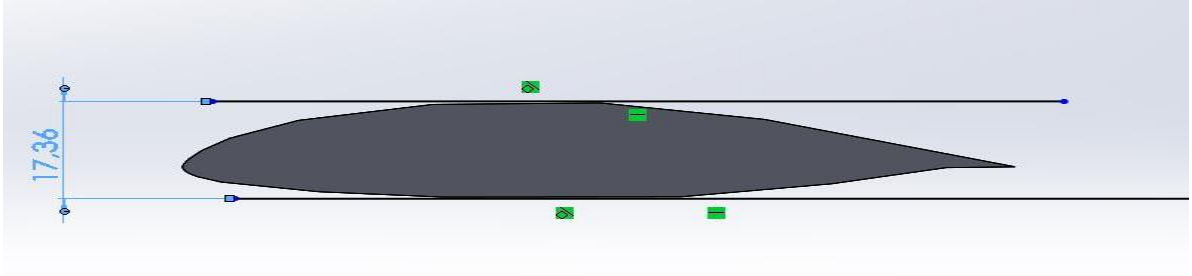
Materyal ve Yöntem

Modellerin tanımı

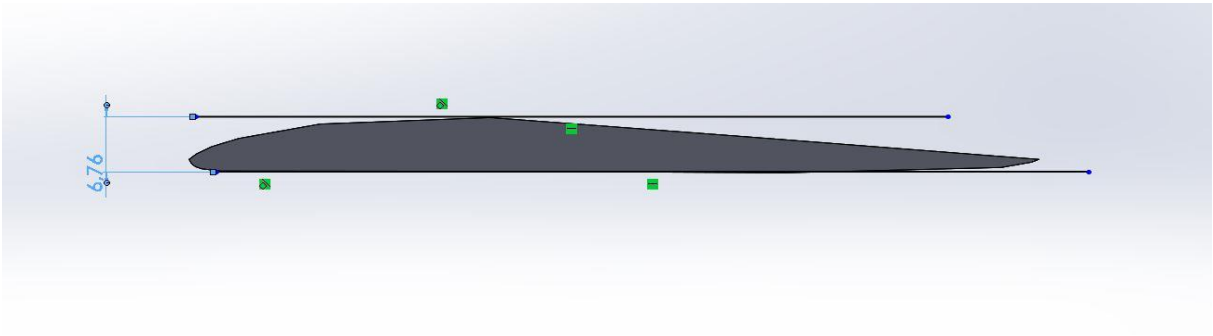
Deneysel olarak kullanılan dört farklı profilin (Eppler 664, Eppler 625, NacaMunk M-4, Clark Y) Solidworks bilgisayar programında yapılan katı model çizimleri Şekil 1-4'te verilmektedir. Deneysel her bir profil için 11 farklı fan hızında yapılmıştır. Buradaki fan hızları güneş arabasının ortalama hız değerlerine karşılık gelmektedir. Profillerin hava akımına dik kesitindeki uzun kenarı sabit olup 45 mm iken, boyu ise 100 mm'dir. Kanat profillerinin akışa karşı dik alanları (karakteristik alanları A_d), hacimleri (V) ve üst yüzey alanları (A_y) Tablo 1'de gösterilmiştir. Buna göre en büyük iç hacim, yüzey alanı ve projeksiyon kesit alanı (karakteristik alanı) Eppler 664 profili tarafından sunulmaktadır. Bunlardan iç hacim ve üst yüzey alanı parametrelerinin büyük olması güneş arabası tasarımında arzu edilmektedir.

Tablo 1. Profillerinin bazı geometrik bilgileri

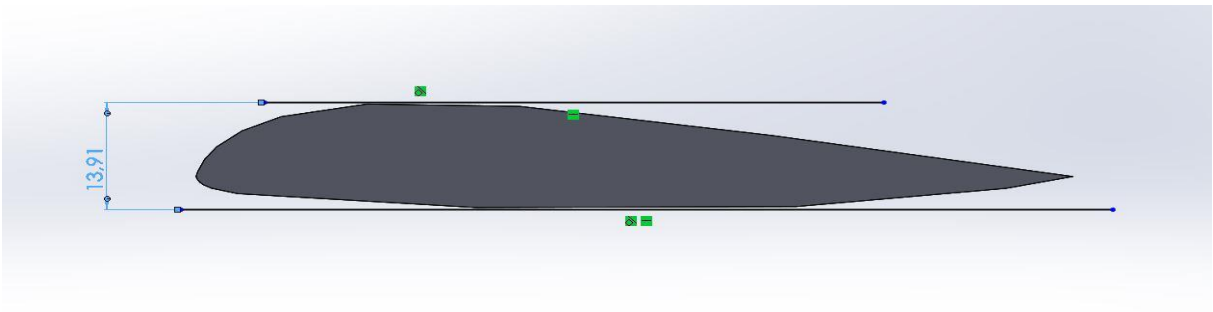
	Eppler 664	Naca Munk M-4	Eppler 625	Clark Y
A_d	781.2 mm ²	310.05 mm ²	625.3 mm ²	571.5 mm ²
A_y	4699.02 mm ²	4546.78 mm ²	4645.78 mm ²	4647.87 mm ²
V	52760.40 mm ³	20038.08 mm ³	41014.87 mm ³	37165.15 mm ³



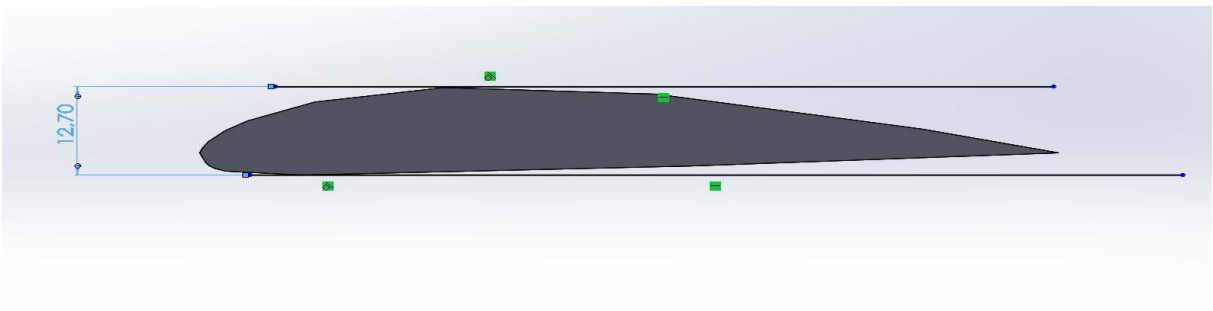
Şekil 1. Eppler 664



Şekil 2. NacaMunk M-4



Şekil 3. Eppler 625

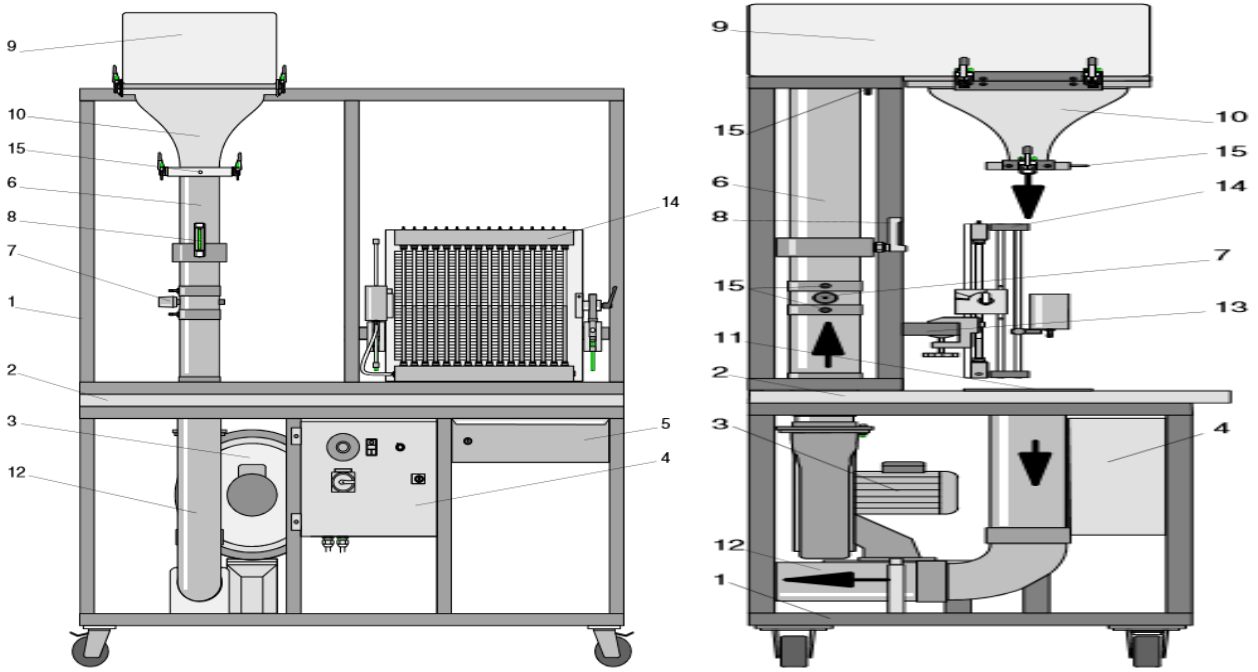


Şekil 4. Clark Y



Şekil 5. 3D yazıcıda imal edilmiş kanat profiller

Şekil 6'da deneylerin yapıldığı hava akış tezgahı görülmektedir.



Şekil 6. Hava akış tezgahı

- Hareketli şasi (1) ve tezgah üzeri masa (2)
- 0.55 kW gücünde Radyal Fan (3)
- Anahtar kutusu (4) ve çekmece (5)
- Hava alım borusu (6), valf (7) ve termometre (8)
- Hava düzenleyici (9)
- Portatif nozzle (ağızlık) (10)
- Hava girişi için Huni (11)
- Hava çıkış borusu (12)
- Sabitleyici (13) ve 16 borulu su manometresi (14) mm²
- Salmastra bileziği (15)

Ölçülen büyüklüklerin hata değerleri, ölçü araçlarının üretici firmaları tarafından önerilen hata değerleri yanında yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve deneysel tecrübelerden teorik olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılmış herhangi bir hatanın olmadığı varsayılmıştır. Bütün bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek hata değerleri şu şekilde belirlenebilir.

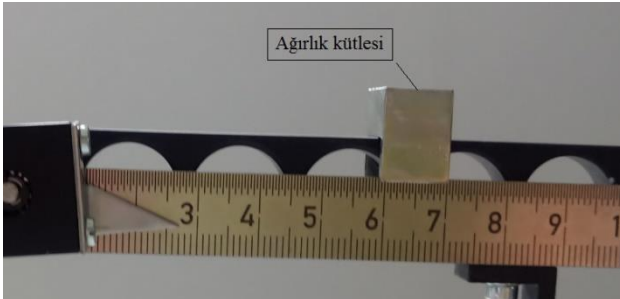
Radyal fan hızından kaynaklanan hata= $\pm 0,8$ m/s,

Dinamik basınçtan kaynaklanan hata= $\pm 1,4$ Pa,

Dinamik basıncın okunmasından kaynaklanan hata= ± 0.1 Pa,

Ağırlık kütesindeki hata= ± 0.01 gr

Kanat üzerinde akış yönünde oluşan kuvvet (F_d) sürüklenme kuvvetidir. Bu kuvvetin hesaplandığı ölçek çubuğundaki hassasiyet değer ± 0.5 olup, birimi mm'dir (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçek çubuğu

Ayrıca ölçek çubuğunun okunmasından kaynaklanan hata= $\pm 0,005$ mm,

Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı (1) denklemindeki gibi yapılabilir. Farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir (Holman, 1971).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada R, x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerinin verilen bir fonksiyonudur. W_1, W_2, \dots, W_n ise bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

Buna göre ölçek çubuğundaki değerlerin okunmasından kaynaklanan toplam hata ($W_{\text{öç}}$) (1a) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{\text{öç}} = [(a_1)^2 + (a_2)^2]^{1/2} \quad (1a)$$

$$W_{\text{öç}} = [(0.005)^2 + (0.005)^2]^{1/2}$$

$$W_{\text{öç}} = \pm 0.007 \text{ mm}$$

Dinamik basınç değerinin elde edilmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Pd}) (1b) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{\text{Pd}} = [(b_1)^2 + (b_2)^2]^{1/2} \quad (1b)$$

$$W_{\text{Pd}} = [(0.014)^2 + (0.1)^2]^{1/2}$$

$$W_{\text{Pd}} = \pm 0.1 \text{ Pa olarak bulunur.}$$

Belirlenen hata değerlerinden dolayı denklem (2), (3), (4), (5) dikkate alındığında, sürüklenme katsayısı ve Reynold sayısının hesaplanmasında sırasıyla ± 0.07 ve ± 0.1 oranlarında hata payı olduğu düşünülmektedir.

Bir uçak kanadı söz konusu olduğunda sürüklenme kuvveti uçağın hareketi için uçak motorunun yenmek zorunda olduğu kuvvettir. Deneylerde aerodinamik sürüklenme katsayısı aşağıdaki formülasyonla ifade edilir:

$$C_d = F_d / (0.5 \rho w_\infty^2 A_d) \quad (2)$$

w_∞ 'yı tespit etmek için ise, P_{din} kullanılır. Bunun için pitot tüpü yardımı ile manometreden ölçülen P_{din} 'nin birimi mmHOW olup (1mmHOW = 10 Pa) denklem (3) kullanılarak serbest hava akım hızı bulunur.

$$w_\infty = \sqrt{\frac{2P_{\text{din}}}{\rho}} \quad (3)$$

Havanın yoğunluğu $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$ (20°C 'de) alındı.

Sürüklenme katsayısının, Reynold sayısının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. ($C_d = f(Re)$). Fakat bu bağıntı $Re < 10^4$ olduğu durumlar için geçerlidir (White, 2004). Deney sonuçlarına göre hesaplanacak olan Reynold sayısı denklem (4) kullanılarak bulunabilir.

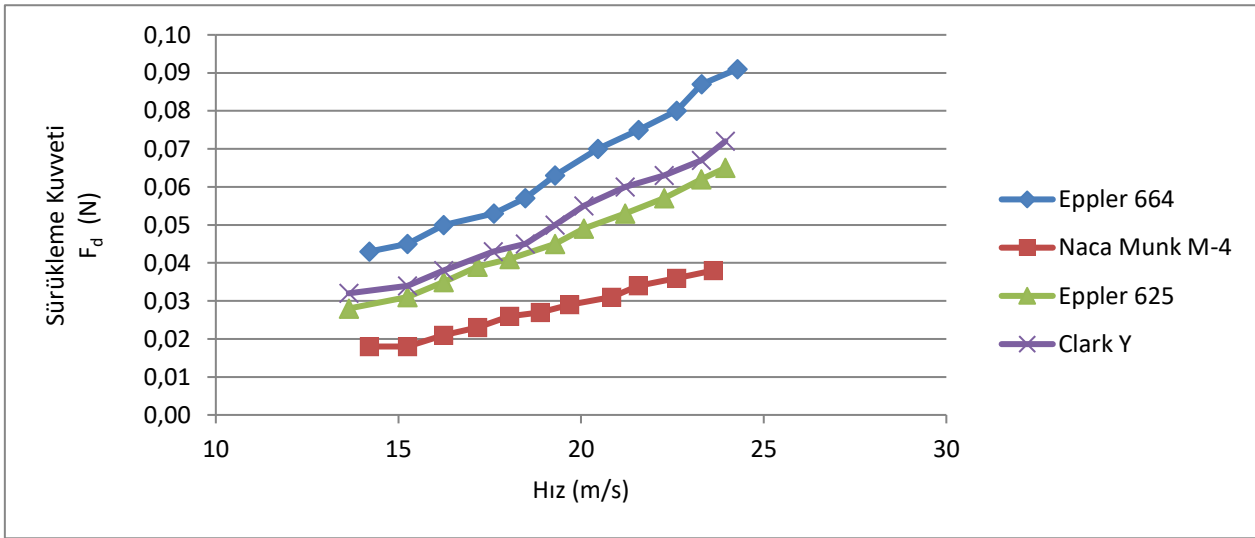
$$Re = (w_{\infty} D_h \rho) / \mu \quad (4)$$

Burada hava için dinamik viskozite $\mu = 1.85 \cdot 10^{-5}$ N/ms değeri kullanıldı.

$$D_h = 4(A_c / T_c) \quad (5)$$

Uygulama

Bu çalışmada her bir kanat profili için 4.5-7.5 m/s aralığında 0.3 m/s aralıklarla 11 farklı fan hızı kullanılarak veriler elde edilmiştir. Burada kullanılan hız değerleri güneş arabasının yapabileceği hız değerlerine göre belirlenmiştir. Her bir seri ölçümün sonuçları şekil 8'de gösterilmektedir. Burada kanat profillerine etki eden sürüklenme kuvvetinin hava akım hızına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 8. Eppler 664, Naca Munk M-4, Eppler 625 ve Clark Y için sürüklenme kuvvetlerinin hava akım hızına bağlı değişimi

Sürüklenme kuvveti hava akım hızının bir fonksiyonu olduğu gibi aynı zamanda ön izdüşüm alanının ya da karakteristik alanın bir fonksiyonudur. 4 profilde de sürüklenme kuvvetinin hava akım hızı ile birlikte arttığı görülmektedir.

Sürüklenme kuvveti ile hava akım hızının arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak da açıklamak için her bir kanat profili için regresyon analizi yapılarak korelasyon katsayıları (R^2) hesaplandı (Tablo 2). Örneğin Eppler 664 kanat profili için yapılan regresyon analiz sonuçları ele alındığında, bağımsız değişken olan hava akım hızının bağımlı değişken olan sürüklenme kuvvetindeki değişimleri %98.2205 oranı ile açıklama gücüne sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Tablo 2'de ayrıca standart hata,

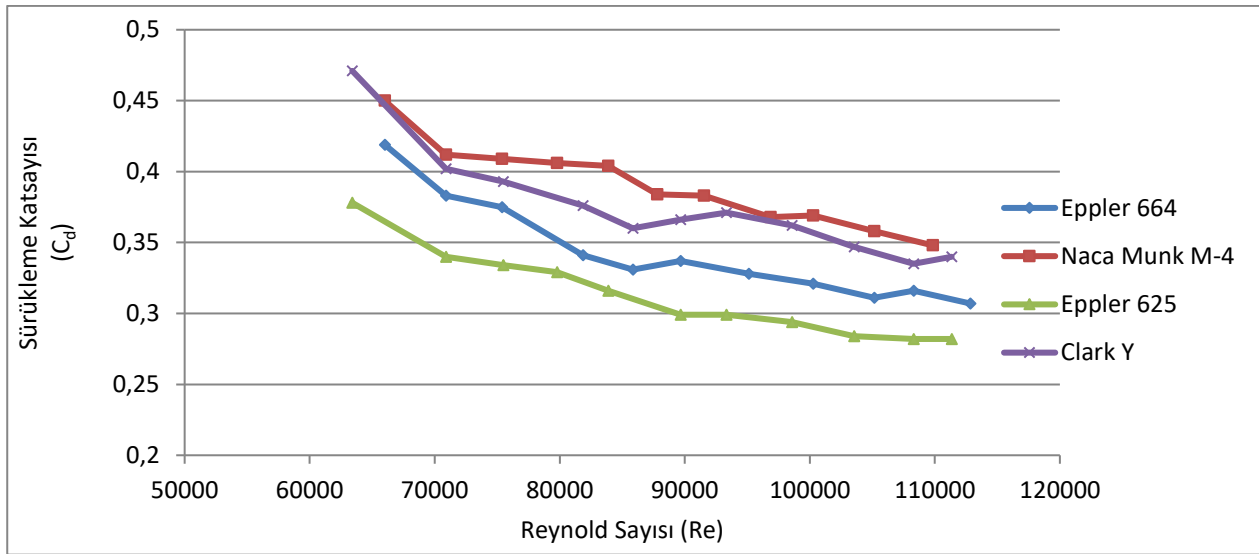
denklem kurulmak istendiğinde gerekli sabit katsayı ve bağımsız değişkenin katsayıları da görülmektedir.

Şekil 8'de sürüklenme kuvvetindeki en fazla artış Eppler 664 profilinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Eppler 664 profilinin karakteristik alanının diğer profillere göre daha büyük olmasıdır. Bir başka ifadeyle temas yüzeyi artmış ve buna bağlı olarak sürüklenme kuvveti de artma göstermiştir. Benzer şekilde Eppler 625 profilinin Clark Y profilinden, Clark Y profilinin de Naca Munk M-4 profilinden karakteristik alanının büyük olmasından dolayı sürüklenme kuvveti daha büyük çıkmıştır. Benzer sonuçlar Güleren ve Demir (2011)'in yaptıkları çalışmada da elde edilmiştir.

Şekil 9'a baktığımızda kanat profillerindeki sürüklenme katsayısının (C_d) Reynold sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Tüm kanat profillerinde de Reynold sayısının artışıyla sürüklenme katsayısının azaldığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. Regresyon analiz sonuçları

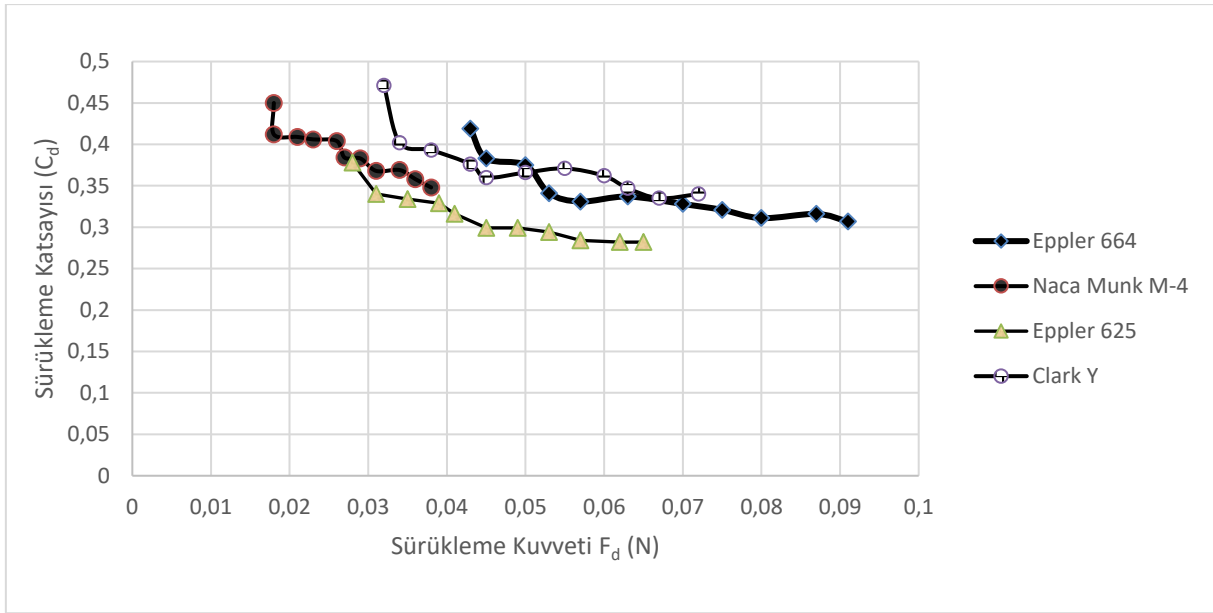
	Eppler 664	Naca Munk M-4	Eppler 625	Clark Y
Korelasyon katsayısı (R^2)	0,982205	0,990644	0,992254	0,982849
Standart hata	0,002366	0,00071	0,001152	0,001881
Kesişim katsayısı	-0,03102	-0,01542	-0,02405	-0,02674
Bağımsız değişken (x)	0,004948	0,002261	0,003657	0,004038



Şekil 9. Eppler 664, Naca Munk M-4, Eppler 625 ve Clark Y için aerodinamik direnç katsayısının Reynold sayısına bağlı değişimi

Şekil 9'da en yüksek hava direnç katsayısının Naca Munk M-4 kanat profilinde olduğu gözlemlenirken, en düşük hava direnç katsayısı ise Eppler 625 kanat profilinde elde edilmiştir. İlk değer olarak Clark Y kanat profilinin C_d değeri büyük olmasına rağmen, bu değer için Reynold sayısı, Naca Munk M-4 profilinin ilk değerine karşılık gelen Reynold sayısından daha küçüktür. Kanatlar içerisinde Eppler 625 profili,

hava direnç katsayısının minimum değeriyle optimum olduğu sonucuna varılmıştır. Aşağıdaki grafikte ise hava direnç katsayısının sürüklenme kuvvetine bağlı değişimi gösterilmektedir (Şekil 10). Grafikte bütün profillerde sürüklenme kuvveti ile sürüklenme katsayısı arasında genel olarak ters orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Sürüklenme katsayısının sürüklenme kuvvetine bağlı değişimi

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, güneş arabalarının dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından yüksek verimli kanat profili belirlemek için 3 farklı kanatçık ailesinden seçilmiş 4 ayrı kanat profilinin performansları sayısal olarak incelenmiştir. Bu kanatlar, 0° hücum açısında ve farklı rüzgar hızlarında (güneş arabasının ortalama hız değerleri) performans yönünden test edilmişlerdir. Sayısal sonuçlardan sürüklenme katsayısı (C_d), Reynolds sayısı, sürüklenme kuvveti ve akış hızının birbirleriyle olan değişimleri incelenmiştir.

4 profilde de sürüklenme kuvvetlerinin hava akış hızının artışıyla arttığı gözlemlenmektedir. Sürüklenme kuvvetindeki en yüksek artışın Eppler 664 profilinde olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni Eppler 664 profilinin karakteristik alanının diğer profillere göre en büyük değere sahip olmasıdır. Bunun yanında Reynolds sayısının sürüklenme katsayısıyla ters orantılı olduğu görülmektedir. Karakteristik alandan arındırılmış sürüklenme katsayısı değerlerinin en küçüğü Eppler 625 kanat profilinde elde edilmiş olup buna karşın

maksimum değeri ise Clark Y profilinde elde edilmiştir.

Yalnız sürüklenme katsayısının minimizasyonu bakımından ele alındığında optimum kanat profilinin Eppler 625 profili olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak araba tasarımında iç hacim büyüklüğü ve güneş panellerinin yerleştirileceği üst yüzey alanın büyüklüğü kriterleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu kriterlerden üst yüzey alan büyüklükleri Eppler 664, Eppler 625 ve Clark Y profillerinde çok büyük bir farklılık göstermemektedir. Hacim değerlendirme kriterine göre ise Eppler 625 profili en iyi ikinci büyük iç hacmi sunmaktadır.

Eppler modelleri arasında en önemli farklılık ise Eppler 664 profilinin üst kısımda sağlamış olduğu düşük basınçtır. Bu sonuçlara bakarak, bir kanat profilinin tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli durum kanat profilinin üstünde oluşan düşük basınçtır. Ayrıca kanat kalınlığının sürüklenme katsayısına kayda değer bir etki yaptığı tahmin edilmektedir. Bu durum sonraki çalışmada detaylı olarak değerlendirilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi (Proje numarası: 2013-62) tarafından desteklenmiştir. Çalışmamıza verdikleri destek için söz konusu kuruma teşekkür ederiz.

Semboller

C_d	:Hava direnç katsayısı
α	:Hücum açısı ($^{\circ}$)
A_d	:Karakteristik alan (mm^2)
A_y	:Üst yüzey alanı (mm^2)
V	:Hacim (mm^3)
A_d	:Modelin hava akımına dik kesitini (mm^2)
W	:Belirsiz miktarı
x	:Bağımsız değişken
R	:Bir fonksiyon
a, b	:Parametre
F_d	:Sürüklenme kuvveti (N)
w_{∞}	:Serbest hava akım hızı (m/s)
P_{din}	:Dinamik basınç (Pa)
R^2	:Korelasyon katsayısı
ρ	:Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
Re	:Reynolds sayısı
D_h	:Deney düzeneğinin hidrolik çapı (m)
A_c	:Deney düzeneğinin gerçekleştiği haznenin kesit alanı (m^2)
T_c	:Haznenin çevresi (m)
μ	:dinamik viskozite (N/ms)

Kaynaklar

- Altınışik, A., Kütükçeken, E., Yemenici O., Umur H., (2014). Gerçek araç modeli üzerinde deneysel ve sayısal aerodinamik analizler. OTEKON' 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa.
- Bak, C., Fuglsang, P., Johansen, J., Antoniou, I., (2000), Wind tunnel tests of the NACA63-415 and a modified NACA63-415 airfoil, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark, Roskilde.
- Düz, H., (2016), Rüzgar türbinleri için, farklı kanat profillerinin sayısal olarak test edilmesi, Apjes IV-II, 41-51.
- Güleren, K., M., ve Demir, S., (2011), "Rüzgar Türbinleri İçin Düşük Hücüm Açılarında Farklı Kanat Profillerinin Performans Analizi" *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31,2, 51-59.
- Heisler, H., (2002), *Advanced vehicle technology*, second edition, Butterworth–Heinemann, Great Britain.
- Holman J. P., (1971), *Experimental methods for engineers*, Mc Graw Hill Book Company, 37-52.
- Maulana, M., I., Qaedy, T., M., Nawawi, M., (2016), "Design analysis of vertical wind turbine with airfoil variation" *Proceeding of the 4th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE-SEAM 2015)*, 1717.
- Michael, S., S. and Bryan, D., G., (2002), "Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Airfoils for Use on Small Wind Turbines" *National Renewable Energy Laboratory, Period of Performance*.
- Onat, C., Kepçeler, T., Orgül, O.B., (2004), Rüzgar türbini kanatlarının katı modellemesi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 45, 533, 10-17.
- Onat, C., Canbazoglu S., (2007), Wind energy potential of Southeast Anatolia Region of Turkey and an optimum wind turbine propeller design for Siverek, *Energy Exploration and Exploitation*, 25, 2, 107-121.
- Parezanovic, V., Rasuo, B., Adzic, M., (2006), "Design of Airfoils for Wind Turbine Blades" *The French-Serbian European Summer University: Renewable Energy Sources and Environment Multidisciplinary Aspect*, 17-24, Rnjačka Banja, Serbia.
- Shan, H., Jiang, L., Liu, C., (2005), Direct numerical simulation of flow separation around a NACA0012 airfoil, *Computers&Fluids* 34, 1096–1114.
- Şahin, İ., ve Acır, A., (2016), "Numerical and experimental investigations of lift and drag performances of NACA 0015 wind turbine airfoil" *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 3(1): 22-25.
- Tangler, J., T., Somers, D., M., (1995), "NREL Airfoil Families for HAWT" *Proc. Wind Power '95*, Washington D.C., ABD, 117-123.
- White, M.F., (2004). "Akışkanlar Mekaniği", McGraw Hill, London, 210-220.
- Yılmaz, İ., Çam, Ö., Taştan, M., Karcı, A., (2016), "Farklı rüzgar kanat profillerinin aerodinamik performanslarının deneysel incelenmesi" *Journal of Polytechnic*, 19 (4): 577-584.
- Yao, J., Yuan, W., Wang, J., Xie, J., Zhou, H., Peng, M., Sun, Y., (2012), "Numerical simulation of aerodynamic performance for two dimensional wind turbine airfoils," *International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation*, *Procedia Engineering* 31: 80 – 86.

Experimental evaluation of different airfoils for a solar car

Extended abstract

In general, aerodynamic is a subject of science which examines the physical effects of air. When a solid body moves in air or air flows around a solid object, the air acts based on the laws of aerodynamic. The forces caused by the relative movement of air are drag forces.

C_d value is known as air resistance coefficient and emerges as a result of the current distortions such as the discontinuity and turbulence that were produced in uniform linear flow because of external area of a solid object.

Depending on external area of object, as the object causes less distortion in the airflow so the drag coefficient and the drag force becomes very small. The only way to reduce the air resistance loss of a vehicle whose speed and geometric dimensions are known, is to reduce the drag coefficient C_d which is dependent on the vehicle's external form.

A vehicle with constant power can reach higher speed and reveals the importance of C_d value since high performance is targeted on racing cars engine.

Vehicle forms are tried to be designed like droplets to reduce value of C_d . The ideal shape is symmetrically shaped relative to the horizontal axis, which is known as the water drop shape. The profile in the drop form has minimal distribution in the line current.

One of the key issues in the design of a car is to minimize the drag coefficient. In this study, the drag coefficient exerted in the air flow of 4 different airfoils (Eppler 664, Eppler 625, Naca Munk M-4, Clark Y) produced in the 3D printer, which is considered for the outer geometry of a sun car, was analyzed. Experiments were carried out in wind tunnel which has a radial fan at 0.55 kW power. For each airfoil, 11 different fan speeds were used at intervals of 0.3 m / s in the range of 4.5-7.5 m / s. In the experiments, the attack angle was used as $\alpha=0^\circ$. The drag coefficient (C_d) of the shapes which were used were obtained with the obtained datas. In addition, the relationships between the drag force (F_d) and the airflow velocity, the drag force and the Reynolds number, the drag coefficient and the drag

force were revealed for each airfoil. The drag coefficient which is the most important parameter was calculated for each airfoil. Optimum airfoil was tried to obtain. Also, the relationship between the drag coefficient and airfoil area was researched.

As we can see from the obtained results, it was shown that optimum airfoil is Eppler 625 profile. As a result, the general evaluation of the profiles which are based on the design for the outer shell of solar car was determined.

In addition, it can be evaluated as an important infrastructure study in terms of usability of the optimum airfoil determined by this study as an outer shell for sun vehicles.

Keywords: Drag force, aerodynamic, reynold number, solar car.



Kompozit Malzemeler için İlerlemeli Hasar Analizinde Çözümü Etkileyen Faktörler

Mete Onur KAMAN*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mkaman@firat.edu.tr ORCID: 0000-0003-0178-6079, Tel: (424) 237 00 00 (5315)

Kadir TURAN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
kturan@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-4065-9649, Tel: (412) 248 84 01 (3603)

Geliş: 10.04.2018, Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin hasarları anizotropik yapıları gereği geleneksel malzemelere göre daha karmaşık ve ayrıntılıdır. Matris ve fiberin ayrı ayrı çekme, basma ve kayma hasarlarının belirlenmesine olanak sağlayan Hashin hasar kriteri, ilerlemeli hasar analizi için kullanılır. İlerlemeli hasar analizinde; her bir elemandaki yüklenme sonrası elde edilen gerilme değerleri, ilgili malzeme dayanım değerlerine göre hasar formülünde kullanılarak hasar kontrolü yapılır. Eğer elemanda hasar elde edilirse o elemana ait mekanik özellikler sıfıra yakın değerler ile çarpılarak, malzeme özellikleri indirgenir. Devamında indirgenmiş elemanlar içeren model tekrar yüklenerek hasarın ilerlemesi sağlanır. Hasar analizinde uygulanacak yüklemenin veya yer değiştirmenin belirli bir oranda artırılması gereklidir. Sonlu eleman modelindeki eleman sayısının da ayrıca optimizasyonu yapılmalıdır. Her iki durum da hasar ilerlemesini etkileyebilen faktörlerdir. Bu çalışmada çekme yükü etkisinde, ortasında dairesel delik bulunan fiber takviyeli kompozit levhalarda hasar ilerlemesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Hashin hasar kriteri kullanılarak yapılan çalışmada levha kenarına üniform yer değiştirme uygulanarak levhada oluşan reaksiyon kuvvetleri hesaplanmıştır. Kompozit levhanın sonlu eleman sıklığı ve ilerleme adımına karşılık levhada oluşan reaksiyon kuvvetleri yer değiştirme değerleri ile birlikte grafikler halinde sunulmuştur. Uzama artışı miktarının artırılması levhada meydana gelen maksimum reaksiyon kuvvetini artırmıştır. Delik çevresinde eleman boyutunun artırılması da reaksiyon kuvvetini artırmıştır. Ancak bu artış uzama adımı sayısının artışı kadar etkili değildir.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli kompozitler; ilerlemeli hasar; Hashin; gerilme analizi; levha;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Fiber takviyeli kompozit malzemeler artık günümüzde havacılık ve uzay sanayinin yanı sıra otomobil sektöründe de kullanım oranını artıracak kadar yaygınlaşmıştır. Geleneksel malzemelere göre kırılma davranışı daha karmaşık olan bu tip malzemelerin hasar ilerlemesini incelemek bu noktada büyük önem taşır. Anizotropik malzemelerde hasarı belirlemek amacıyla *Tsai Hill*, *Tsai-Wu* gibi hasar teorileri geliştirilmiştir (Kaw, 2006). Ancak bu tip hasarlar kompozit yapı içerisindeki hasarların matris mi yoksa fiber hasarı mı olduğu konusunda herhangi bir açıklama yapmaz. *Hashin* (Hashin, 1980), *Puck* (Lee vd., 2015) gibi hasar teorileri ise yapıda meydana gelen hasarın fiber veya matriste meydana geldiğini belirttiği gibi çekme, basma, kayma veya tabakalar arası ayrılma durumunu da açıklamaktadırlar. Özellikle sonlu elemanlar metodunun gelişmesine paralel olarak bu tip hasar kriterlerini içeren hasar analizi çalışmaları büyük hız kazanmıştır. Kompozitler için ara yüzey eleman (interface element) (Bai vd., 2017; Riccio vd., 2017) ve ilerlemeli hasar (progressive failure) (Liu vd., 2014; Warren, vd., 2016) teknikleri güncel metotlar arasındadır. Ara yüzey eleman modelinde hasar bölgesi çalışma öncesinde belirlenmektedir ve maksimum hasar gerilmesinin aşıldığı durumlarda ilgili yüzeylerde kompozitin tabakaları arasında ayrılma (delamination) hasarının oluşması sağlanır (Yang vd., 2017). Ancak ilerlemeli hasarda çözüm başlangıcında hasarın hangi yönde ilerleyeceği bilinmemektedir. Eğer ilgili sonlu elemanda hasar elde edilirse o elemana ait mekanik özellikler sıfıra yakın değerler ile çarpılarak, malzeme özelliklerinin indirgenmesi sağlanır (Cheng vd., 2017). Devamında indirgenmiş elemanlar içeren model tekrar yüklenerek hasar ilerletilir.

Kompozit malzemelerin hasar davranışında *Hashin* hasar kriteri deneysel sonuçlarla uyumlu bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca bu kriterin

farklı kriterlerle karşılaştırması yapılmakta (Duarte vd., 2017) ve modifikasyonları geliştirilmektedir (Gu ve Chen, 2017). Coelho ve diğerleri (2017) ortasında dairesel delik bulunan kompozit levhalarda ilerlemeli hasar analizini *ABAQUS* sonlu elemanlar paket programı ile gerçekleştirmişlerdir. Analizlerinde hasar başlangıcı ve nihai hasarı *Hashin* hasar kriterine göre incelemiş olup, farklı modeller için analizlerini literatür ile doğrulamışlardır. İki tabakalı karbon/bizmaleimit kompozit levhaların hidro-termal şartlarda ilerlemeli hasar analizi Zhang ve diğerleri (2015), tarafından gerçekleştirilmiştir. *Hashin* hasar kriterinin kullanıldığı çalışmada sayısal sonuçların doğruluğu deneysel verilerle kontrol edilmiştir. Shen ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada ise deniz araçlarında kullanılan L-tipi bağlantıların basınç yükü altındaki hasar davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Hasar başlangıcı ve ilerlemesi *Hashin* kriterine göre kontrol edilmiştir. Xiao ve diğerleri (2017), dairesel delikli CCF300/QY8911 ve T300/QY8911 kodlu kompozitlerde hasar mekanizmalarını, delaminasyon ilerlemelerini ve artık gerilmeleri, deneysel ve sayısal olarak analiz etmişlerdir. İki ve üç boyutlu olarak gerçekleştirilen sayısal çalışmada *Hashin* ve *Tsai-Wu* hasar kriterlerine göre çözümler karşılaştırılmıştır. Alüminyum tabaka ve cam fiber kompozit levhanın birleştirilmesinden meydana gelmiş olan hibrit kompozitlerin hasar davranışları Sharma ve diğerleri (2017) tarafından araştırılmıştır. Delaminasyon etkisi de ayrıca çalışmada incelenmiştir. Özellikle pim bağlantılı kompozitlerin hasar davranışının modellenmesinde de deneysel verilerle uyumlu sonuçları nedeniyle sıklıkla *Hashin* kriteri tercih edilmektedir (Mandal ve Chakrabarti, 2018). Havşa açılmış civata ile tek tesirli bindirme bağlantısı yapılmış kompozit levhalarda ilerlemeli hasar analizi Liu ve diğerleri (2016) tarafından yapılmıştır. Tabakalar arası hasar için kohezif kabuk eleman, fiber ve matris hasarları için ise üç boyutlu katı eleman kullanılmış olup, malzeme mekanik özelliklerinin indirgemesi

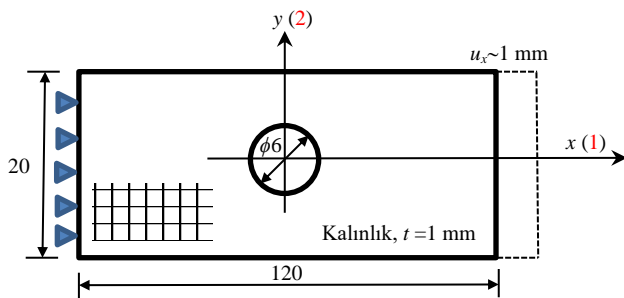
Camanho kuralına göre gerçekleştirilmiştir. Sola ve diğerleri (2016) kompozit malzemelerde pim ezilme davranışını *Hashin* hasar kriterine göre incelemişlerdir. Analizlerinde delik çevresinde lokal olmayan efektif gerilmeleri de dikkate almışlardır.

Çalışmaların sayısal bölümünde, *Hashin* hasar kriterinin uyumluluğu ve kontrolü yapılan deneysel çalışmalarla kontrol edilmektedir. Ancak sonlu elemanlar yönteminde sonlu eleman ağı ve yükleme adımlarının sıklığının çözüm sonuçlarının direkt olarak etkilediği bilinmektedir ve optimizasyonu özel bir analiz gerektirir. Ayrıca nihai hasar yüküne, genellikle indirgenmiş eleman bölgesinin sonlu eleman ağı üzerinde deney ile uyumlu ilerlemesine göre karar verilmektedir (Turan vd., 2015; Turan ve Orcen, 2017). Bu çalışmada ise, çekme yükü etkisindeki ortasında dairesel delik bulunan kompozit levhada sayısal nihai hasar değeri, çekme testlerinde olduğu gibi kırılma sonucu maksimum reaksiyon kuvvetinin düşmeye başladığı nokta kontrol edilerek belirlenmiştir. İlerlemeli hasar analizi için *Hashin* hasar kriteri kullanılmış, levhanın istenilen uzama miktarına karşılık hesaplanan reaksiyon kuvvetleri kullanılarak levhaya ait sayısal yük yer-değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Yükleme adımlarının ve sonlu eleman ağı sıklığının reaksiyon kuvvetleri üzerindeki etkisi grafikler halinde sunulmuştur.

Materyal ve Yöntem

Problem Tanımı

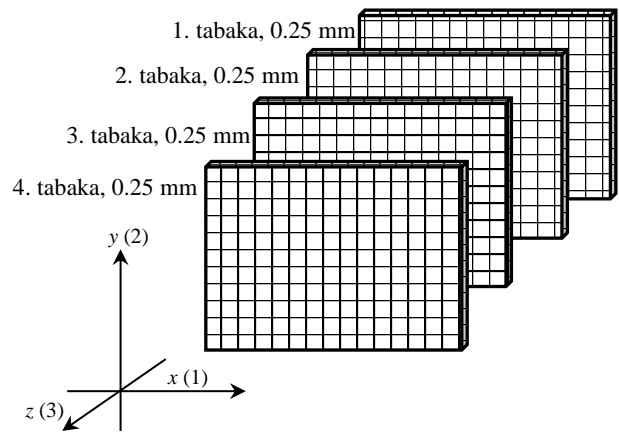
İlerlemeli hasar analizi gerçekleştirilecek olan kompozit levhanın boyutları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ortasında dairesel delik bulunan

tabakalı kompozit levha.

Levha malzemesi çapraz örgü dokuma, karbon/epoksi kompozit olarak seçilmiştir. $[0^\circ]_4$ dizilimli kompozitin fiber takviye açısı, levhanın yükleme doğrultusuna paraleldir (Şekil 2). Toplam 1 mm kalınlıktaki kompozitin sol tarafı sabit mesnetlenmiş olup ($u_x = 0, u_y = 0, u_z = 0$) sağ tarafındaki kenarın fiber doğrultusunda toplam 1 mm'nin üzerinde uzayacağı kabul edilmiştir ($u_x \neq 0, u_y = 0, u_z = 0$). Analizlerde kullanılan kompozit malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1'deki gibi seçilmiştir.



Şekil 2. $[0^\circ]_4$ dizilimli dokuma karbon/epoksi kompozit levha.

Tablo 1. Tabakalı kompozitin mekanik özellikleri

E_1 , fiber doğrultusundaki (1) elastisite modülü	37000 MPa
E_2 , fibere dik doğrultudaki (2) elastisite modülü	37000 MPa
G_{12} , 1-2 düzlemindeki kayma modülü	878 MPa
ν_{12} , 1-2 düzlemi için Poisson oranı	0.25
X_t , fiber doğrultusundaki (1) çekme dayanımı	570 MPa
Y_t , fibere dik doğrultudaki (2) çekme dayanımı	570 MPa
S , 1-2 düzlemindeki kayma dayanımı	68.9 MPa
X_c , fiber doğrultusundaki (1) basma dayanımı	242 MPa
Y_c , fibere dik doğrultudaki (2) basma dayanımı	242 MPa

basma dayanımı	
----------------	--

Hashin Hasar Kriteri

Hashin hasar kriteri kompozit tabakasında meydana gelen hasarın matriste veya fiberde olduğunu ayrıca, çekme, basma veya kayma hasarı olduğunu belirtmektedir. Buna göre eğer sayısal çözümde herhangi bir elemenda hesaplanan gerilmelere göre fiber çekme hasarı,

$$\left(\frac{\sigma_1}{X_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (1)$$

durumunda $\sigma_1 > 0$ şartı için, fiber basma hasarı,

$$\left(\frac{\sigma_1}{X_c}\right)^2 \geq 1 \quad (2)$$

için $\sigma_1 < 0$ olduğu zaman, matris çekme hasarı,

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (3)$$

durumunda $\sigma_2 > 0$ için, matris basma hasarı,

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (4)$$

durumunda $\sigma_2 < 0$ halinde, matris kayma hasarı ise,

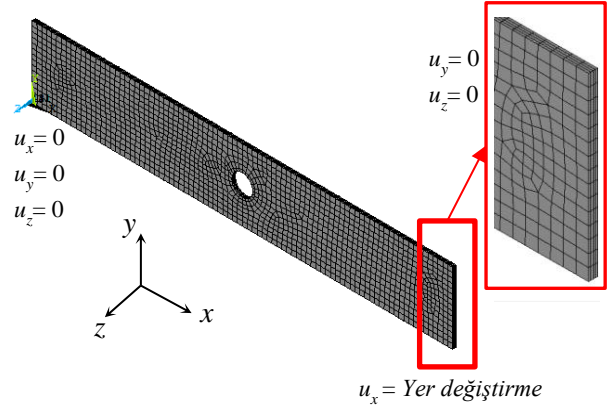
$$\left(\frac{\sigma_1}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (5)$$

eşitliği sağlandığı zaman $\sigma_1 < 0$ için ortaya çıkar (Hashin, 1980). Denklemlerdeki σ_1 ve σ_2 fiber ve fibere dik doğrultudaki normal gerilmeler, τ_{12} , τ_{23} ve τ_{13} ise sırasıyla 1-2, 2-3 ve 1-3 düzlemlerindeki kayma gerilmeleri bileşenleridir.

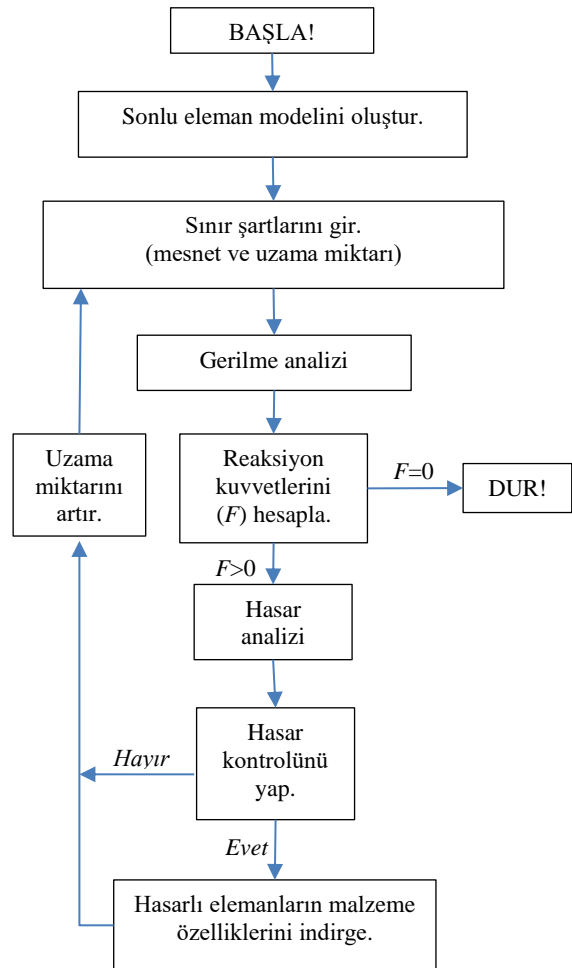
Sonlu Eleman Modeli

Farklı modeller için sonlu eleman ağ yapılarında ~27000 düğüm ve ~6000 eleman bulunmaktadır. *Solid186* eleman tipi kullanılmıştır (Şekil 4). Levhanın sağ kenarındaki uzama, 0.1 mm, 0.05 mm ve 0.025 mm'lik alt adımlarla kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme lineer elastik olarak tanımlanmıştır. Toplam 1 mm kalınlığındaki $[0^0]_4$ kompozit levhayı oluşturan dört tabaka karbon fiber 0.25 mm kalınlıkta ayrı hacimler halinde tanımlanmış olup, tabakaların

birbirine mükemmel bağlı olduğu kabul edilmiştir. Kompozit malzemelerin ilerlemeli hasar analizini sonlu eleman paket programında gerçekleştirebilmek için alt programların yazılarak paket program içerisinde kullanılması gerekir (Bai ve Zhang, 2016).



Şekil 4. Tabakalı kompozit levhanın sonlu eleman modeli.



Şekil 5. Hashin ilerlemeli hasar analizi döngüsü.

Bu çalışmada, ANSYS sonlu eleman programında APDL (Parametric Design Language) alt kodlar kullanılarak hasarın ilerletilmesi yer değiştirme adımları sayesinde gerçekleştirilmiştir. İlerlemeli hasar analizi için yazılan kodlara ait program döngüsü Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 5'te verilen döngüye göre sonlu eleman modelinde her bir eleman için hasar kontrolü yapıldıktan sonra ilgili elemanın malzeme özelliklerinin indirgenmesi gerekir. Malzeme özellikleri indirgenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. İndirgeme; aşağıda 6 nolu denklemde görüldüğü gibi, malzemenin başlangıçtaki hasarsız mekanik özelliğinin (MP) bir katsayı ile ($\eta \ll 1$) çarpılarak düşürülmesi kuralına dayanır.

$$MP_{hasarlı} = \eta(MP_{hasarsız}) \quad (6)$$

Bu çalışmada kullanılan malzeme indirgeme kuralı Tablo 2'de sunulmuştur. Fiber çekme ve basma hasarı yapı için baskın ve yıkıcı hasar olduğundan dolayı malzemenin tüm mekanik özellikleri indirgenirken, matris çekme ve basma hasarlarında fibere dik doğrultudaki elastisite modülü ve Poisson oranı, matris kayma hasarı durumunda ise kayma modülü ve Poisson oranı indirgenir. Çalışmada indirgeme katsayısı $\eta = 0.00001$ olarak alınmıştır.

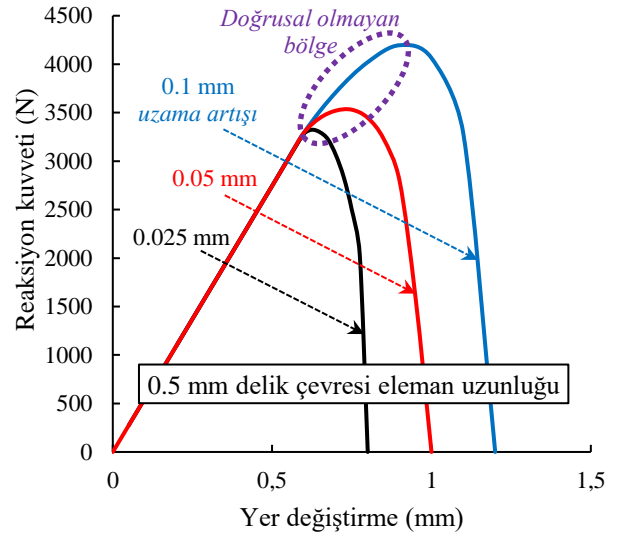
Tablo 2. Malzeme mekanik özellikleri için indirgeme kuralı

Hasar tipi	İndirgenecek özellik (MP)
Fiber çekme	$E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}$
Fiber basma	$E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}$
Matris çekme	E_2, ν_{12}
Matris basma	E_2, ν_{12}
Matris kayma	G_{12}, ν_{12}

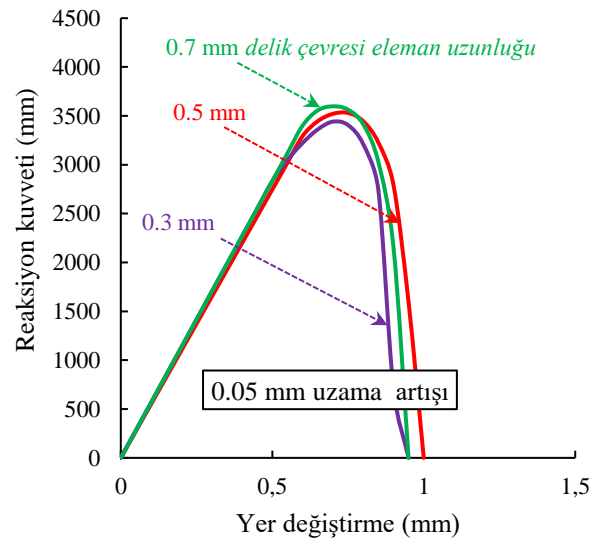
Sonuçlar

Ortasında dairesel delik bulunan kompozit levhanın ANSYS sonlu elemanlar paket programında yapılan ilerlemeli hasar analizi sonucunda toplam ~1 mm uzama için elde edilen sayısal yük-uzama grafiği Şekil 6'da

gösterilmiştir. Şekil 6'da verilen grafikte dikdörtgen levhanın dört dik kenarı ve delik çevresi boyunca eleman uzunluğu 0.5 mm'dir. Farklı uzama adımları için (0.025 mm, 0.05 mm ve 0.1 mm) kompozit levhada elde edilen reaksiyon kuvvetinin yer değiştirme ile değişimi verilmiştir. Grafiğe göre uzama artış miktarının artması hasar başlangıcından önce reaksiyon kuvvetinin şiddetinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Ancak hasar başlangıcı ile birlikte uzama adımının artırılması maksimum reaksiyon kuvvetinin değerini artırmaktadır. Ayrıca maksimum hasar yükünün elde edildiği uzama miktarını da artırmaktadır.



Şekil 6. Reaksiyon kuvvetlerinin farklı uzama aralıkları için yer değişimi ilişkisi.

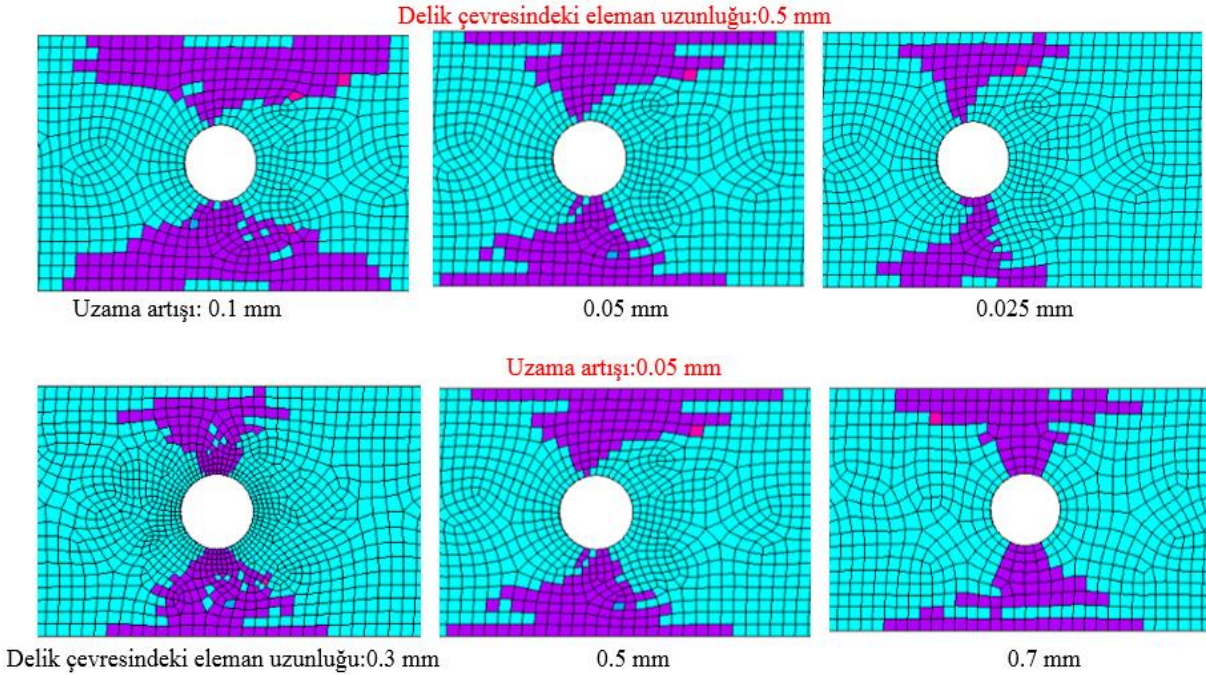


Şekil 7. Reaksiyon kuvvetlerinin delik kenarı boyunca farklı eleman uzunlukları için yer değişimi ilişkisi.

Hasar başlangıcından itibaren kuvvet-yer değiştirme grafiğinde maksimum yüke kadar doğrusal olmayan bölge bulunmaktadır. Bu bölge uzama adımı miktarının artışına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 7’de 0.05 mm uzama artış miktarında, delik çevresindeki farklı eleman uzunlukları için kompozit levhanın

reaksiyon kuvveti-yer değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Delik çevresinde eleman boyutunun artırılması da reaksiyon kuvvetini artırmıştır. Ancak bu artış uzama artış miktarı kadar etkili değildir. Uzama artış miktarının değişiminin yanında delik çevresindeki sonlu eleman sıklığının değişimi reaksiyon kuvvetinin miktarını daha düşük seviyede etkilemiştir (Tablo 3).



Şekil 8. Delik çevresinde meydana gelen nihai fiber çekme hasarları.

Tablo 3. Maksimum reaksiyon kuvvetinin delik çevresi eleman uzunluğu ve uzama adımı ile değişimi

Uzama adımı (mm)	Delik çevresi eleman uzunluğu (mm)	Maksimum reaksiyon kuvveti (N)
0.7	0.05	3598
0.5	0.025	3446
0.5	0.05	3521
0.5	0.1	4064
0.3	0.05	3441

Şekil 6 ve 7’de kullanılan tüm sayısal modeller için reaksiyon kuvvetinin sifıra düştüğü son çözüm adımındaki hasar resimleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Yeşil renkler hasarsız elemanı,

mor renkler fiber çekme hasarını, pembe renkler ise matris basma hasarına uğramış olan sonlu elemanı temsil etmektedir. Uzama doğrultusuna bağlı olarak kompozit levhada meydana gelen baskın hasar tipi fiber çekme hasarıdır. Çekme gerilmelerinin maksimum olduğu düşey doğrultudaki delik kenarları civarında başlayan fiber çekme hasarı bu doğrultuda ilerleyerek büyümüştür. Hasar levha kenarına ulaştığı durumda ise yük sıfırlanmıştır. Verilen resimlerde reaksiyon kuvvetleri sifıra ulaştığı andaki levha hasar resimlerini temsil etmektedir. Uzama adımının artması maksimum reaksiyon kuvvetini artırmasının sebebi Şekil 8’den görülmektedir. Buna göre uzama adımının artışına bağlı olarak yüksek yük

adımları artışları hasar başlangıcından itibaren delik çevresinde bir seferde çok fazla miktarda elemanın hasara uğramasına sebep olurken, küçük uzama adımlarında bu durum tam tersidir. Böylece büyük uzama adımlarında hesaplanmayan ara adımlar nedeniyle hasar başlangıcı sonrasında maksimum yüke kadar daha fazla reaksiyon kuvveti artışı sağlanmaktadır. 0.025 mm uzama adımı için elde edilen son hasar resmi incelendiğinde; hasarın, 0.1 mm uzama adımındaki hasara göre düşey doğrultuda daha dar bir bölgede yayıldığı gözlemlenebilir. Delik çevresinde sonlu eleman sıklığının hasarlı eleman dağılımına etkisi incelendiğinde ise delik çevresindeki hasarların genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bu durum zaten maksimum hasar yüklerinin birbirlerine benzer değerlerde olmasının da sebebidir (Şekil 7). Delik çevresinden uzaklaşp, levha serbest kenarına yaklaştıkça hasarlarda eleman boyutunun küçülmesine bağlı olarak kısmi azalmalar gözlenmiştir. Bu durum ise maksimum hasar yükü sonrasındaki reaksiyon kuvvetlerindeki değişime sebep olmuştur (Şekil 7). Benzer durum uzama adımı miktarının değişimi için incelendiğinde maksimum yük sonrası daha büyük farkların oluştuğu görülebilir (Şekil 6).

Sonuçlar

Ortasında dairesel delik bulunan tabakalı kompozit levhalarda ilerlemeli hasar analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- İlerlemeli hasar analizinde *Hashin* hasar kriteri kullanılması sonucu oluşan hasarlı elemanların etkisiyle elde edilen reaksiyon kuvvetlerindeki azalma deneysel çalışmalardaki gibi yük-uzama grafiğine yansıtılmıştır. Böylece deneysel çalışma sonucu elde edilecek yük-uzama grafiği ile eşleştirilecek olan sayısal yük-uzama değerleri yardımıyla hasar davranışı sayısal olarak daha kolay yorumlanabilecektir.
- Hasar analizinde yük veya uzama miktarının artırılması hasar başlangıcı sonrasında reaksiyon kuvvetlerini önemli oranda etkilemektedir. Adım

aralığının büyük seçilmesi maksimum hasar yükünü artırmaktadır.

- Analizlerde delik çevresindeki sonlu eleman ağ sıklığının artırılması kısmi olarak maksimum hasar yükünü azaltmaktadır. Bu nedenle yük veya yer değiştirme cinsinden ilerleme adımı, reaksiyon kuvvetleri üzerinde, bu aşamada delik çevresindeki eleman sıklığından daha önemli bir parametredir.
- Çalışmada incelenen bu parametrelerin yanı sıra malzeme mekanik özellikleri, sınır ve yükleme şartları da doğru bir şekilde tanımlanması gereken diğer etmenlerdir. Daha karmaşık deneysel çalışmalar için ilerlemeli hasar analizi yapılması durumunda, basit ve temel modeller için ideal yük ilerleme adımı ve sonlu eleman ağı sıklığı deneysel ve sayısal yük-yer değiştirme grafiği eşleştirmesiyle belirlenmelidir. Devamında gerçek problem için sayısal çözümler yapılmalıdır.

Kaynaklar

- Bai, J.B., Sheno, R.A., Yun, X.Y. ve Xiong J.J., (2017). Progressive damage modelling of hybrid RTM-made composite P-joint under four-point flexure using mixed failure criteria, *Composite Structures*, **159**, 327-334.
- Bai, Y. ve Zhang, X.Z., (2016). Progressive failure analysis of open-hole composite hoops under radial loading, *Composites Part B*, **97**, 336-343.
- Cheng, X., Wang, S., Zhang, J., Huang, W., Cheng, Y. ve Zhang, J., (2017). Effect of damage on failure mode of multi-bolt composite joints using failure envelope method, *Composite Structures*, **160**, 8-15.
- Coelho, A.M.G., Mottram, J.T. ve Harries, K.A., (2015). Finite element guidelines for simulation of fibre-tension dominated failures in composite materials validated by case studies, *Composite Structures*, **126**, 299-313.
- Duarte, A.P.C., Díaz Sáez, A. ve Silvestre, N., (2017). Comparative study between XFEM and Hashin damage criterion applied to failure of composites, *Thin-Walled Structures*, **115**, 277-28.

- Gu, J. ve Chen, P., (2017). Some modifications of Hashin's failure criteria for unidirectional composite Materials, *Composite Structures*, **182**, 143-152.
- Hashin, Z., (1980). Failure criteria for unidirectional composites, *Journal of Applied Mechanics*, **47**, 2, 329-334.
- Kaw, A.K., (2006). *Mechanics of composite materials*, Second Edition, 466, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Lee, C.S., Kim, J. H., Kim, S.K., Ryu, D.M. ve Lee, J.M., (2015). Initial and progressive failure analyses for composite laminates using Puck failure criterion and damage-coupled finite element method, *Composite Structures*, **121**, 406-419.
- Liu P., Cheng, X., Wang, S., Liu, S., Cheng, Y., (2016). Numerical analysis of bearing failure in countersunk composite joints using 3D explicit simulation method, *Composite Structures*, **138**, 30-39.
- Liu, P.F., Xing, L.J. ve Zheng J.Y., (2014). Failure analysis of carbon fiber/epoxy composite cylindrical laminates using explicit finite element method, *Composites: Part B*, **56**, 54-61.
- Mandal, B. ve Chakrabarti, A., (2018). Numerical failure assessment of multi-bolt FRP composite joints with varying sizes and preloads of bolts, *Composite Structures*, **187**, 169-178.
- Riccio, A., Costanzo, C.D., Gennaro, P.D., Sellitto, A., Raimondo, A., (2017). Intra-laminar progressive failure analysis of composite laminates with a large notch damage, *Engineering Failure Analysis*, **73**, 97-112.
- Sharma, A.P., Khan, S.H. ve Parameswaran, V., (2017). Experimental and numerical investigation on the uni-axial tensile response and failure of fiber metal laminates, *Composites Part B*, **125**, 259-274.
- Shen, W., Yan, R., Luo, B., Zhu, Y. ve Zeng, H., (2017). Ultimate strength analysis of composite typical joints for ship structures, *Composite Structures*, **171**, 32-42.
- Sola, C., Castanié, B., Michel, L., Lachaud, F., Delabie, A. ve Mermoz, E., (2016). On the role of kinking in the bearing failure of composite laminates, *Composite Structures*, **141**, 184-193.
- 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.
- Turan, K. ve Orcen, G., (2017). Failure analysis of adhesive-patch-repaired edge notched composite plates, *Journal of Adhesion*, **93**, 328-341.
- Warren, K.C., Lopez-Anido, R.A., Vel, S.S., ve Bayraktar, H.H., (2016). Progressive failure analysis of three-dimensional woven carbon composites in single-bolt, double-shear bearing, *Composites Part B*, **84**, 266-276.
- Xiao, M., Yongbo, Z., Zhihua, W. ve Huimin, F., (2017). Tensile failure analysis and residual strength prediction of CFRP laminates with open hole, *Composites Part B*, **126**, 49-59.
- Yang, Y., Liu, X., Wang, Y.Q. ve Gao, H., Li, R., Bao, Y., (2017). A progressive damage model for predicting damage evolution of laminated composites subjected to three-point bending, *Composites Science and Technology*, **151**, 85-93.
- Zhang J., Qi, D., Zhou, L., Zhao, L., Hua, N., (2015). A progressive failure analysis model for composite structures in hygrothermal environments, *Composite Structures*, **133**, 331-342.

Factors Affecting Solution in Progressive Damage Analysis for Composite Materials

Extended abstract

Damage of the fiber reinforced composite materials is more complex and detailed than conventional materials due to their anisotropic nature. The Hashin failure criterion is used for progressive failure analysis, which allows the determination of the tensile, compression and shear failure of the matrix and fiber separately.

In progressive failure analysis; the failure values are determined by using the failure formulas according to the corresponding material strength values. If the element is damaged, the mechanical properties of that element are multiplied by values close to zero, reducing the material properties. The plate with the degraded elements is then loaded again to allow the damage to proceed.

The load or displacement to be applied in the failure analysis needs to be increased in a certain area. The number of the finite elements in the numerical model must also be optimized. Both conditions are factors that can affect failure progression. In this study, the factors affecting the failure progression in fiber reinforced composite plates under tensile load with circular hole in the center were investigated. In the study using the Hashin failure criterion, the reaction forces generated in the plate were calculated by applying a uniform displacement to the edge of the plate. The variation of reaction forces with the displacement values are presented in graphs for different displacement progress steps and finite element dimensions around the circular hole edge.

The plate material was selected as woven carbon/epoxy composite. The fiber reinforcement angle of the composite is parallel to the loading direction of the plate. The left side of the composite with a total thickness of 1 mm is simply supported. It is assumed that the right side of the composite has a displacement of more than 1 mm in the total fiber direction.

There are ~27000 nodes and ~6000 elements in the finite element mesh structures for different models. Solid 186 element type was used. The elongation at

the right side of the plate was gradually achieved with the lower steps of 0.1 mm, 0.05 mm and 0.025 mm. Composite material is defined as linear elastic. Four layers of carbon fiber composite plates with a total thickness of 1 mm were defined as separate volumes with a thickness of 0.25 mm, and the layers were assumed to be perfectly bonded together.

The reduction in the reaction forces obtained by the action of the damaged elements resulting from the use of the Hashin failure criterion in the progressive failure analysis is reflected in the load-elongation graph as in the experimental works. Thus, damage behavior can be interpreted numerically more easily with the aid of the numerical load-displacement values to be matched with the load- displacement graph to be obtained from the experimental study result.

Increasing the amount of load or displacement in failure analysis significantly affects the reaction forces at the beginning of the damage. Coarse selection of the step range increases the maximum failure load.

In analyzes, increasing the finite element mesh density around the hole partially reduces the maximum failure load. For this reason, the variation of the displacement step is more important parameter than the element dimension around the hole at this stage.

In addition to these parameters studied in the study, the mechanical properties of the material, boundary and loading conditions are also other factors that need to be defined correctly. In the case of progressive failure analysis for more complex experimental studies, the ideal load step and the finite element mesh density for basic models should be determined by experimental and numerical load-displacement graph matching. Then, numerical solutions must be made for the real problem.

Keywords: *Fiber reinforced composites, progressive failure, Hashin, stress analysis, plate*



İki tekerlekli ve tek kollu robotik platformun kayan kipli denetimi ve parametre optimizasyonu

Sertaç Emre KARA *

Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
sekara@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-7463-5867, Tel: (424) 237 00 00 (5338)

Kutluk Bilge ARIKAN

TED Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara
kutluk.arikan@tedu.edu.tr ORCID: 0000-0003-2093-1577. Tel: (312) 585 0236

Geliş: 24.04.2018, Kabul Tarihi: 12.06.2018

Öz

Bu çalışmada, tek bir basit kol ile desteklenmiş iki tekerlekli robotik bir platformun denetim sistemi tasarımı için Kayan Kipli Denetim (KKD) önerilmiştir. En iyi KKD parametreleri doğrusal model temel alınarak Kaos Optimizasyon Algoritması (KOA) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, Çok-Girişli-Çok-Çıkışlı (ÇGÇÇ) doğrusal olmayan dinamik bir model ile ifade edilen sistem yardımıyla benzetim yapılarak test edilmiştir. Belirli başlangıç şartları altında, referans giriş ve bozucu giriş ile benzetim çalışmaları tekrarlanmıştır. Doğrusal model ile elde edilen parametrelerin doğrusal olmayan modelde belirli frekans aralıklarında kullanılabildiği gözlemlenmiştir. Bu tip platformlar medikal alanında ve insanın yardıma ihtiyaç duyduğu alanlarda kullanılabilecektir. Özellikle rehabilitasyon, yardımcı robotlar ve benzeri platformlar üzerine basit kol ve manipülör eklenerek belirli işleri gerçekleştirmesi beklenmektedir. Elde edilen sonuçların bilişsel robotik alanında yapılacak çalışmalarda kullanılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kayan kipli denetim; Kaos optimizasyon algoritması; Yardımcı robotlar; Rehabilitasyon robotları

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Ters sarkaç sistemi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, yürüyen robotlar ve kendini dengeleyen sistemler üzerinde yapılan çalışmalara destekleyici bilgiler vermektedir (Grasser vd, 2002). Bu tip iki tekerlekli mobil taşıtlar robotik sistemler olarak da geliştirilmektedir (Nguyen vd., 2004; Linn vd., 2011). Dolayısıyla, dengelemeye yardımcı olmak veya farklı işlevleri (tutma, destek alma, eğilme vb.) yapmak için üzerinde bir veya birden fazla eyleyici veya robotik manipülatör eklenebilmektedir. Böylece bu tip robotlar sanayi robotlarının yapabileceği türden işleri yapabilme yetenekleri kazanmaktadır. Son yıllarda robotik manipülatörlerle ilgili çalışmalar ivme kazanmaktadır (Stilman vd. 2010). Bu tip manipülatörlerin gelecekte asistan robot olarak insanlığın hizmetine sunulması öngörülmektedir.

Ters sarkaç platformlarında PID, Yapay Sinir Ağları, Kayan Kipli Denetim (KDD), Bulanık Mantık, Uyarlamalı Denetim Metotları ve bu denetim metotlarının birlikte kullanılarak hibrid denetim yapılarının oluşturulduğu çalışmalar mevcuttur. Gövdeye eklenen fazladan serbestlik derecesiyle sistem ÇGÇÇ doğrusal olmayan bir yapı oluşturmaktadır. Bu tip sistemin denetim parametrelerinin en iyisinin seçilmesi, yerel uç noktalara takılmamasına bağlıdır. Bu sorunların çözümü için sezgisel veya olasılıksal optimizasyon (en iyileme) yöntemleri kullanılmaktadır (Pathak vd., 2005; Chen vd., 1998; Prasad vd., 2011; Park vd. 2009).

Bu bildiride, KKD parametrelerinin en iyi değerleri olasılıksal optimizasyon yöntemi olan KOA ile elde edilmektedir. KOA rastgele sayı üretmek yerine kaotik serileri kullanmaktadır (Liu ve Hou, 2002; Tavazoei ve Haeri, 2006;).

Sonraki bölümlerde KKD tasarımı, KOA, ele alınan robotik platforma ait matematiksel modelin elde edilişi ve benzetim çalışmaları sırasıyla ele alınacaktır.

Materyal ve Yöntem

Kayan Kipli Denetim Tasarımı

Bu bölümde amaç referans sinyali ve sistem çıkışından elde edilen durum sinyalleri arasında oluşan hatayı sonlu zaman aralığında sıfıra indirmektedir. Bunun için bu bölümde belirlenecek kontrol kuralına ait katsayılar bir sonraki adımda KOA yöntemiyle elde edilecektir. Böylece sistem kararlılığı garanti edilmiş olacaktır.

Bu çalışmada en iyi KKD parametreleri doğrusal sistem modeli kullanılarak KOA ile elde edilecektir. Elde edilecek kontrol katsayıları ile iki tekerlekli mobil platformun gövde duruş davranışı incelenecektir. Daha sonra doğrusal sistem için en iyi olan katsayılar kullanılarak, doğrusal olmayan sistem ile benzetim çalışması yapılacaktır. Sistemin dinamik modelinin elde edilişi sonraki bölümlerde verilecektir.

Öncelikle izleme hatası $e(t)$ ve kayma yüzeyi fonksiyonu $s(t)$ ve türevi $\dot{s}(t)$ olmak üzere

$$s = \dot{e} + Ce \quad (1)$$

$$\dot{s} = \ddot{e} + \dot{C}e \quad (2)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada C kayma yüzeyinin eğimini ifade etmektedir ve $e_x = x_r - x$ 'dir. x_r istenilen durumu (istenilen x pozisyonunu) ve x ölçülen yani benzetim sonucu çıkıştan elde edilen x pozisyonunu ifade etmektedir. Benzer şekilde θ_r , istenilen gövde açısı ve θ çıkıştan toplanan gövde açısı olmak üzere, izleme hatası $e_\theta = \theta_r - \theta$ olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada x_r için farklı sinyaller uygulanmıştır. Gövde açısının olabildiğince denge noktası etrafında sabit kalması arzu edilmektedir; dolayısıyla $\theta_r = 0$ alınacaktır. Erişme evresinin tamamlanabilmesi için kayma fonksiyonu tanımlayan fonksiyonun

$$s(x)\dot{s}(x) \leq 0 \quad (3)$$

ile verilen eşitsizliği sağlaması gerekmektedir. Kayma evresi kayma yüzeyini tanımlayan fonksiyonun (4) ile verilen koşulları sağladığı durumdur.

$$s(x) = 0 \text{ ve } \dot{s}(x) = 0 \quad (4)$$

Erişme evresine yaklaşım kuralı doğrudan anahtar fonksiyonunun dinamiğini belirler. Bu çalışmada, bu kurallardan biri olan sabit değişimli erişme kuralı uygulanacaktır. Bu kontrol kuralı (5) ile ifade edilmektedir.

$$u(t) = -K \text{sign}(s) \quad (5)$$

Sonsuz frekansta anahtarlama uygulanabilir bir yöntem değildir. Çatırtı probleminin üstesinden gelebilmek için en basit ve popüler bir yöntem olan doyum (saturasyon) fonksiyonu ile işaret fonksiyonunun yer değişmesidir. Burada bir sınır tabaka tanımlanır. Bu durumda kontrol kuralı (6) ile ifade edilmektedir.

$$u(t) = \begin{cases} -K \text{sign}(s) & \text{EĞER } |e| > \varepsilon \\ -s/\beta & \text{EĞER } |e| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

Nihayet e_x ve e_θ izleme hatalarını bertaraf etmek için sırasıyla, $u_1(t)$ tekerlek motoru voltaj girişi ve $u_2(t)$ kol servo motoru tork girişi olmak üzere iki tane giriş elde edilmektedir. Dolayısıyla e_x için C_1 ve K_1 , e_θ için C_2 ve K_2 katsayıları tanımlanması gerekmektedir. Bu katsayıların en iyi değerlerini elde etmek bir sonraki bölümde KOA ele alınacaktır.

Kaos Optimizasyon Algoritması

Bir çok gerçek zamanlı doğrusal olmayan uygulamada optimizasyon problemi $L \leq x \leq U$ aralığında $\min(f_x)$ olarak tanımlanmaktadır. Burada x , L ve U $n \times 1$ boyutlu vektörler, $f(\cdot)$ doğrusal olmayan fonksiyon öyle ki $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$. Genellikle $f(\cdot)$, grandyen temelli yöntemlerde yerel minimumlara takılmaktadır. $f(\cdot)$ 'yi minimum yapmak için aday noktalar (x_c) kaotik seri vektörü ile oluşturulur.

Optimum nokta (x_i), aday noktalardan en küçük $f(x_c)$ 'yi veren noktadır. Her iterasyonda kaotik bir harita kullanılarak yeni bir kaotik seri oluşturulmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon problemi için KOA kaotik harita yöntemlerinden lojistik harita kullanılmıştır (Yıldırım vd., 2016).

$$\gamma_{n+1} = \lambda \gamma_n (1 - \gamma_n) \quad (7)$$

(7) ile ifade edilen denklemde $\lambda = 4$ olduğunda tam bir kaos durumu söz konusudur. γ_n başlangıçta 0-1 arasında oluşturulan rasgele sayı üretici ile meydana getirilmektedir. Sonraki iterasyonlar bir önceki iterasyondaki değeri almaktadır. Böylece her iterasyonda kaotik seri güncellenmektedir. x_c ise (8) ile ifade edilen birincil taşıyıcı dalga algoritması ile elde edilmektedir.

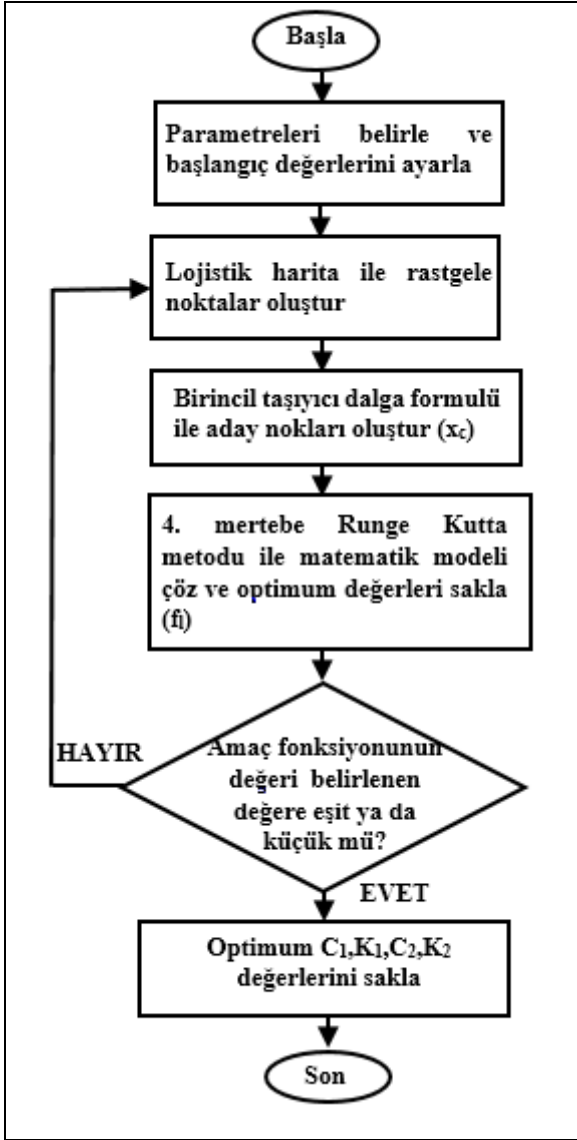
$$x_c = L + \gamma_{n+1}(U - L) \quad (8)$$

Oluşturulan aday noktalar x_c vektöründe saklı tutulmakta ve $f(x_c)$ değerleri elde edilmektedir. Her iterasyonda elde edilen optimum değerler f_i olarak saklanmaktadır. İterasyon sonunda veya amaç fonksiyonunun istenilen değerinin altında algoritma sonlandırılmakta ve optimum f değeri elde edilmektedir.

Bu aşamada aday noktalar (x_c), KKD katsayıları C_1 , C_2 , K_1 ve K_2 'yi temsil etmektedir. Optimizasyonun her iterasyonunda yeni kaotik seriler ve aday noktalar belirlenmekte ve sistemin dinamik modeli 4. dereceden Runge-Kutta metoduyla koşturularak sistemin çıkış değerleri elde edilmektedir. Optimizasyon için aday nokta sayısı 200 ve iterasyon sayısı, $j=100$ olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu olarak hata sinyallerinin (e_x ve e_θ) kareleri toplamı kullanılmıştır.

$$\sum_{1}^j e_x^2 + e_\theta^2 \quad (9)$$

Şekil 1' de uygulanan algoritmaya ait akış şeması verilmiştir.

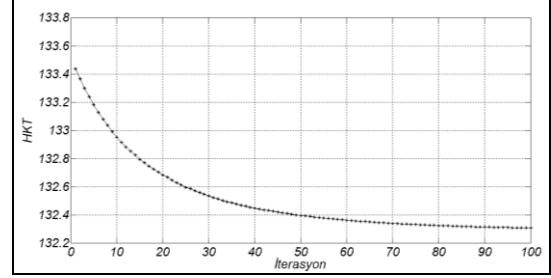


Şekil 1. Kaos optimizasyonu akış şeması

Parametrelerin belirlenmesi için dinamik modelde platformun doğrusal başlangıç konumu 0.1 m ve diğer durum değişkenleri sıfır olarak seçilmiştir. Buna göre x pozisyonunun denge noktası etrafında kararlılık göstermesi beklenmektedir. Kol açısı gövde açısının dengelenmesi için konum değiştirmektedir.

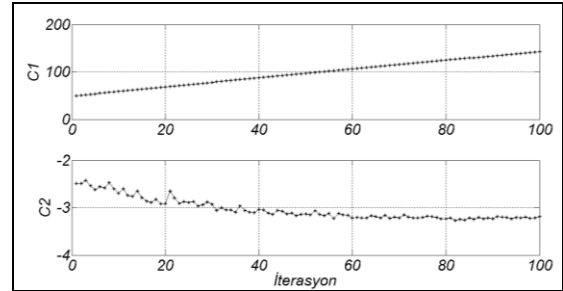
Elde edilen parametreler referans giriş ve bozucu giriş uygulanarak benzetimde kullanılmıştır. Aynı parametreler daha sonra doğrusal olmayan sistem modeline uygulanmıştır ve sonuçlar grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır.

Şekil 2’de amaç fonksiyonunun aldığı değerlerin asimptotik olarak belirli bir değere yakınsadığı görülmektedir.

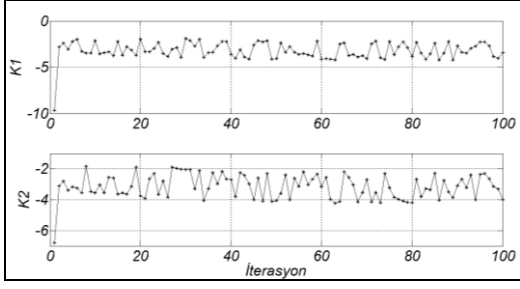


Şekil 2. Hataların kareleri toplamının iterasyon ile değişimi

Şekil 3’de C_1 ve C_2 katsayılarının optimizasyon ile aldığı değerler görülmektedir. C_1 ve C_2 değerlerinin son değerleri en iyi değerler olarak seçilmiştir. Birinci kayma yüzeyi C_1 katsayısının ilerleyen iterasyonlarda aldığı değerlerde kontrol performansında iyileştirme yapmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 3. C_1 ve C_2 katsayılarının iterasyon ile değişimi

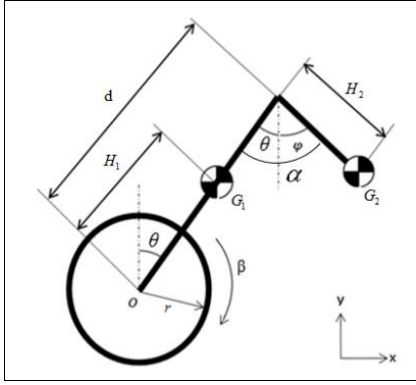
Şekil 4’de kontrol kuralına ait K_1 ve K_2 katsayılarının değişimi verilmiştir. K_1 katsayısının -5 civarında ve K_2 katsayısının -4 civarında sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 4. K_1 ve K_2 katsayılarının iterasyon ile değişimi

Sistemin Matematiksel Modeli

Şekil 5’ de sistemin serbest cisim diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. Sisteme ait serbest cisim diyagramı

Gövdenin ağırlık merkezinin x ve y doğrultusundaki doğrusal yer değiştirmesi (10) ve (11) ile verilmiştir.

$$x_b = x + H_1 \sin\theta \quad (10)$$

$$y_b = H_1 \cos\theta \quad (11)$$

Yer değiştirmelerin türevi (12) ve (13) ile verilmiştir.

$$\dot{x}_b = \dot{x} + H_1 \dot{\theta} \cos\theta \quad (12)$$

$$\dot{y}_b = -H_1 \dot{\theta} \sin\theta \quad (13)$$

Kolların ağırlık merkezinin x ve y doğrultusundaki yer değiştirmeleri (14) ve 15 ile verilmiştir. x ve y' ye ait türevler (16) ve (17) ile verilmiştir.

$$x_a = x + d \sin\theta + H_2 \sin(\alpha - \theta) \quad (14)$$

$$y_a = d \cos\theta - H_2 \cos(\alpha - \theta) \quad (15)$$

$$\dot{x}_a = \dot{x} + d \dot{\theta} \cos\theta + H_2 (\dot{\alpha} - \dot{\theta}) \cos(\alpha - \theta) \quad (16)$$

$$\dot{y}_a = -d \dot{\theta} \sin\theta + H_2 (\dot{\alpha} - \dot{\theta}) \sin(\alpha - \theta) \quad (17)$$

Lagrange Denklemi (18) ile verilmiştir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial q_i} = F \quad (18)$$

Genelleştirilmiş koordinatlar q_1, q_2 ve q_3 sırasıyla β, θ ve α olarak belirlenmiştir.

b_0, b_1 ve b_2 sırasıyla tekerlek-yer, kol-gövde ve gövde kol arasındaki vizkoz sönüm katsayılarıdır.

$$K = M_w (\dot{\beta} r)^2 + \frac{1}{2} M_b (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2} M_a (\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2) + \frac{1}{2} J_a (\dot{\alpha} - \dot{\theta})^2 + \frac{1}{2} J_b \dot{\theta}^2 + J_w \dot{\beta}^2 \quad (19)$$

$$P = -M_a g ((d \cos\theta) - H_2 \cos(\alpha - \theta)) - M_b g H_1 \cos\theta \quad (20)$$

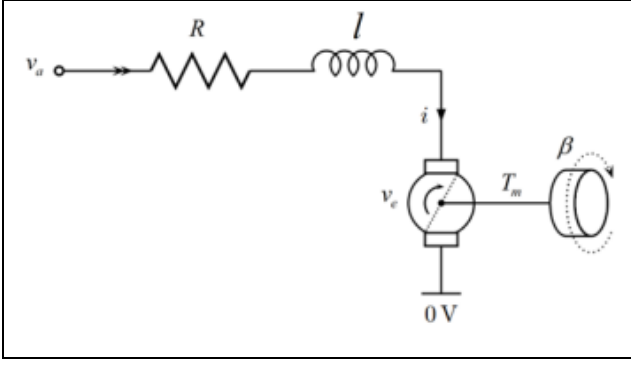
$$D = b_0 \dot{x}^2 + b_1 (\dot{\beta} - \dot{\theta})^2 + \frac{1}{2} b_2 (\dot{\alpha} - \dot{\theta})^2 \quad (21)$$

Lagrange fonksiyonu L (22) ile verilmiştir.

$$L = K - P \quad (22)$$

$$L = M_w (\dot{\beta} r)^2 + \frac{1}{2} M_b (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2} M_a (\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2) + \frac{1}{2} J_a (\dot{\alpha} - \dot{\theta})^2 + \frac{1}{2} J_b \dot{\theta}^2 + J_w \dot{\beta}^2 - M_a g ((d \cos\theta) - H_2 \cos(\alpha - \theta)) - M_b g H_1 \cos\theta \quad (23)$$

Şekil 6’ da DC motor modeli verilmiştir.



Şekil 6. DC motor modeli

Motor torku, $\tau = f(V)$ olarak ifade edilecek olup motor torku armatür akımı ve voltaj armatür akımı arasındaki ifade (24) ve (25) ile verilmiştir.

$$\tau_m = K_t i \quad (24)$$

$$V_a - Ri - L \frac{di}{dt} - V_e = 0 \quad (25)$$

Ters elektro motor kuvveti (EMF), V_e aşağıda ifade edilmiştir.

$$V_e = K_e \dot{\beta}_m \quad (26)$$

L 'nin çok küçük olduğu kabulü ile denklem yeniden düzenlenirse akım aşağıdaki gibi elde edilir.

$$i = \frac{V - K_e \dot{\beta}_m}{R} \quad (27)$$

Denklem yerine koyarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\tau_m = K_t \left(\frac{V}{R} - \frac{K_e}{R} \dot{\beta}_m \right) \quad (28)$$

İfade edilen $\dot{\theta}_m$ terimi motor şaftına göre hızı temsil etmektedir. Bu ifadeyi tekerlek ve gövde açısı cinsinden aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\beta_m = n\beta - \theta \quad (29)$$

$$\dot{\beta}_m = n\dot{\beta} - \dot{\theta} \quad (30)$$

İfade edilen motor şaftına etki eden tork ifadesi tekerleğe uygulanan tork ifadesi cinsinden aşağıda ifade edilmiştir.

$$\tau_w = n\tau_m \quad (31)$$

Denklemler düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\tau_w = \frac{nVK_t}{R} - \frac{nK_tK_e}{R} (n\dot{\beta} - \dot{\theta}) \quad (32)$$

Lagrange Denklemi çözülüp gerekli işlemler yapılırsa doğrusal olmayan denklem (33) ile verilen formda elde edilir.

$$\tau = \mathbf{M}(q)\ddot{q} + \mathbf{H}(q, \dot{q})\dot{q} + \mathbf{g}(q) \quad (33)$$

Burada $\mathbf{q} = [q_1, q_2, q_3]^T \in \mathbb{R}^3$ genelleştirilmiş koordinatı, $\boldsymbol{\tau} = [\tau_1, \tau_2, \tau_3]^T \in \mathbb{R}^3$ genelleştirilmiş kuvvetleri ve $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^3$, $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^3$, $\mathbf{g} \in \mathbb{R}^3$ ise sırasıyla atalet, merkezkaç ve koriolis, ve ağırlık matrislerini ifade etmektedir.

Bu denklemler denge noktası etrafında doğrusallaştırılırsa aşağıdaki durum uzayı modeli elde edilir.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \quad (34)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}(t)$$

Sisteme ait parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Sistem Parametreleri

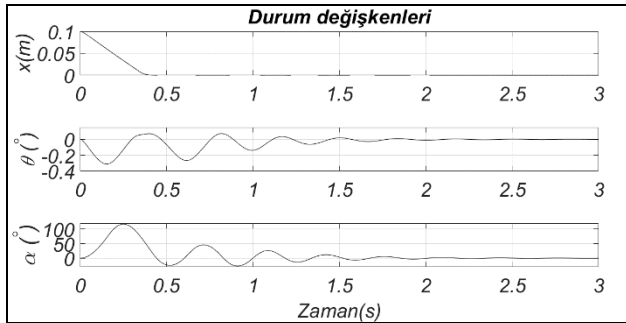
Parametre	Büyüklik
M_b	2.4 kg
M_w	0.127 kg
M_a	0.04 kg
H_1	0.22 m

J_w	0.0007 kgm ²
r	0.1 m
g	9.81 m/s ²
B_0	0.05
B_1	0.005
B_2	0.01
L_1	0.56 m
H_2	0.2 m
n	30
K_t	0.1429 Nm/A
K_e	0.1429 Nm/A
R	8.7 W

Uygulama ve Başarımlar

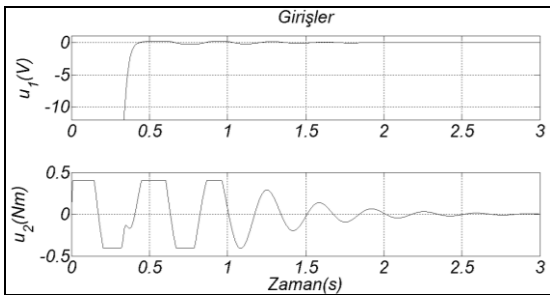
Doğrusal Model ile Benzetim Çalışmaları

Önceki bölümde bahsedilen ve optimizasyonun gerçekleştirildiği modelde x konumunun başlangıç şartı 0.1 m olarak alındığında elde edilen sonuçlar Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11' de verilmiştir.



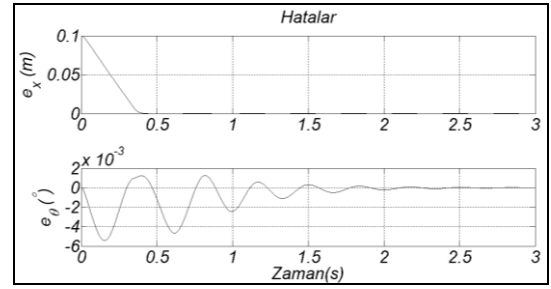
Şekil 7. Verilen başlangıç koşulları altında durum değişkenlerinin cevabı

Şekil 7'de yatay pozisyon değişkeninin kısa sürede kalıcı duruma ulaştığı gözlemlenmiştir.



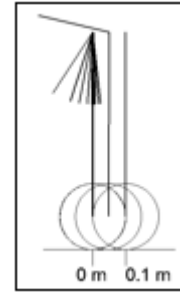
Şekil 8. Tekerlek motoru girişi u_1 voltaj girişi ve u_2 kol motoru tork girişi

Şekil 8'de tekerlek ve kol tahrik girişlerinin çatırdama sorunu olmadan denetimi sağladığı gözlemlenmiştir.

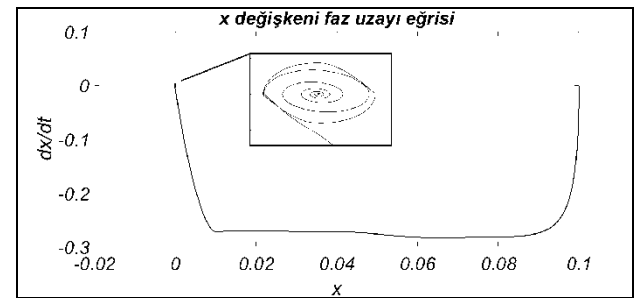


Şekil 9. x referansının hatası e_x ve gövde açısı pozisyonunun hatası e_θ

Şekil 9'de kalıcı durum hatalarının bertaraf edildiği gözlemlenmiştir. Şekil 10'da kol ve gövde hareketi görsel olarak verilmiştir.



Şekil 10. Başlangıç şartları altında benzetim görseli

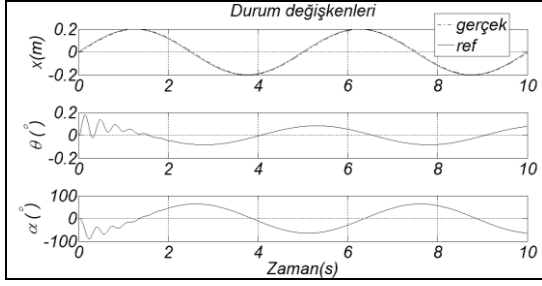


Şekil 11. x durum değişkenine ait faz uzayı eğrisi

Şekil 11'de yatay konum değişkeninin ve hızının faz uzayı eğrisinde kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

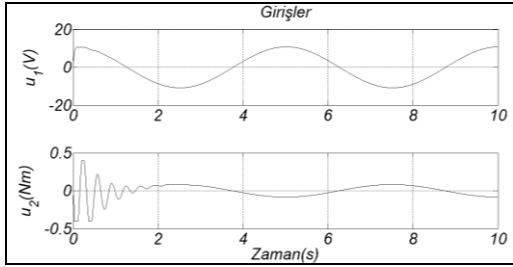
İkinci benzetim çalışmasında platformun x doğrultusundaki referans sinyali $x_{ref} = A \sin(2\pi ft)$ seçilmiş olup $A = 0.2$ m ve

$f = 0.2 \text{ Hz}$ olarak belirlenmiştir. Sistem cevabı Şekil 12, 13, 14 ve 15’de verilmiştir.



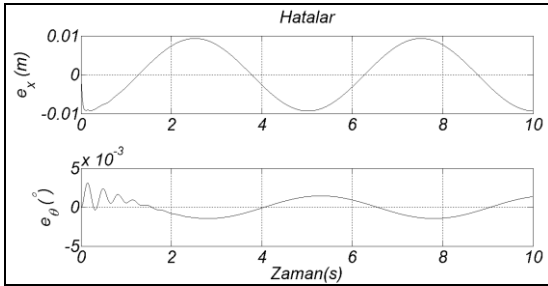
Şekil 12. Durum değişkenlerinin cevabı

Şekil 12’de yatay konum değişkeninin referansı takip ettiği gözlemlenmiştir.

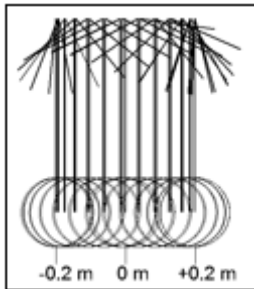


Şekil 13. Sisteme ait girişler

Şekil 13’ de sistem girişlerinin tahrik elemanlarının limitlerini aşmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 14’ de hata sinyallerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.



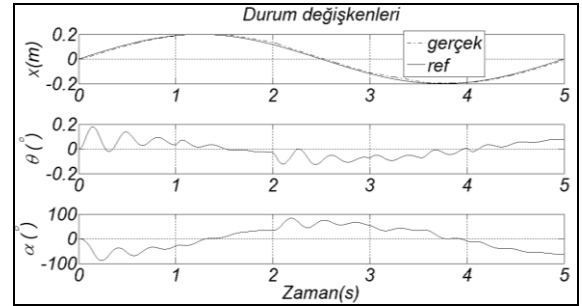
Şekil 14. Sistemden alınan hata sinyalleri



Şekil 15. Sinüs girişi ile edilen benzetim görseli

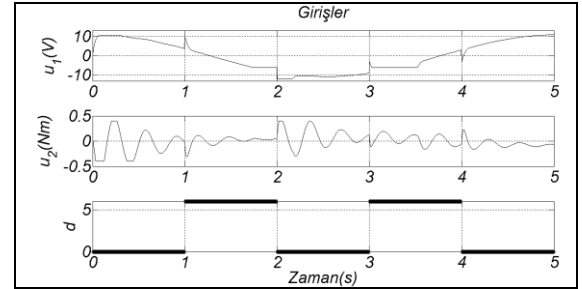
Şekil 15’de yatayda alınan mesafe boyunca gövde açısının düşeyle yaptığı açının düşük olduğu bir görsel ile ifade edilmiştir. Gövde açısının dik durması için kolun sağlamış olduğu hareket miktarı izlenebilmektedir.

Üçüncü benzetim çalışmasında ikinci benzetime ek olarak bozucu giriş uygulanmıştır. Bozucu giriş kuralı olarak u_1 girişine d bozucu girişi uygulanmıştır. $d = u_{1max}/2$ olarak seçilmiştir. Sistem cevapları Şekil 16 ve 17’de verilmiştir.



Şekil 16. Bozucu giriş etkisi altında durum değişkenleri

Şekil 16’ da bozucu girişe karşılık gerçek değişkenin referansı takip ettiği izlenmektedir.



Şekil 17. Sisteme ait giriş sinyalleri

Şekil 17’ de sisteme uygulanan bozucu giriş ve tahrik elemanlarının bu girişe karşılık davranışı izlenmiştir. Giriş elemanlarının çatırdama sorunu ile karşılaşmadığı ve girişlerin sınır değerleri aşmadığı izlenmiştir.

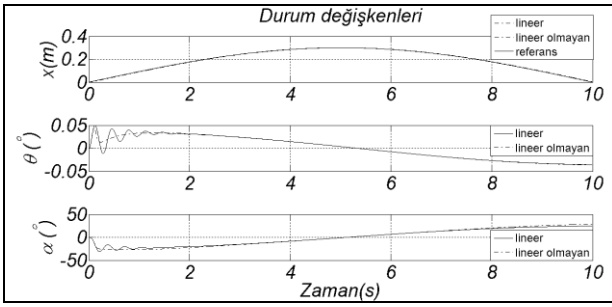
Doğrusal olmayan model ile benzetim çalışmaları

Doğrusal model kullanılarak optimizasyon sonucu elde edilen parametrelerin doğrusal olmayan modelde aynı sonucu vermesi

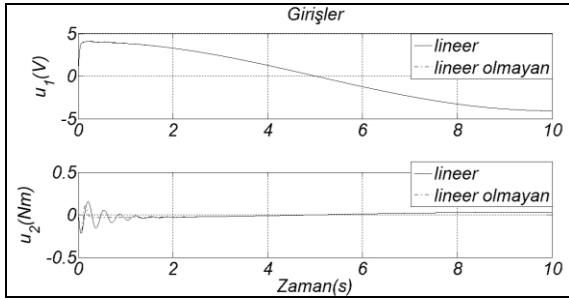
beklenmemektedir. Giriş referans sinyalinin frekans aralığı doğrusal ve doğrusal olmayan modelde farklılık göstermektedir. Ancak belirli bölgede kararlı sonuçlar alınmıştır.

Benzetimler, doğrusal ve doğrusal olmayan modelde koşturulmuş ve grafikler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Doğrusal olmayan model ile yapılan ilk benzetimde x doğrultusundaki referans sinyali $x_{ref} = A \sin(2\pi ft)$ olmak üzere $A = 0.3 \text{ m}$ ve $f = 0.05 \text{ Hz}$ olarak seçilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde doğrusal model kullanılarak elde edilen en iyi parametrelerin doğrusal olmayan modelde 0-0.05 Hz aralığında başarılı sonuç verdiği Şekil 18 ve 19'da gözlemlenmiştir.

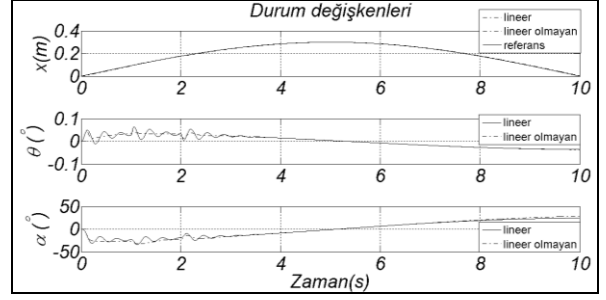


Şekil 18. Durum değişkenlerine ait cevaplar



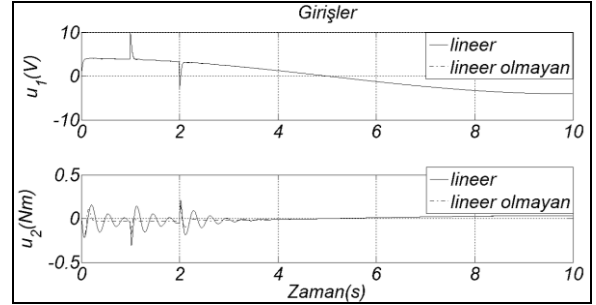
Şekil 19. Sisteme ait giriş sinyalleri

$A = 0.3 \text{ m}$ ve $f = 0.05 \text{ Hz}$ olmak üzere $x_{ref} = A \sin(2\pi ft)$ referans sinyali uygulanarak u_1 girişine $d = u_{1max}/2$ bozucu girişi uygulanmış benzetim sonuçları Şekil 20, 21 ve 22'de verilmiştir.



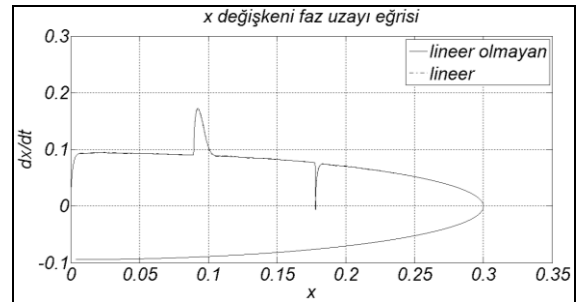
Şekil 20. Durum değişkenlerinin cevabı

Şekil 20' de yatay pozisyon referansının başarılı bir şekilde takip edildiği ve gövde açısının düşüyle yaptığı açının düşük kaldığı izlenmiştir. Kol açısının düşük değerlerde kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca doğrusal ve doğrusal olmayan modele ait değerlerin bu frekans değerleri için örtüştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 21. Sisteme ait girişler

Şekil 21'de sistem girişlerinin çatırdama sorunu ile karşılaşmadığı ve girişlerin sınırları aşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 22. x durum değişkenine ait faz uzayı eğrisi

Şekil 22'de yatay pozisyon durum değişkeninin, doğrusal ve doğrusal olmayan model için örtüştüğü tespit edilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Tek kol ile desteklenmiş sistem üzerinde yapılan çalışmada gövde açısının istenilen doğrultuda denge noktası etrafında kaldığı gözlemlenmiştir. Platforma ait benzetimlerde yatay konum durum değişkenine ait referans sinyalleri başarıyla takip ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemin bozucu girişleri bertaraf ettiği açıkça görülmektedir. Doğrusal olmayan modele ait en iyi denetim parametreleri, doğrusal modelde belirli giriş sinyali frekansı için kabul edilebilir düzeydedir. Çünkü doğrusal olmayan model için yapılan optimizasyon algoritması çok yavaş ilerlemektedir. Özellikle ÇGÇÇ sistemlerde giriş sayısının artmasıyla denetim parametrelerinin sayısı daha da artacak ve optimizasyon süresi uzayacaktır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, gövde açısının denge noktası etrafında kalması ve temel tahrik elemanına uygulanan bozucu girişleri yok etmesi bakımından bilişsel robotik uygulamaları önemlidir.

Kaynaklar

- Chen, C.S., Chen, W.L., (1998), Robust Adaptive Sliding-Mode Control Using Fuzzy Modelling for an Inverted-Pendulum System, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, **45**, 2., 297-306.
- Grasser, F., D'Arrigo, A., Colombi, S., Rufer, A.C., (2002), JOE: A mobile Inverted Pendulum, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **49**, 1, 107-114.
- Linn, S.C., Tsai, C.C., Huang, H.C., (2011), Adaptive Robust Self-Balancing and Steering of a Two-Wheeled Human Transportation Vehicle, *Journal of Intelligent Robotic Systems*, **62**, 1, 103-123.

Liu, S., Hou, Z., (2002), Weighted Gradient Direction Based Chaos Optimization Algorithm for Nonlinear Programming Problem, *Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 1779-1783.

Nguyen, H.G., Morrell, J., Mullens, K.D., Burmeister, A.B., Miles, S., Farrington, N., Thomas, K.M., Gage, D.W., (2004), Segway Robotic Mobility Platform, *Proceedings SPIE 5609 Mobile Robots XVII*.

Park B.S., Yoo S.J., Park, J.B., Choi, Y.H., (2009), Adaptive Neural Sliding Mode Control of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots with Model Uncertainty, *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, **17**, 1, 207-214.

Pathak, K., Franch, J., Agrawal, S.K., (2005), Velocity and position Control of a Wheeled Inverted Pendulum by Partial Feedback Linearization, *IEEE Transactions on Robotics*, **21**, 3.

Prasad, L.B., Tyagi, B., Gupta, H.O., (2011), Optimal control of nonlinear inverted pendulum dynamical system with disturbance input using PID controller & LQR, *IEEE International Conference on Control System*, pp.540-545.

Stilman, M., Olson, J., Gloss, W., (2010), Golem Krang: Dynamically Stable Humanoid Robot for Mobile Manipulation, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*.

Tavazoei, M.S., Haeri, M., (2006), An Optimization Algorithm Based on Chaotic Behavior and Fractal Nature, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **206**, 2, 1070-1081.

Yıldırım, G., Aydın, G., Alli, H., Tatar, Y., (2014), Hadoop ile Kaos Temelli FCW Optimizasyon Algoritmasının Analizi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 708-712.

Sliding Mode Control and Parameter Optimization of Two-Wheeled and Single-Arm Robotic Platform

Extended abstract

In this study, one-handed and two-wheeled robotic manipulator was simulated with sliding mode control (SMC). In SMC, saturation was applied to overcome the problem of chattering. For the two controlled variables of the robot, there are four unknown parameters in total for the sliding surface and control rule. In finding the best points, gradient-based methods often cannot provide a global solution. In order to overcome this problem, the chaos optimization algorithm (COA) is used.

In COA, different points are formed by chaotic series. In this study, a logistic map was used to construct a chaotic series. The primary carrier wave algorithm is used to update the chaotic series. The aim function is the sum squares of the errors.

A linear mathematical model of the system is used for optimization. The Runge-Kutta method is used for the solution of equations. The optimization solution in the linear model gives very fast results compared to the nonlinear model. The best parameters obtained in the linear model are used in the nonlinear model in the simulation studies. Simulations were made under the same type of input and initial conditions and compared on the same graph.

The sinusoidal position reference of 0,2 Hz and 0,2 m amplitude is applied to the simulations performed with the linear model. The reference and horizontal position variables overlap. In the linear model, the reference has been exposed to the same amount of interference as half the system input. It is observed that the reference overlaps with the horizontal position variable. In either case, the posture of the torso did not exceed 0.2 degrees. Arm position did not exceed 90 degrees for both cases.

The simulations made with the non-linear model were carried out together with the linear model. The results are compared. A sinusoidal position reference of 0.05 Hz and amplitude of 0.3 m was

applied. It is observed that the reference overlaps with the horizontal position variable. Body angle does not exceed 0.05 degrees and arm angle does not exceed 40 degrees. System input has been examined and no chattering problem has been observed. The system was exposed to disturbance input as much as half of the system input, with the same reference. The phase space curve of the horizontal position is investigated; it is observed that the horizontal positional phases of the linear and nonlinear system overlap.

The results show that the optimum parameters obtained for the linear model can be used with low frequency references in the nonlinear model. In the future, more efficient control algorithms will be implemented. We intensify our efforts to see the effects on the real-time system.

Keywords: *Sliding mode control, Chaos optimization algorithm, Service robots, Rehabilitation robots*



Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA5182/AA7075 alaşım bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi

Edip ÇETKİN*

Batman Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Batman

edip.cetkin@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0217-5897, Tel: (488) 217 35 00 (37 39)

Yahya Hışman ÇELİK

Batman Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Batman

yahyahisman.celik@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1753-7712

Şemsettin TEMİZ

İnönü Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Malatya

semsettin.temiz@inonu.edu.tr

Geliş: 22.05.2018, Kabul Tarihi: 27.09.2018

Öz

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımları, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemiyle alın pozisyonunda birleştirilmiştir. Yapılan birleştirmelerde karıştırıcı ucun dönme devri, kaynak ilerleme hızı ve karıştırıcı uç geometrisi değiştirilerek farklı mekanik ve mikroyapı özelliklerine sahip birleştirmeler elde edilmeye çalışılmıştır. SKK yöntemi ile birleştirilen kaynaklı bağlantılarda kaynak ilerleme hızının, karıştırıcı ucun dönme devrinin ve uç geometrisinin mekanik davranışlar üzerine olan etkisini tespit etmek amacıyla numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak çekme testi sonucunda kırılan numunelerin yüzey mekanizmaları belirlenmiştir. Çekme test sonuçlarından elde edilen verilerden, AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının SKK yöntemiyle birleştirilmesinde, uygun dönme devrinin, ilerleme hızı ve uç geometrisi kombinasyonunun kaynak kalitesini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca konik helisel uç kullanılarak 980 dev/dk dönme devri ve 108 mm/dk ilerleme kaynak parametreleri ile birleştirilen numunelerin çekme test deneylerinde en yüksek hasar kuvveti 16468 N olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Alaşımları; Çekme Testi; Sürtünme Karıştırma Kaynağı;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Alüminyum tabiiatta en çok bulunan ikinci element olup 19. yy.'nin sonlarına doğru mühendislik uygulamalarında çelikten sonra en çok kullanılan malzeme olmuştur. Özellikle içerisine farklı elementler de eklenerek istenilen özellikleri iyileştirilen alüminyum alaşımları günümüzün vaz geçilmez malzemelerinden biri haline gelmiştir.

Alüminyum ve alaşımları; iyi ısı ve elektrik iletkenlik, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve iyi korozyon dayanımı özelliklerine ilaveten ekonomik olması ve kolay temin edilebilmesinden dolayı uzay, havacılık, otomotiv, elektronik, kimya, denizcilik, makine imalat, gıda ve inşaat gibi farklı endüstriyel sektörlerde yaygın kullanım alanına sahiptirler (Avner, 1974; Welding Handbook, 1996; Anderson, 2000; Mathers, 2002). Bu kadar yaygın kullanım alanına sahip alüminyum ve alaşımlarında yapıştırma, lehim, perçin, cıvata ve kaynak gibi farklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Özellikle bağlantının önemli olduğu havacılık, uzay, otomotiv, inşaat ve deniz endüstrilerinde en çok tercih edilen malzemelerin başında gelen alüminyum ve alaşımlarının tamirinde farklı kaynak birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde en çok tercih edilen TIG ve MIG kaynak yöntemleridir. Ancak ergitme esasına dayalı olan bu kaynak yöntemleri ile alüminyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirilmelerinde malzemenin iç yapısına bağlı olarak kaynak metalinin iki yanında oluşan ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB) oluşan metalürjik dönüşümler, kaynaklı birleştirme bağlantılarının kullanımı sırasında gözeneklilik, oksit filmi, sıcak çatlama ve IEB'de mukavemet azalması gibi problemlerin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu gibi problemlerden dolayı, ergitme esaslı birleştirme yöntemleri dışında katı faz kaynak yöntemleri ile daha az problemler olacağını düşünerek araştırmacılar,

teknik literatürde sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) olarak adlandırılan bir katı faz kaynak yöntemi geliştirmişler ve alüminyum alaşımı plakaların alın altına ve köşe birleştirmelerini; özellikle yatay oluk pozisyonunda birleştirilebilmelerini gerçekleştirmişlerdir (Thomas ve ark., 1999; Threadgill, 1997; Dawes ve Thomas, 1995; Mathers, 2002; Kaluç ve Bozduman, 1997; Kaluç, 2004).

Kalfalı (2009), AA2024 alaşımının SKK kaynak parametrelerinin (karıştırıcı uç dönme devri, omuz genişliği ve kaynağın ilerleme hızı) birleşmeye etkilerini incelemiştir. En iyi akma ve çekme dayanım değerleri ile uzama değerini 2280 dev/dk dönme devrinde, 180 mm/dk ilerleme hızında ve 20 mm karıştırıcı ucun omuz genişliği değişkenlerinden elde etmiştir. Ayrıca kaynaklı alaşımlara uygulanan yorulma deneylerinde, alaşımlarda kırılma yerlerinin IEB'den başlayarak ilerlediğini ve kopmanın hemen kaynak dikişinin yanında meydana geldiğini görmüştür.

Yalçın (2010), yaptığı çalışmada, AA5754-H22 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarını SKK yöntemi ile farklı ilerleme hızları ve takım baskı kuvvetleri altında alın altına birleştirmiştir. AA5754-H22 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının başarılı bir şekilde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirildiğini gözlemlemiştir.

Şık ve ark. (2010), 4 mm kalınlığındaki AA2024 alüminyum alaşım levhalarını kullanarak SKK'nda, kaynak ilerleme hızının (120 mm/dk ve 200 mm/dk) ve karıştırıcı ucun dönme devrinin (1000 dev/dk, 1500 dev/dk, 2500 dev/dk) mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemiştir. En iyi yorulma dayanımı sonucunun 1500 dev/dk dönme devri ve 200 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen malzemelerden, en düşük sonucun ise 1500 dev/dk dönme devri ve 120 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen malzemelerden elde edildiğini görmüşlerdir.

Moreira ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada Al6082-T6 ve Al6061-T6 alüminyum alaşım plakalarının SKK ve MIG kaynakları ile birleştirilmesinde kayna yönteminin yorulma davranışlarına etkisini incelemişlerdir. SKK ve MIG kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum alaşımlarının çekme sonuçlarının ana malzemelere göre daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca SKK'nın MIG kaynağından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sarsılmaz ve ark. (2012), AA7075 ve AA6061 alüminyum alaşımlarını SKK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerinin kaynak kalitesine olan etkilerini ve yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Kaynak hızı ve uç profilinin mekanik ve yorulma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, uzay, havacılık, otomotiv, deniz, inşaat endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan farklı özellikte Al alaşımlarından AA5182 ile AA7075, iki farklı uç geometrisi, iki farklı kaynak ilerleme hızı ve üç farklı dönme devri kombinasyonunda bir katı hal kaynak tekniği olan SKK yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin ve karıştırıcı uç geometrisinin kaynak edilen malzemelerin mekanik özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır.

Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen ve ticari olarak temin edilen AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımları 800 x 240 x 5 mm boyutlarında kesilip, yüzeyleri alın frezeleme işlemiyle kaynağa hazır hale getirilmiştir.

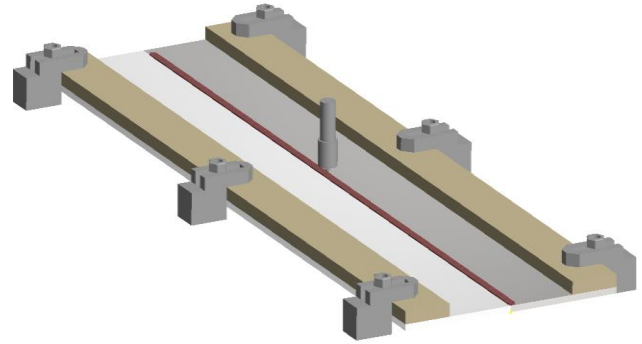
Tablo 1. Alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri

Malzeme	Alaşım Elementleri						
	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Al
AA5182	0.15	0.35	0.20	0.25	0.35	4.5	Kalan
AA7075	1.3	0.45	0.4	5.5	0.3	2.4	Kalan

Tablo 2. AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme	Kopma	Akma	Elastite	Sertlik
	Dayanımı	Uzaması	Dayanımı	Modülü	
	(MPa)	(%)	(Mpa)	(GPa)	(HV)
AA5182	350	27	154	69.6	71
AA7075	580	10	509	72	150

Kaynak işlemine başlanmadan önce alüminyum alaşım plakalarına kılavuz delikleri açılmıştır. Kılavuz delikleri açılan plakalar, alın altına boşluk kalmayacak şekilde getirilerek (Şekil 1) freze tezgâhı tablası üzerine sabitlenmiştir.



Şekil 1. SKK yönteminin şematik gösterimi

Kaynaklı birleştirmelerin gerçekleştirilmesinde, Şekil 2'de verilmiş olan K100 çeliğinden yapılmış üçgen profilli ve konik helisel kanal profilli iki farklı karıştırıcı uç kullanılmıştır. Karıştırıcı ucun eğim açısı yapılmış literatür çalışmalarına uygun olarak 3° alınmıştır (Murr, 1998).



Şekil 2. SKK işleminde kullanılan farklı geometrilerdeki uçlar

Kaynaklar, SKK metodunda mikroyapı ve mekanik davranışlar üzerinde önemli etkiye sahip olan kaynak parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinde Murr, (1998) ve Rhodes, (1997) tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Tablo 3'te SKK yönteminde kullanılan kaynak parametreleri verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler

Malzeme	Karıştırıcı Uç Profili	n: Dönme Devri (dev/dk)	f: İlerleme (mm/dk)
AA5182/AA7075	Konik	980	108
		233	233
		1325	108
		233	233
	Üçgen	1800	108
		233	233
		980	108
		1325	233
		1800	233

Şekil 3'te üçgen karıştırıcı uçla SKK yapılan AA5182 ve AA7075 plakasının görüntüsü verilmiştir.



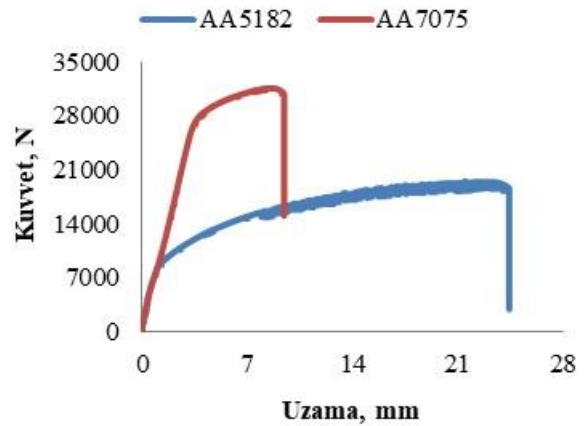
Şekil 3. Üçgen karıştırıcı uçla SKK yapılan bir plaka

Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için, kaynaklı bağlantılardan kaynak hattına dik yönde ASTM-E8 standartlarına göre numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme

deneyleri bilgisayar kontrollü SHIMADZU AG-IC çekme cihazında, 1 mm/dk sabit çekme hızında yapılmıştır. Çekilen numunelerin kuvvet-uzama eğrileri elde edilmiştir. Her bir parametre için 3 kez tekrarlanan çekme testinde ortalama çekme dayanımı belirlenerek hata payı minimize edilmiştir. Ayrıca çekme sonucu oluşan kopma yüzeyleri JSM 6510 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek kopma yüzeylerin mekanizmaları tespit edilmiştir.

Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde; iki farklı uç geometrisinin, iki farklı kaynak ilerlemesinin ve üç farklı dönme devrinin kaynak edilen malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Literatüre uygun olarak belirlenen bu parametrelerin mekanik özelliklere etkisini belirlemek için öncelikle kaynak işlemi yapılmamış AA5182 ve AA7075 alaşımlarının çekme testi yapılmıştır. Daha sonra kaynaklı birleştirmelerin çekme testleri yapılarak, çekme sonrası oluşan hasar bölgeleri bir birleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak çekme testi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4'te kaynak yapılmamış AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının çekme testi sonucu oluşan kuvvet-uzama grafiği, Şekil 5'te ise bu alaşımlarının çekme sonucu hasara uğramış görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. AA5182-AA7075 numunelere ait kuvvet-uzama grafiği



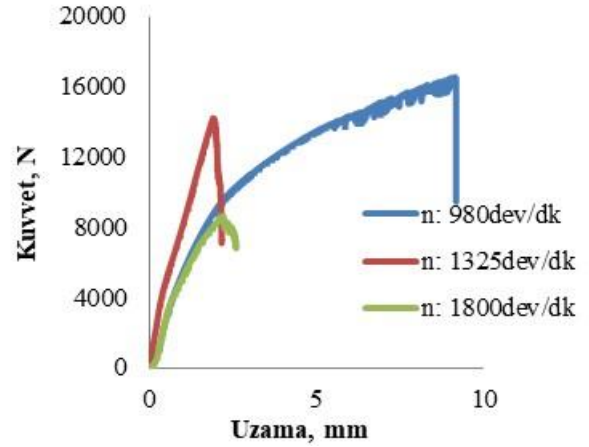
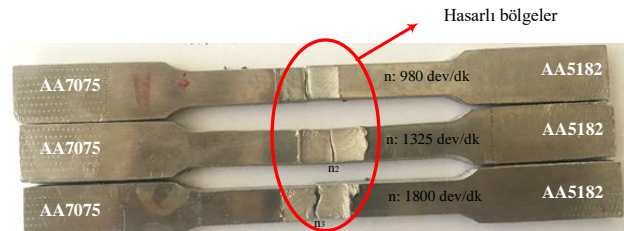
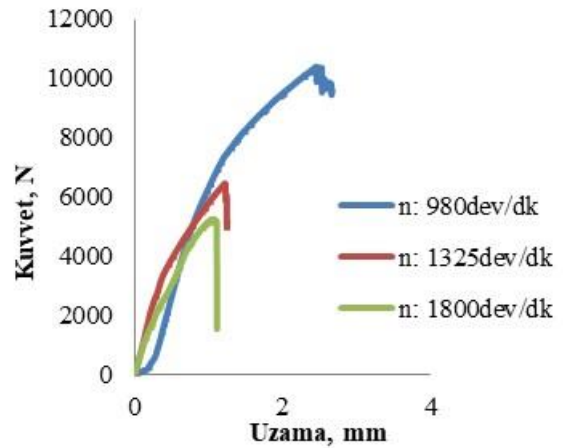
Hasarlı bölgeler

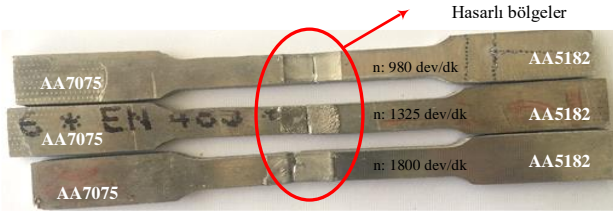
Şekil 5. AA5182-AA7075 numunelerinde çekme sonrası oluşan hasarlı bölgeler

Kaynak işlemi yapılmamış AA5182 ve AA7075 alaşımlarının çekme eğrilerinden görüldüğü gibi AA7075 alaşımı AA5182 alaşımından daha fazla yükte hasara uğradığı ve daha az uzama gösterdiği görülmektedir. Bu durum Tablo 2’de verilen mekanik özelliklerle karşılaştırıldığında AA7075 alaşımının AA5182 alaşımından daha yüksek çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve daha az uzama gösterdiğini sergilemektedir.

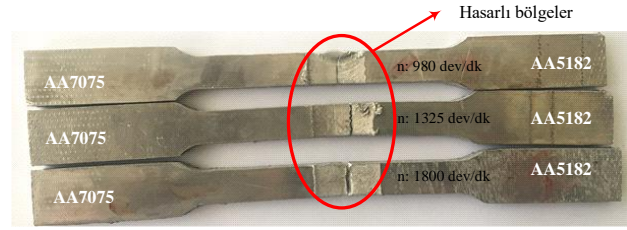
Çekme deneylerinde, hasarlı bölgenin çekme numunesinin ortasına yakın yerlerde oluşması gerekmektedir. Şekil 5’te AA5182 ve AA7075 alaşımlarının çekme numunelerindeki hasarın çekme çenelerine yakın bölgelerde oluştuğu görülmüştür. Bu durum, çekme numunesinin hazırlanması veya çekme deneyi ortam şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu gibi olumsuzluklar çekme deneyi esnasında elde edilen mukavemet değerlerinin Tablo 2’de malzemenin temin edildiği firma tarafından verilen mekanik özelliklerden kısmen düşük olmasına neden olmuştur.

Şekil 6, 8, 10 ve 12’de farklı dönme devri ve ilerleme değerlerinde SKK metodu ile yapılmış AA5182/AA7075 alaşımlarının çekme testi sonucu oluşan kuvvet-uzama grafiği Şekil 7, 9, 11 ve 13’de ise bu kaynaklı alaşımlarının çekme sonucu hasara uğramış görüntüleri verilmiştir.

Şekil 6. Helisel konik uç ve $f: 108 \text{ mm/dk}$ alınarak SKK yapılmış numunelere ait kuvvet-uzama grafiğiŞekil 7. Helisel konik uç, $n: 980, 1325 \text{ ve } 1800 \text{ dev/dk}$ ve $f: 108 \text{ mm/dk}$ alınarak SKK yapılmış numunelerde çekme sonrası oluşmuş hasarlı bölgeleriŞekil 8. Helisel konik uç ve $f: 233 \text{ mm/dk}$ alınarak SKK yapılmış numunelere ait kuvvet-uzama grafiği

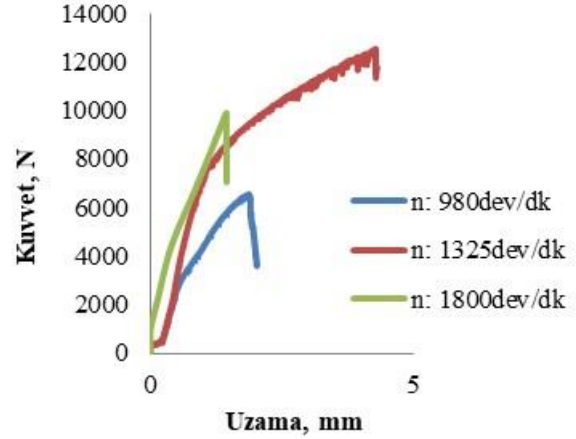


Şekil 9. Helisel konik uç, n: 980, 1325 ve 1800 dev/dk ve f: 233 mm/dk alınarak SKK yapılmış numunelerde çekme sonrası oluşmuş hasarlı bölgeleri

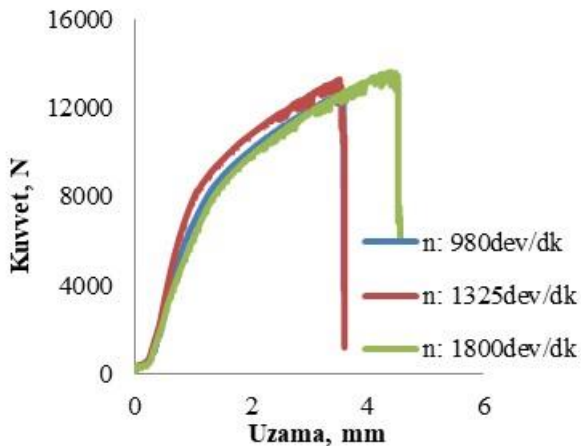


Şekil 10. Üçgen uç, n: 980, 1325 ve 1800 dev/dk ve f: 108 mm/dk alınarak SKK yapılmış numunelerde çekme sonrası oluşmuş hasarlı bölgeleri

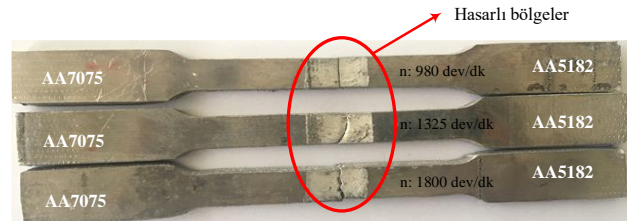
Helisel konik uç, f: 108, 233 mm/dk ilerleme ve n: 980, 1325 ve 1800 dev/dk dönme devirlerinde SKK ile birleşimi yapılan AA5182/AA7075 alaşım çiftlerinin kuvvet-uzama grafiklerine bakıldığında dönme devrinin ve kaynak ilerleme hızının artışına bağlı olarak numunelerin daha düşük dayanım gösterdiği görülmektedir. En iyi çekme değeri Şekil 6'da görüldüğü gibi n: 980 dev/dk ve f: 108 mm/dk kaynak parametrelerinde 16468 N olarak elde edilmiştir. Ayrıca çekme sonrası oluşan hasar bölgeleri incelendiğinde; düşük ilerleme hızında helisel kanallı konik uç ile yapılan birleşmelerde numunelerin daha iyi dayanım gösterdiği görülmüştür. Şekil 7 ve Şekil 9'da çekme sonrası oluşan hasar bölgelerine bakıldığında ise numunelerin boyun vererek kaynak bölgesinde sünek formda koptuğu görülmüştür.



Şekil 11. Üçgen uç ve f: 233 mm/dk alınarak SKK yapılmış numunelere ait kuvvet-uzama grafiği



Şekil 9. Üçgen uç ve f: 108 mm/dk alınarak SKK yapılmış numunelere ait kuvvet-uzama grafiği



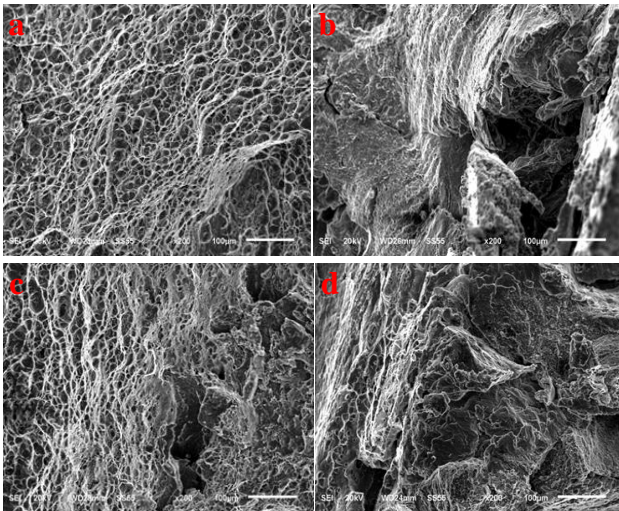
Şekil 12. Üçgen uç, n: 980, 1325 ve 1800 dev/dk ve f: 233 mm/dk alınarak SKK yapılmış numunelerde çekme sonrası oluşmuş hasarlı bölgeleri

Üçgen uç, f: 108 ve 233 mm/dk ilerleme ve n: 980, 1325 ve 1800 dev/dk dönme devirlerinde SKK metodu ile birleşimi yapılan AA5182/AA7075 alaşım çiftlerinin kuvvet-uzama grafiklerine bakıldığında helisel kanallı konik uç ile yapılan birleşmelerden daha farklı davranışlar gösterdiği görülmektedir.

Helisel konik uçlu takımında n: 980 dev/dk dönme devri ve f: 108 mm/dk ilerleme kaynak parametreleri ile birleştirilen numunede en iyi çekme değerinin diğer bir değişle hasar kuvvet değerinin elde edilmesinin nedeni karıştırma

görevini yapan helisel konik kanalların üçgen profilli uca kıyasla malzemeyi daha iyi karıştırmasıdır. Daha iyi karışımın devir başına taşınan ve geriye doğru ekstrüze edilen malzeme miktarındaki artışın olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Ayrıca helisel konik uçtaki helisel oluklar sayesinde ekstrüze edilen bu malzeme miktarındaki artış, plastik deformasyonun şiddetlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum kaynaklı alüminyum alaşım bağlantılarında pekleşmeye, mekanik özelliklerde iyileşmeye ve alüminyum alaşım tane yapısının küçülmesine yardımcı olur. Alaşım yapısındaki tanelerin küçülmesi ve pekleşme işlemi düşük alüminyum alaşımlarında mekanik özellikleri kısmen olumsuz etkilese de çekme deneylerinden elde edilen sonuçlardan helisel oluklarının malzemenin karışımında önemli bir rol oynadığı düşünülebilir (Özarpa, 2005; Fujii, 2006). Helisel konik uçların üçgen uç profillerine göre yeterli karışımı sağlaması, helisel konik ucun SKK'da daha verimli hale getirmiştir. Bu durum kaynak bağlantılarının mekanik davranışını olumlu yönde etkilemektedir.

Şekil 13'te konik helisel uç ile SKK yapılmış ve en iyi ve en kötü çekme davranışı gösteren numunelerin kırılma yüzey görüntüleri verilmiştir.

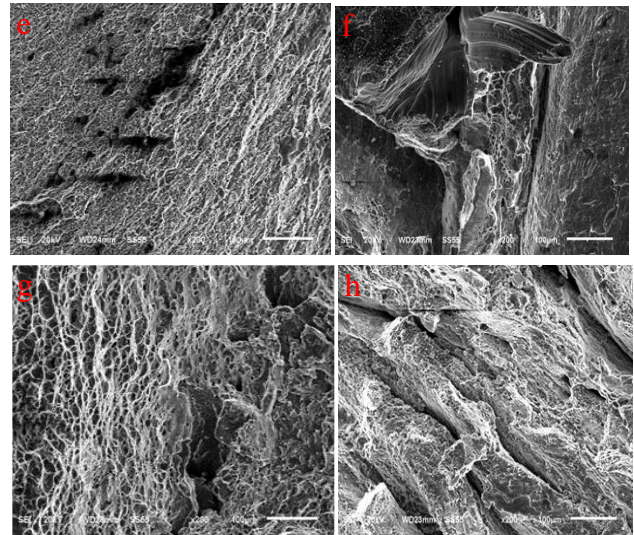


Şekil 13. Konik helisel uç ile birleştirilen numunelerde çekme sonrası oluşan kırık yüzeyler

Şekil 13.a'da n: 980 dev/dk ve f: 108 mm/dk, b'de n: 1800 dev/dk ve f: 108 mm/dk, c'de n:

980 dev/dk ve f: 233 mm/dk ve d'de n: 1800 dev/dk ve f: 233 mm/dk'dır. Şekil 13'deki görüntülerden a ve c kırılma yüzeylerinde kopan tanelerin homojen dağılımlı olduğu, bu yüzeylerde farklı boyut ve biçimde mikro boşlukların meydana geldiği ve lokal sünek kırılma mekanizmalarının sergilendiği görülmektedir. Konik helisel uç profilinin yeterli karıştırmayı yapamadığı b ve d kırılma yüzeylerinde ise daha geniş boşluklu heterojen dağılımlı tanelerin olduğu ve kırılmanın gevrek olarak meydana geldiği mekanizma oluşmuştur. Benzer sonuçlara Thomas (1997) tarafından da değinilmiştir.

Şekil 14'te ise üçgen uç ile SKK yapılmış ve en iyi ve en kötü çekme davranışı gösteren numunelerin kırılma yüzey görüntüleri verilmektedir.



Şekil 14. Üçgen uç ile birleştirilen numunelerde çekme sonrası oluşan kırık yüzeyler

Şekil 14.e'de n: 1800 dev/dk ve f: 108 mm/dk, f'de n: 980 dev/dk ve f: 108 mm/dk, g'de n: 1325 dev/dk ve f: 108 mm/dk ve h'de n: 980 dev/dk ve f: 108 mm/dk'dır. Üçgen profilli uçlar kaynak edilen alüminyum alaşımlarını kısmen uç kenar köşelerden karıştırması, bu ucun dezavantajlıdır. Üçgen uç ile birleştirilen numunelerde yeterli malzeme ekstrüzyonunun sağlanamaması ve karıştırma işleminin yeterli olmamasından dolayı kaynak hattı boyunca kaynak bölgelerinde tünel ve boşlukların

oluşmasına ve dolayısıyla kaynaklı birleştirmelerin kötü mekanik özellikler sergilemesine neden olmuştur. Üçgen profilli uç ile birleştirilen numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde ise daha geniş boşluklu heterojen dağılımlı tanelerin olduğu ve kopan yüzeylerde gevrek kırılma mekanizmalarının sergilendiği görülmektedir.

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşım çiftlerinin SKK metoduyla birleştirilmesinde karıştırıcı ucun dönme devrinin, kaynak ilerleme hızının ve karıştırıcı uç geometrisinin mekanik davranışlar üzerine olan etkisini tespit edilmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ AA5182 ve AA7075 alüminyum alaşımları, alın pozisyonunda karıştırıcı ucun farklı dönme devirlerinde ve kaynak ilerleme hızlarında hem üçgen hem de konik helisel kanallı uçlar kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmişlerdir. Ancak helisel kanallara sahip helisel konik karıştırıcı uç geometrisinin ve düşük ilerleme hızının, kaynaklı bağlantıların mekanik özellikler üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Helisel konik uç kullanılarak n: 980 dev/dk dönme devri ve f: 108 mm/dk ilerleme kaynak parametrelerinde birleştirilen numunelerin çekme test deneylerinde en yüksek hasar kuvveti 16468 N olarak elde edilmiştir.
- ✓ Kırık yüzey incelemelerinden a, c, e ve g numaralı kopma bölgelerinde sünek kırılma, b, d, f ve h numaralı kopma bölgelerinde ise gevrek kırılma mekanizması görülmüştür.

Karıştırıcı uç yüzeyinin düz ve olumsuz olması kaynak esnasında gözenek ve boşluk oluşumlarını artırdığından ve plastisite olan metali yeterli düzeyde ekstürize edemediğinden dolayı karıştırıcı uç yüzeylerinin belirli bir profilde imal edilmesi gerekmektedir. İyi mekanik özelliklere sahip kaynaklı

birleştirmeler için geniş adımlı vida uç profili veya helisel kanallı uçların kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Bilgilendirme

Bu çalışma, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BATÜBAP) tarafından 2017-DOKTORA-2 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Avner, S. H., (1974). Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill, USA.
- Dawes, C.J., Thomas, W., (1995). Friction Stir Joining of Aluminium Alloys, *TWI Bulletin*, Reprint 493/6/95, pp. 124-127.
- Fujii, H., Cui, L., Maeda, M., Nogi, K., (2006). Effect of tool shape on mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys, *Mater. Sci. Eng. A*. 419, 25–31.
- Kalfalı, H., (2009). AA 2024 Al alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında (skk) kaynak parametrelerinin birleşmeye etkilerinin incelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- Kaluç, E., Bozduvan, B., (1998). Sürtünen Eleman ile Birleştirme Yöntemi, *Makina Magazin*, Sayı: 27, s.54-61.
- Kaluç, E., (2004). Kaynak Teknolojisi El Kitabı-Cilt 1- Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, MMO Yayını, Yayın No: 356, Ankara.
- Mathers, G., (2002). The Welding of Aluminium and Its Alloys, *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, UK.
- Moreira, P.M.G.P., Figueiredo, M.A.V., Castro de, P.M.S.T., (2007). Fatigue behaviour of FSW and MIG weldments for two aluminium alloys, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 48 (2) 169–177.
- Murr, L.E., Liu, G., McClure, J.C., (1998). TEM study of precipitation and related microstructures in friction-stir-welded 6061 aluminium, *J. Mater. Sci.*, 33, 1243–1251.
- Özarpa, C., (2005). Al2024-O ve Al5754-H22 alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynağı. *Doktora tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Sarsılmaz, F., Özdemir, N., Kırık, İ., (2012). Evaluation of microstructure and fatigue properties of dissimilar AA7075/AA6061 joints produced by friction stir welding, *Kovove Material*, 259–268.
- Şık, A., Ertürk, İ., Önder, M., (2010). AA2024 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi-Cilt 16*, Sayı 2, 2010, Sayfa 139-147.
- Thomas, W.M., Treadgill, P.L., Nicholas, E.D., (1999). The Feasibility of Friction Stir Welding Steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 4., No.6, pp.365- 372.
- Threadgill, P., (1997). Friction Stir Welds in Aluminium Alloys- Preliminary Microstructural Assessment, *TWI Bulletin*, Reprint 513/2/97, UK.
- Yalçın, E.D., (2010). AA 5754-H22 ve AA 7075-T651 alüminyum alaşımları sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Examination of the mechanical properties of AA5182/AA7075 alloy connections joined by friction stir welding method

Extended abstract

Aluminum and its alloys are widely used in various industrial sectors such as aerospace, aviation, automotive, electronics, chemical, marine, machinery manufacturing, food, and construction because of their low cost, good thermal and electrical conductivity, high strength, low density, good corrosion resistance and easy availability. Aluminum and its alloys which have a wide range of application area using different joining methods such as bonding, soldering, rivet, bolt, and welding. Among the most preferred materials in aerospace, automotive, construction, and marine industries, where the connection is particularly important, welding joining is the main method for repairing aluminum and its alloys.

The welding technique of aluminum and its alloys is different from the welding of steel, which is an intensive use area of the industry. The aluminum welding is difficult and has a complex process when compared to a steel welding. That is why it is necessary to know the physical and metallurgical properties of the material very well and should take precautions according to these properties.

Aluminium and its alloys can be combined with melting-based and pressure-based (solid phase) welding methods. TIG, MIG and plasma arc (PAW) welding methods are the most preferred welding methods based on melting. However, an applied melting-based welding method causes some metallurgical deficiencies in the weld joint. The heat-affected zone (HAZ) and the weld metal (WM) from them decrease the desired mechanical properties. For this purpose, a non-melting method for the welding of aluminium and its alloys has been found and developed by the British Welding Institute. This called as Friction Stir Welding (FSW). Thus, a new method for joining aluminium and its alloy plates to the forehead has emerged. In this new welding technique, a tool that rotates about its axis and has different tip geometries is used. Long welding seams to metals are performed without melting-based.

FSW has many advantages over the melting-based welding methods. Thanks to the successful application of the FSW method, this method is widely used in the application area such as aerospace, shipbuilding, rail vehicles, armoured vehicles and automotive industries.

In this study, AA5182 and AA7075 aluminium alloy pairs with different properties were welded in the butt position by the friction stir welding (FSW) method. At the FSW, welds were made using different rotation speeds (980, 1325 and 1800 rpm), welding feed rate (108 and 233 mm/min) and stirred tips having two different geometries (conical helical and triangular). The rotational speed of the stirrer, the welding feed rate and stirrer tip geometry were changed at certain intervals to obtain welds with different mechanical and microstructural properties. The tensile test was carried out for these welded joints combined with the FSW method to determine the effect of the rotating speed of the stirrer, the welding feed rate and stirrer tip geometry on the mechanical behaviour.

As a result of the tensile test, fractured surface mechanics were determined by scanning electron microscopy (SEM). By combining the AA5182 and AA7075 aluminium alloys in different properties with the FSW method, it is possible to increase the weld quality by determining the appropriate the rotating speed of the stirrer, the welding feed rate, and stirrer tip geometry. Also; The best mechanical properties were obtained from the FSW method at a rotational speed of 980 rpm, a feed rate of 108 mm/min, and a stirrer tip having conical helical. These values are 16468 N in tensile test

Keywords: Aluminium Alloys, Friction Stir Welding, Tensile Test



Uçak İniş Takımında Kullanılan Al Esaslı Destek (Bracket) Parçasının Hata Analizi

Yusuf ER*

Fırat Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Elazığ
yusufer@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-5500-9481, Tel: (424) 237 00 00 (8983)

Geliş: 07.06.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Alüminyum, metal pazarında demir-çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyum, 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride ve nispeten düşük bir öz kütleye sahip olması sebebiyle özellikle havacılık sektöründe kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Yapısında alüminyumu daha çok barındıran araçların diğerlerine nazaran daha hafif olması, artan yakıt fiyatları da göz önünde bulundurulduğunda ekonomik olarak ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında galvanik, çukur, taneler arası, pullanma, gerilmeli ve yorulma tipi korozyon çeşitleri sıklıkla görülmektedir. Titanyum ve alüminyum alaşımların yüzeysel temasından kaynaklanan galvanik korozyon, bu iki alaşımın beraber kullanıldığı ortamlarda sıklıkla görülmektedir. Bu çalışmada; Türk Teknik A.Ş. den temin edilen Airbus A320-214 tipi yolcu uçağının iniş takımlarında kullanılan destek parçasının (bracket) 10.000 saat kullanımından sonra yapısında meydana gelen korozyon mekanizması araştırılmıştır.

Bu amaçla; parçanın hatalı ve hatalı olmayan kısımlarından numuneler alınarak mikroyapı, kimyasal ve korozyon analizleri sırasıyla SEM, EDX ve AFM teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Taramalı Elektron Mikroskopu incelemelerinde Alüminyum esaslı bracket parçasının korozif olan ve olmayan bölgeleri Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) tekniği kullanılarak tespit edilmiş ve meydana gelen lokalize çukurcuk korozyonu üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

Sonuç olarak; elde edilen veriler ışığında bakıldığında Airbus A320-214 tipi uçağın iniş takımında kullanılan bracket parçasında meydana gelen bu korozyon hasarının net olarak çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir. Ancak bu gerçekleşmeden önce alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direncin nedenlerinden biri olan yüzey tabakasındaki amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasını ortadan kaldıran lokalize sürtünme korozyonu neticesinde meydana gelen mekanik bozulmayla meydana geldiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Al2019; İniş takımı; Korozyon; AFM;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Alüminyum, metal pazarında demir-çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan alüminyumun birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride kullanım alanı her geçen gün artmaktadır (Aydın, 2002). Yapısında alüminyum daha çok barındıran taşıtların diğerlerine nazaran daha hafif olması, artan petrol fiyatları göz önünde bulundurulduğunda ekonomik olarak bir avantaj sağlamaktadır (Kurt, 2006). Havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımları bazı uçak tiplerinde % 20 oranına kadar çıkmaktadır. Uçaklar çeşitli atmosferik koşullarda (tropik, endüstriyel, denizsel, karasal, çöl, kutuplar) bulunurlar. Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında galvanik, çukur, taneler arası, pullanma, gerilmeli ve yorulma tipi korozyon çeşitleri sıklıkla görülmektedir. Titanyum ve alüminyum alaşımların yüzeysel temasından kaynaklanan galvanik korozyon, bu iki alaşımın beraber kullanıldığı ortamlarda görülmektedir (Anes vd., 2016, Ghavamian vd., 2015). Korozyon, uçağın ömrü ilerledikçe çeşitlenmekte ve çoğalmaktadır. Korozyon hasarları başlangıçta tespit edilemez ve tamiri yapılmaz ise bütün yapı için ciddi tehlike oluşturabilir. Uçak tipi aynı olsa bile farklı ortamlarda kullanılma, oluşacak korozyon hasarının miktarını değiştirir. Uçaklar kuru havada daha az korozyona uğrarken, nemli, ılık ve tuzlu ortamlarda daha kısa sürede korozyona uğrarlar (Güler, 2003). Uçuş faaliyetlerinde bir uçağın uçuşa elverişliliğin, yeterli ve gerekli seviyelerde emniyet ve güvenilirliğin sağlanması açısından uçak motor ve komponentlerinde meydana gelebilecek bu hasar ve/veya arızaların kazalar gibi ciddi sonuçlara yol açmadan daha önce belirlenmesi, tespit edilmesi oldukça önem arz etmektedir (Uludağ, 2017).

Çukurcuk korozyon, alaşım yüzeyinde nemle temas eden anodik ve katodik kısımların bulunması halinde oluşur. Metal alaşımı, elektronların taşınması için metal yolu meydana getirir. Çukurcuk korozyonu, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında sık rastlanan bir korozyon çeşididir. İlk belirtisi, yüzeyde

toplanan ve kabaran beyaz ve gri tozumsu yığıntılardır. Bu yığıntılar temizlendikten sonra küçük oyuklar veya boşluklar görülebilir. Bu oyuklar baştan küçük olmasına rağmen, zamanla büyür. Çukurcuk korozyonunun oyukları, eğer parça kalınlığı uygun ise kazınarak temizlenebilir. Konsantrasyon hücre (concentration cell) korozyonu ise alüminyum uçak gövdesi, su tabakası ile kaplandığında ve su damlacıkları metal levha birleşimlerinin arasına girdiğinde oluşur. Konsantrasyon hücre korozyonunun olabileceği belli başlı yerler; oyuklar, bindirme dikişleri, kalıntılar ve metal ara yüzeyleri olarak sayılabilir. Bu yerler konsantrasyon hücre korozyonu oluşumu için nemin hapsediği uygun yerlerdir. Elektrolitteki metal iyon konsantrasyonu farkı veya oksijen iyonu konsantrasyonu farkı bu tür korozyona neden olabilir. Konsantrasyon hücre korozyonu çeşitlerinden biri sürtünme korozyonudur. Sürtünme korozyonu, nemin girmesine engel olamayan ve titreşime maruz kalan statik yüklerle yüklenmiş parçalarda görülür. Burada korozyon ve aşınmanın etkisi birlikte oluşur (Bhaumik vd., 2007, Kristic vd., 2013). Sürtünme korozyonu, metalde ufalanma ve metal aşınması ile kendini gösterir. Uçak üstünde sürtünme korozyonunun en sık görüldüğü yerler, iniş takım dikmelerindeki burçlar, çok küçük toleranslarla burçlara geçirilen civatalar ve kanadı gövdeye bağlayan kaplama kısımlarıdır.

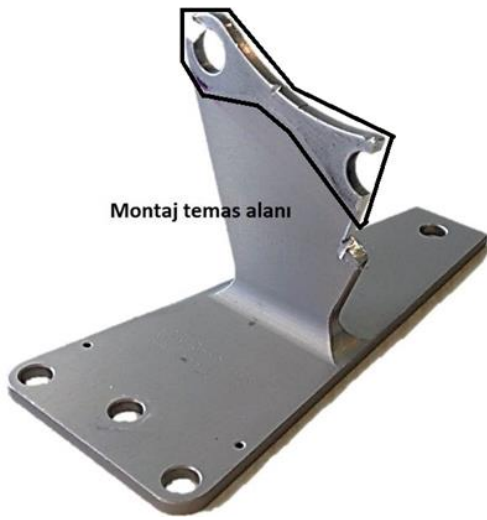
Uçuş emniyetinin ön plana çıktığı ve en ufak bir hatanın dahi göz ardı edilemeyeceği havacılık sektöründe hava araçlarında rastlanan korozyon problemleri üzerinde titizlikle durulması kaçınılmazdır. Özellikle hava araçları bakımlarında bu problemin tespiti, önlemlerin alınması ve korozyonu giderme teknikleri önem kazanmaktadır (Karakoç vd., 2012). Uçak yapısal bileşenlerinin başarısızlığı, sonuçta hayat kaybı ve uçakların felâket sonuçlarına neden olabilir. Uçak yapılarındaki kusurların ve arızaların incelenmesi, daha fazla olayı önlemede hayati öneme sahiptir (Asi vd., 2013).

Bu çalışmada; A320-214 model uçağın iniş takımında kullanılan ve kendisinden farklı bir alaşım üzerine montaj edilmiş destek parçasının (bracket) birleşme yüzeyinde sınırlı bir bölgede

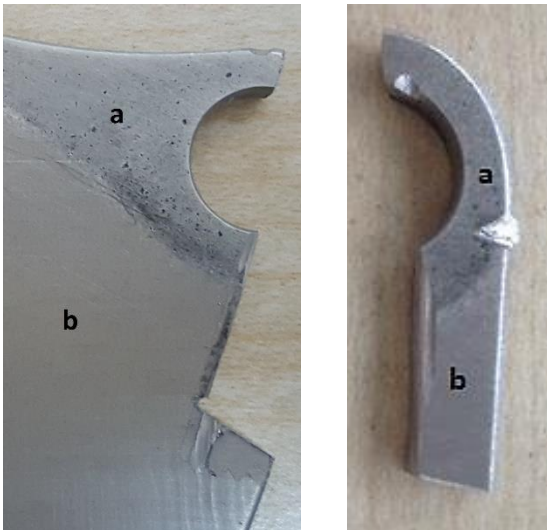
meydana gelen korozyon mekanizması araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

THY Teknik A.Ş.' den temin edilen Airbus A320-214 tipi yolcu uçağının iniş takımında kullanılan destek parçası (bracket) ilk olarak görsel olarak ikinci aşamada ise optik mikroskop ile incelendi. Destek parçasının, diğer parçaya montaj edildiği temas yüzeyinde korozyona uğradığı görüldü. (Şekil 1.) Parça üzerinde, korozyon oluşan ve korozyon oluşmayan her iki bölgeden numune alınarak mikroyapı, kimyasal ve yüzey analizleri yapıldı.



Şekil 1. Montaj temas alanında korozyona uğramış bracket



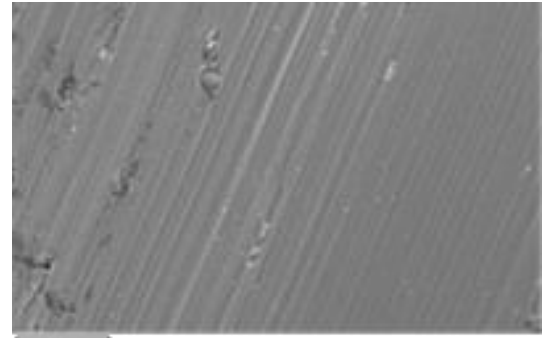
Şekil 2. Montaj temas alanında korozyona uğramış bölge (a) ve temas alanı dışında korozyona uğramamış bölge (b)

Bracket malzemesinin hangi alüminyum serisine ait olduğunu tespit etmek için bracketin hasarsız bölgesinden 4x4 cm büyüklüğünde numune çıkarılarak kimyasal analiz için EDX cihazında incelendi. Ayrıca aynı numune mikroyapı incelemeleri için ise SEM elektron mikroskopunda incelendi. Şekil 2. de görülen numunede a ve b harfleri ile gösterilen korozyif ve korozyif olmayan her iki bölgenin yüzey morfolojisini ve pürüzlülüğünü belirlemek için Atomik kuvvet mikroskobu (Şekil 3.) ile incelenerek yüzey analizi yapıldı.

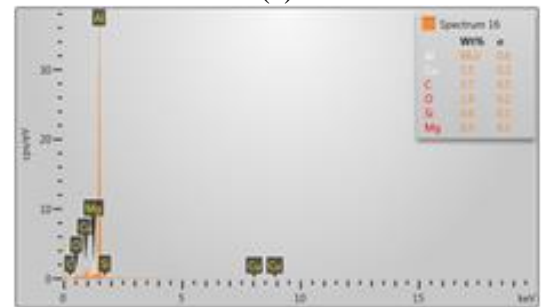


Şekil 3. Yüzey analizinde kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu

Parçanın montaj edildiği diğer parça ile temas ettiği yüzeyde sınırlı bir bölgede (lokalize) korozyon meydana geldiği tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Korozyona uğramamış bölgeden alınmış SEM görüntüsü (a) ve EDX analizi (b)

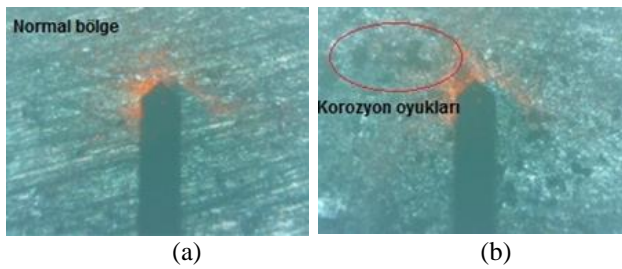
Şekil 4.'te Bracket parçasına ait SEM görüntüsü ve EDX analizi görünmektedir. Tablo 1'de Bracket parçasına ve Al2019, Al2024 e ait alaşım içerikleri verilmiştir.

Tablo 1. Korozyona uğramış Bracket parçanın ve Al 2019, Al 2024 alaşımlarının içerikleri (Aerospace Mat, 2017)

Element (%)	Korozif Bracket	Al 2019	Al 2024
Cu	5.5	5.8-6.8	3.8-4.9
Mg	0.5	0.02	1.2-1.8
Zn	0	0.1	0.25
Mn	0	0.2-0.4	0.3-0.9
Si	0.6	0.2	0.5
Fe	0	0.3	0.5
Cr	-	-	0.1
Ti	-	0.02-0.1	0.15
Zr	-	0.1-0.2	-
Al	Balans	Balans	Balans

Bracket parçasına ait EDX analizinde (4.b) bir miktar C ve O olduğu görünmektedir. Ancak bu durumun analiz cihazındaki detektörden kaynaklandığı öngörülmektedir. Alaşımın ağırlıkça bakır içeren Al2xxx serisi bir alaşım olduğu anlaşılmaktadır. İçeriğindeki C ve O göz ardı edildiğinde Al2019 kompozisyonuna yakın olduğu görülmektedir.

Alüminyum braket parçasından kesilen örnek yüzeyde korozyona uğramış bölge ve uğramamış bölge ayrı ayrı AFM tekniği ile incelenmiş ve yüzey topografi haritaları çıkarılmıştır. Şekil 5.'te AFM yayı, yüzeyi tarama esnasında mikroskop kamerasından görülmektedir. Şekil 5. a'da yay, korozyona uğramamış normal bölge üzerindedir. Şekil 5. b'de ise korozyona uğramış yüzey kameradan görülmektedir. Kırmızı çember ile işaretli bölge içinde korozyon oyukları görülmektedir.

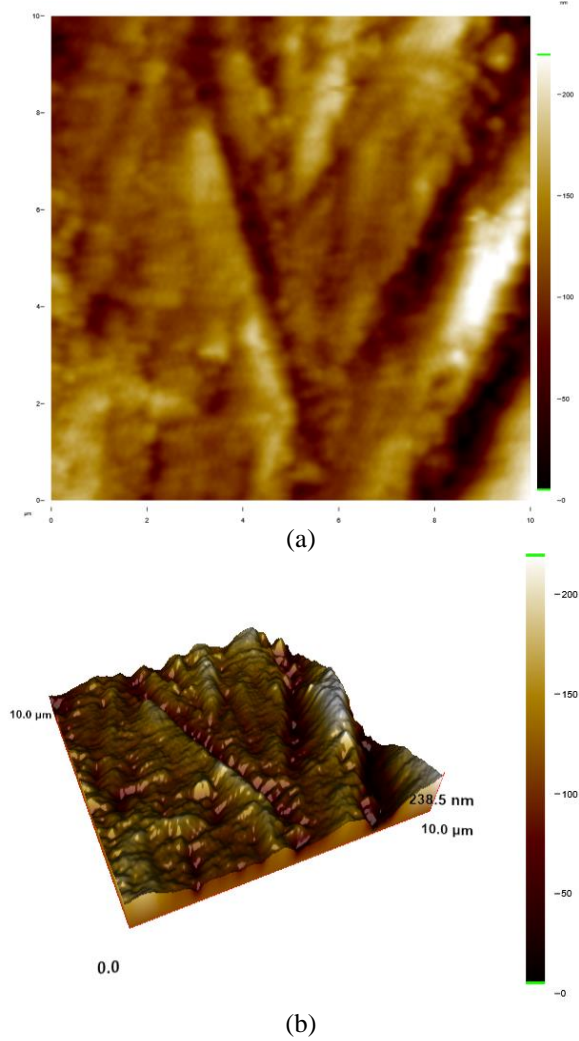


(a)

(b)

Şekil 5. AFM yayının tarama esnasındaki kamera görüntüsü Normal bölge ve Korozyona uğramış bölge

AFM ile yapılan yüzey analizi sonucunda parçanın normal yüzey bölgesinin topografi ve 3D görüntüsü Şekil 6.'a ve b'de görülmektedir. Üretim prosesi sonucunda oluşması mümkün olan standart çizgili bir yapı söz konusudur.



(a)

(b)

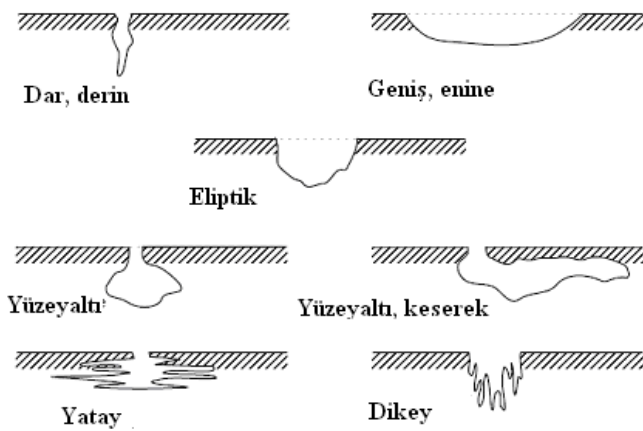
Şekil 6. Alüminyum braket normal yüzey topografisi (a) ve 3D görünüş (b), 10x10µm alan

Şekil 8. a'da korozyona uğramış bölgede AFM ile alınan topografi ve b'de bölgenin 3D görüntüsü görülmektedir. 10x10 µm alanda alınan görüntülerde korozyon sonucunda yapıda granüler bir bozunmanın söz konusu olduğu görülmüştür. Şekil 9. a'da ki AFM topografisi ve b'de ki faz görüntüleri eşzamanlı alınmıştır. Faz görüntüsü incelendiğinde farklı kontrast veren bir bölge görülmemektedir bu da yüzeyde

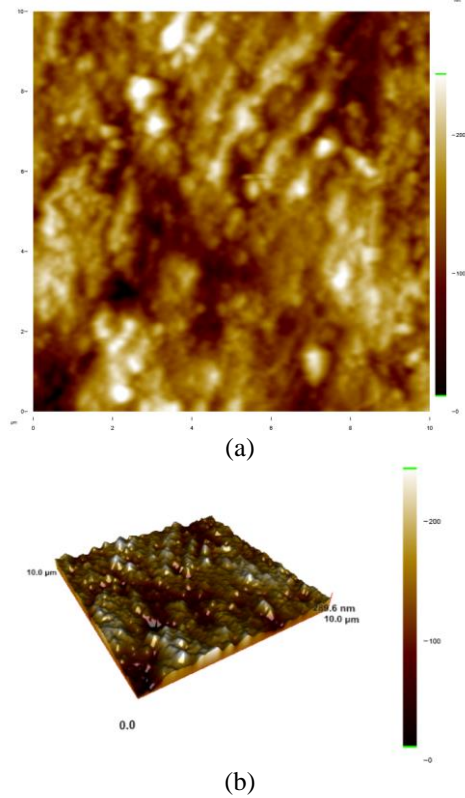
herhangi bir faz ayrışması olmadığını göstermektedir.

Bracket parça yüzeyinde kameradan görülen korozyon oyukları tarandığında, çukurcuk boyutları topografi görüntülerinden elde edilebilmiştir. Şekil 10. a'da AFM topografi görüntüleri ve b'de görüntü üzerinde alınan çizgi profili grafiği görülmektedir. Çizgi profili incelendiğinde çukurcuk derinliği 200-300 μm boyutunda ölçülmüştür. Bu da bu bölgede oluşan korozyon türünün çukurcuk korozyonu olduğunu göstermektedir.

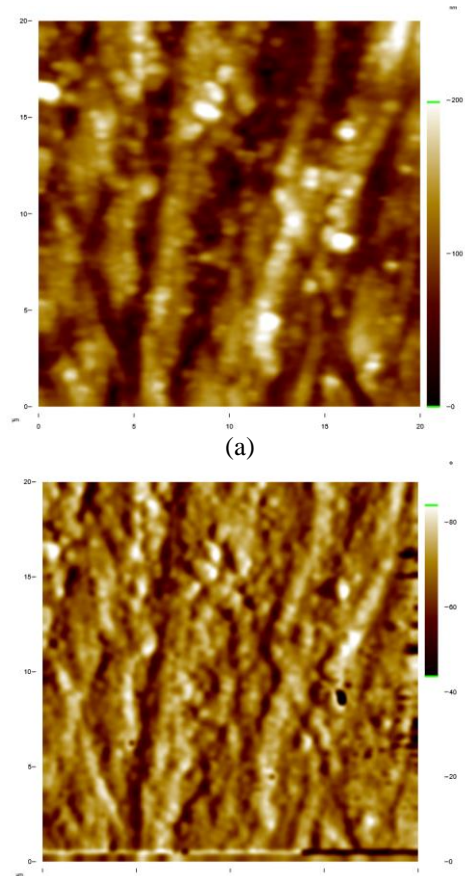
Bu tip korozyonda çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen, ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Çukurcuk korozyonlarda oyuklanmalar farklı şekillerde meydana gelebilmektedir. AFM topografi görüntülerinden de anlaşılacağı üzere bracket üzerinde oluşan oyuklanma tipi geniş ve sığ (Shallow and wide) şeklindedir. Bu tip oyuklanma korozyonu diğer tiplere göre en masum olanıdır. Çukurcuk korozyonunda oluşan en tehlikeli oyuklanma tipi ise dar ve derin (Narrow and deep) dir. Bu tip oyuklanma oldukça tehlikelidir. Çünkü çok hızlı bir şekilde parçanın et kalınlığına ulaşabilmekte ve parçada çentik etkisi oluşturmaktadır. Şekil 7. Şematik olarak bu korozyon tiplerini göstermektedir. (ASTM, 2018).



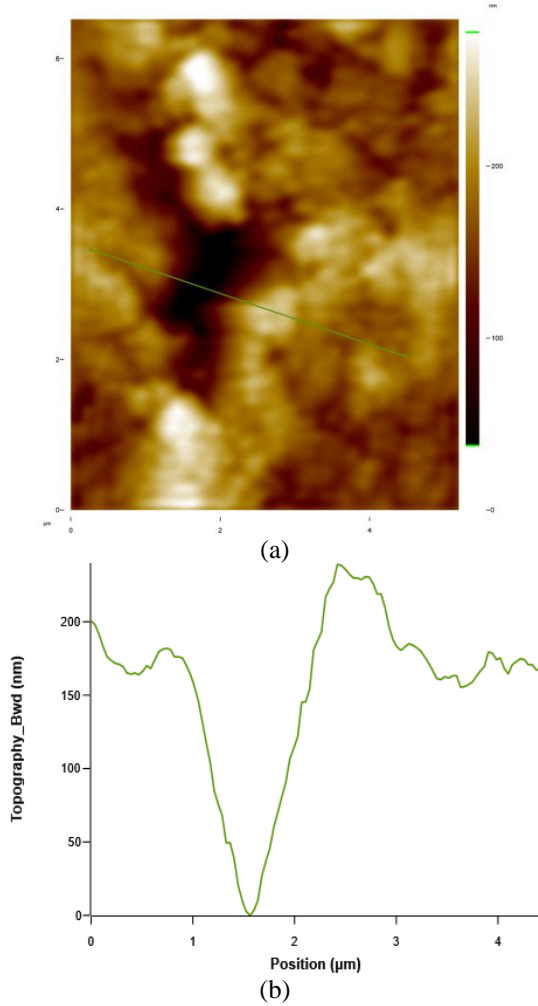
Şekil 7. Korozyon tiplerinin şematik olarak görünümü



Şekil 8. Korozyona uğramış yüzey topografisi (a) ve 3D görünüşü (b), 10x10 μm



Şekil 9. Korozyona uğramış yüzey topografisi (a), faz görüntüsü (b), 20x20 μm alan



Şekil 10. Korozif yüzey topografi görüntüsü (a) ve grafiği (b)

Sonuçlar ve Tartışma

Atomik kuvvet mikroskobu tekniği kullanılarak iniş takımlarına ait Alüminyum bracket parçası yüzeyinde oluşan korozyon hasarı incelenmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu ile yapılan tarama sonuçlarına göre; korozyona uğramamış bölgede alınan topografi görüntüsünde üretim prosesi sonucu oluşan mikro çizgiler görülmektedir. Korozyona uğramış bölgedeki topografi görüntüsünde ise granüler yapı söz konusudur. Granüler yapıda aktif noktalardan ayrışma başlamış ve korozyon oyukları oluşmuştur. Bu oyuklar çukurcuk korozyonu olarak adlandırılmaktadır. Korozyona uğramış bölgede alınan topografi verisi çizgi profili incelendiğinde oyukların derinliği 200-300µm arasında ölçülmüştür. Al2019 kompozisyonunda olan bracketin bakır oranının % 5,5 olması

mikro-galvanik etki sonucu korozyon direncini düşürmektedir.

Korozyona uğramış bölgeden alınan AFM faz görüntüsünde farklı bir faza rastlanmamıştır. Oluşan hasar sonucunda faz ayrışması görünmemektedir.

Sonuç olarak elde edilen tüm verilere bakıldığında iniş takımlarında kullanılan bracket parçasında meydana gelen bu korozyon hasarının net olarak çukurcuk korozyonu ve oyuklanma korozyonu, korozyon tipinin ise geniş ve sığ (Shallow and wide) olduğu görülmektedir. Ancak bu gerçekleşmeden önce alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direncin nedenlerinden biri olan yüzey tabakasındaki amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasını ortadan kaldıran sürtünme korozyonu ile beraber lokalize olarak meydana geldiği görülmektedir. Al2019 serisinde bakır içeriğinin fazla olması parçada mikro-galvanik etkiyi arttırmaktadır. Bakır oranı Al2019 serisine göre daha az olan Al2024 serisinin tercih edilmesi, mikro-galvanik etkiyi azaltacaktır. Bundan dolayı bracket malzemesinde bakır oranı daha az olan Al2024 serisi tercih edilmesinde korozyon direncinin artırılması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

İncelemeye tabi tutulan parça temininde bulunan THY Teknik A.Ş. ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- A. Ghavamian, M. R. Maghami, S. Dehghan, C. Gomes, Concerns of corrosive effects with respect to lightning protection systems, *Engineering Failure Analysis* 57 (2015) 434–443
- ASTM G46 - 94(2018) Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion *Aerospace Materials and Material Technologies Volume 1: Chapter 2. Aluminium Alloys for Aerospace Applications*, Prasad, N.E., Wanhill, R.J.H., 2017, XXIX, 586 p., ISBN: 978-981-10-2133-6
- Asi, O. and Yesil, Ö., Failure Analysis Of An Aircraft Nose Landing Gear Piston Rod End, *Engineering Failure Analysis* 32 (2013) 283–291

- Aydın, B., AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2002,
- B. Krstic, B. Rasuo, D. Trifkovic, I. Radisavljevic, Zoran Rajic, M. Dinulovic, Failure analysis of an aircraft engine cylinder head, *Engineering Failure Analysis* 32 (2013) 1–15
- Güler, K. A., Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Bitirme tezi, 2003,
- Karakoç, H., Çalışır, D., Karakoç, N., Uçak Motorlarında Korozyona Yönelik Bakım Süreçleri, *Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Mühendis ve Makina - Cilt 43 Sayı 512*
- Kurt, K., Direk soğutmalı ve çift merdaneli döküm yolu ile üretilen 6xxx serisi kaynaklı ve kaynaksız alüminyum alaşımlarının oyuklanma korozyonu davranışı, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- S.K. Bhaumik, M. Sujata, M.A. Venkataswamy, Fatigue failure of aircraft components, *Engineering Failure Analysis* 15 (2008) 675–694
- Uludağ, A., Bir Uçak Ana İniş Takımı Jantının Sıvı Penetrant Kontrol Yöntemi ile İncelenmesi, *Journal of Aviation*, 2017, 1(2) 128-139
- V. Anes, R.S. Pedro, E. Henriques, M. Freitas, L. Reis, Galvanic corrosion of aircraft bonded joints as a result of adhesive microcracks, *Procedia Structural Integrity*, 1, (2016), 218–225

Failure Analysis of Al-based Bracket Parts Used in Aircraft Landing Gear

Extended abstract

Aluminum is the most commonly used metal after iron and steel in the metal market. Aluminum has been widely used in the early 1900's and has been used in the aviation industry day by day because of its superior properties and its relatively low self-mass. It is economically advantageous when considering the increasing fuel prices, as the vehicles that contain more aluminum in the structure are lighter than others. Aluminum alloys commonly used in the aerospace industry are up to 20% in some aircraft types. The planes are found in a wide variety of atmospheric conditions, such as tropical, industrial, marine, terrestrial, desert and polar, due to the travels they make. Such as galvanic, pitting, intergranular, scaling, tensile and fatigue types of corrosion are often seen in the Aluminum alloys used in airplanes. The galvanic corrosion caused by the superficial contact of titanium and aluminum alloys is often seen in the environment where these two alloys are used together. Corrosion multiplies and grows as the age of the aircraft progresses. Corrosion damage can not be detected at the beginning and if it is not repaired, it could cause serious danger to the entire structure. Even if the aircraft type is the same, the use in different environments will change the amount of corrosion damage that will occur. Airplanes undergo less corrosion in dry air, while in humid, warm and salty environments they experience corrosion in shorter time. The most common areas of corrosion on airplanes are the bushes on the landing gear, the bolts passing through the bushes with very small tolerances, and the covering that connects the wing to the body.

It is of utmost importance that this damage and / or failures that may occur in aircraft engines and components in order to ensure the suitability of a flight for a flight in flight activities and the safety and reliability of the necessary and sufficient levels are determined and determined before they cause serious consequences such as accidents.

It is inevitable to focus on the corrosion problems encountered in air vehicles in the aviation sector where flight safety is at the forefront and even the smallest mistake can not be ignored. Especially in the maintenance of air tools, it is important to detect this problem, take precautions and remove corrosion.

Failure of aircraft structural components can ultimately lead to life loss and catastrophic consequences for aircraft. Examination of defects and malfunctions in aircraft structures has vital importance in preventing further events

In this study, Corrosion behaviors of the bracket piece used in landing gear of the airbus A320-214 aircraft after 10,000 hours of use has been investigated. Microstructure, chemical and surface analysis of bracket were examined using SEM, EDX and AFM analysis instruments. Corrosive and non-corrosive zones of aluminum-based brackets were characterized using Atomic Force Microscopy (AFM) technique, and pitting corrosion has been evaluated.

According to the scan results made with AFM; the topographic image taken from the unbroken area shows micro and nano-lines formed as a result of the production process. The topography in the corroded area is the granular structure. The separation from the active sites in the granular structure has begun and corrosion cavities have formed. These cavities are called pitting corrosion. When the topographic data line profile taken in the corroded area is examined, the depth of the grooves is measured between 200-300 nm. It is seen that in the bracket copper content is 5.5% in Al2019 composition. The proportion of copper in the Al2019 alloy content will be higher than that of the Al2024 alloy, which will result in more micro-galvanic effect. With this result; it is understood that the corrosion rate decreases as the copper ratio increases. Therefore, Al series, which has less copper ratio in bracket material will be preferred in terms of corrosion resistance. The AFM phase image taken in the corroded region did not reveal a different case. It can be said that phase separation does not appear as a result of the damage.

As a result; it can be said that this corrosion damage in the bracket part used in the landing gear of the Airbus A320-214 type aircraft is clearly the pitting corrosion. And corrosion type can be said to be wide and shallow. However, it can be said that before this corrosion occurs, one of the causes of the resistance of aluminum to many corrosive environments is localized with friction corrosion, which lifts the amorphous or crystalline aluminum oxide layer in the surface layer.

Keywords: Al2019, Landing Gear, Corrosion, AFM



Boru demeti üzerinden geçen Al_2O_3 - su nanoakışkanın pulsatif akışının ısı transferine etkisi

Selma AKÇAY*

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Aksaray
selma.352@hotmail.com ORCID: 0000-0003-2654-0702, Tel: (506) 645 27 47

Ünal AKDAĞ

Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray
uakdag@gmail.com ORCID: 0000-0002-1149-7425, Tel:(506) 466 00 66

Oktay HACIHAFIZOĞLU

Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne
oktayh@trakya.edu.tr ORCID: 0000-0002-6487-5223, Tel: (536) 720 67 22

Doğan DEMİRAL

Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümü, Aksaray
ddemiral@aksaray.edu.tr ORCID: 0000-0001-9738-7632, (543) 893 08 92

Geliş: 21.06.2018, Kabul Tarihi: 22.10.2018

Öz

Bu çalışmada, sabit duvar sıcaklığına sahip boru demetleri üzerinden geçen Al_2O_3 -su nanoakışkanın laminer pulsatif akışının ısı transferine ve sürtünme faktörüne etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, dairesel kesitli borular kademeli olarak yerleştirilmiş ve analizler iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan eşitlikler, sonlu hacimler metodu ile SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Sayısal incelemelerde, nanoakışkan tipi ve partikül hacim oranı sabit tutulmuş olup, analizler Reynolds sayısının sabit bir değeri için pulsatif parametrelerin değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu parametrelerin ısı transferi karakteristiği ve sürtünme faktörü üzerindeki etkileri daimi akış şartları ile karşılaştırılmıştır. Boru demeti üzerinden pulsatif akışta anlık hız ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar, ısı transferindeki iyileşmenin pulsatif parametrelerden oldukça etkilendiğini göstermiştir. Pulsatif genlik ve frekans arttıkça ısı transferinin de arttığı, ancak bu artışın sürtünme faktöründe de bir miktar artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda boru demetleri üzerinden nanoakışkanların pulsatif akışı için en iyi termo-hidrolik performansı sağlayan parametreler belirlenmiştir. Sonuçlar boyutsuz parametrelerin bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru demeti; Pulsatif akış; Nanoakışkanlar; Isı transferi; Sayısal çalışma

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Boru demetleri üzerinden zorlanmış taşınım ile ısı transferi, ısıtma ve soğutma gibi uygulamalarda en çok çalışılan temel konular arasında yer almaktadır. Endüstride ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılan ısı değiştiricileri gibi cihazların ısı performansını iyileştirmek için alternatif yöntemler araştırılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de pasif ısı transferi iyileştirme yöntemleri arasında yer alan, temel akışkana nanopartiküllerin ilavesiyle elde edilen nanoakışkanların kullanılmasıdır. Isı transferi uygulamalarında temel akışkanın taşınım özelliklerinin sınırlı olması nedeni ile temel akışkana nano boyutlu parçacıklar ilave edilerek akışkanın taşınım özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmektedir. Nanoakışkanlar ile ilgili yapılan birçok araştırmada temel akışkana ilave edilen bu nano parçacıkların ısı transferini kayda değer bir şekilde artırdığı konusunda literatürde yaygın bir görüş bulunmaktadır (Li ve Xuan, 2000; Heris, vd. 2009; Yang ve Lai, 2010; Minea, 2009; Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009).

Diğer taraftan özellikle çapraz akışlı borulu ısı değiştiricileri, endüstride birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda ısı üreten cihazların soğutulması gibi uygulamalarda, özellikle cihazların boyutlarının giderek küçülmesi nedeniyle, daha kompakt ısı değiştiricilerinin tasarlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Alam ve Kim, 2018; Mueller ve Chiou, 1988). Bu tür ısı değiştiricilerinde boru demetleri üzerinden çapraz akışla ilgili bir çok optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Uzmanlar, kullanılan boruların kesitleri (dairesel, elips, oval vs), boru dizilimleri (düzgün, saptırılmış sıralı vs), borular arasındaki mesafe gibi birçok geometrik parametrelerin yanında, akış rejimleri (laminer, türbülanslı vs.) akışkan tipi gibi birçok parametreyi de inceleyerek en uygun tasarımın ortaya çıkması için çaba sarfetmektedirler. Farklı şekillere sahip boru demetleri üzerinden zorlanmış taşınım ile ısı transferi pek çok araştırmacı tarafından deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir (Mangrulkar, vd.

2017; Lavasani, vd. 2014, Salcedo, vd. 2016; Gamrat, vd. 2008). Khan vd. (2006), düzgün ve saptırılmış sıralı boru demetleri üzerinden zorlanmış taşınım ile ısı transferini analitik olarak incelemişlerdir. İnceleme sonucunda saptırılmış sıralı dizilişin, düzgün sıralı dizilişe göre ısı transferini artırdığını belirtmişlerdir. Zhang vd. (2015), sabit ısı akısına sahip dairesel boru demetleri üzerinden zorlanmış taşınım ile ısı transferini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, akışın sapma açısının artmasıyla hem sürtünmenin hem de Nu sayısının arttığını belirtmişlerdir. Haitham vd. (2005) boru demetleri üzerinden laminer akışta ısı transferini iki boyutlu sayısal olarak incelemişler ve düzgün sıralı dizilişe göre saptırılmış sıralı dizilişin çok daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Jun ve Jiin (2011), sabit cidar sıcaklığına sahip, düzgün ve saptırılmış dizili boru demetleri üzerinden Al_2O_3 nanoakışkanların laminer zorlanmış taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. İnceleme sonucunda nanoakışkan kullanımının saf suya göre ısı transferini ve basınç kaybını oldukça artırdığını belirtmişlerdir. Boru demetleri üzerinden nanoakışkan akışıyla ilgili yapılan çalışmalarda Reynolds sayısı ve nanopartikül oranının artmasıyla ısı transferinin arttığı belirtilmiştir (Abdel-Rehim, 2012; Ho, vd. 2017; Mangrulkar ve Kriplani, 2016).

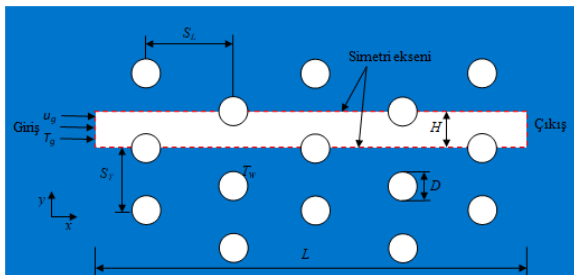
Isı transferini daha da artırmak için pasif yöntemlerin yanında aktif yöntemlere de başvurulmaktadır. Bunlardan biri, akışa periyodik salınımlar eklenerek yapılan pulsatif akış uygulamalarıdır ve son yıllarda aktif ve pasif yöntemlerin birlikte kullanıldığı sistemlerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Pulsatif akış, daimi ve zamana bağlı hız bileşenlerinden oluşur ve ana akışa bir periyodiklik kazandırarak, akışın daha iyi karışması sağlanır (Patel ve Attal, 2016; Akdağ, 2010). Literatürde bazı geometriler için nanoakışkanların pulsatif akışında ısı transferinin kayda değer bir şekilde arttığına ilişkin çalışmalar mevcuttur (Akdağ, vd. 2014; Narrein, vd. 2016). Pulsatif akış ve nanoakışkanın birlikte kullanıldığı kanal içi akışlarla ilgili çalışmalar

bulmak mümkündür (Raghoshay, vd. 2012). Bu çalışmalarda ısı transferinin arttığı belirtilmiştir. Boru demetleri üzerinden pulsatif akış ile ilgili Konstantinidis vd. (2000; 2002) tarafından yapılan birkaç çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda düzgün dizilişli boru demetleri üzerinden akış, akış görüntüleme tekniği ile incelenmiş olup, pulsatif akışın vorteks oluşturma potansiyeli incelenmiştir. Bu durumun ısı transferinde artışa neden olacağı belirtilmiş, ancak ortaya somut bir sonuç konulmamıştır. Buradan hareketle, boru demetlerinin üzerinden nanoakışkanların pulsatif akışı ile ilgili yeterince çalışma olmaması, akış periyodikliğinden dolayı olayın fiziğinin de karmaşık olması nedeniyle bu konudaki açığı doldurmak amacıyla bu sayısal çalışma yapılmıştır. Bu konuda Ahmed, vd. (2017), tarafından yapılan çalışma referans alınmıştır. Referans çalışmada boru demetleri üzerinden akışta nanopartikül hacim oranı, Reynolds sayısı ve borular arasındaki mesafe gibi parametreler incelenmiştir. Mevcut çalışmada ise bu parametreler sabit tutularak aktif ısı transferi iyileştirme yöntemi olan pulsatif akış giriş şartı uygulanmış olup, saptırılmış boru demetleri üzerinden nanoakışkanın laminar pulsatif akışında, pulsatif akış parametrelerine bağlı olarak ısı transferi ve basınç düşüşü analiz edilmiştir. Anlık akış görüntüleri elde edilerek ısı geçiş mekanizması değerlendirilmiştir.

Sayısal Çalışma

Sayısal Model

Şekil 1'de, boru demeti üzerinden akış için seçilen çözüm alanına ait sayısal modelin geometrisi verilmiştir.



Şekil 1. Sayısal modelin geometrisi (ölçeksiz)

Geometride boru demeti saptırılmış olarak düzenlenmiştir. Boru eksenleri arasındaki uzaklık düşeyde S_T ve yatayda S_L olarak ifade edilmiştir. Çözüm alanı olarak simetrik düzenlemeden dolayı Şekil 1'de görüldüğü gibi geometriyi temsil eden bir modül alınmıştır.

Geometride borular dairesel kesitli olup boruların çapı (D) 10mm, boru dizilişine esas ölçüler ise $S_T/D=2$ ve $S_L/D=1.5$ olarak alınmıştır. Çözüm alanı ölçüleri $H \times L=20 \times 120$ mm dir.

Sayısal Yöntem ve Sınır Şartları

Boru demeti üzerindeki akış, laminar, sıkıştırılmaz, iki boyutlu ve zamana bağlı kabul edilerek akışkan Newtonien özellikte ve tek fazlı olarak düşünülmüştür. Nanopartiküller ile suyun aynı akış ve ısı şartlarında sisteme girdiği kabul edilmiş, yerçekimi ve radyasyonla ısı transferi ihmal edilmiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -su kullanılmış olup, nanoakışkan tipi ve partikül hacim oranı ($\phi=5\%$) değiştirilmemiştir. Bu kabullere göre korunum denklemleri aşağıda Eşitlik (1-3)'te verilmiştir.

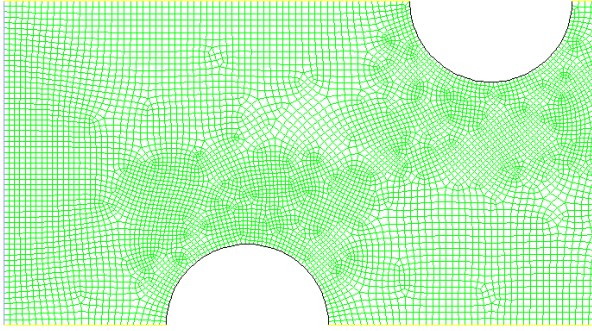
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \nabla^2 u_j \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{1}{Re \cdot Pr} \nabla^2 T \quad (3)$$

Sayısal çözümler, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği tabanlı ANSYS Fluent 15.0 (2015) paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Denklemlerin ayrıklaştırılmasında sonlu hacim metodu uygulanarak eşitlikler SIMPLE algoritması ile çözülmüştür. Taşınım ve yayılım terimleri ikinci dereceden ileri fark şeması ile ayrıklaştırılmıştır. Yakınsama kriteri olarak enerji eşitlikleri için 10^{-9} , diğer eşitlikler için 10^{-6} alınmıştır. Ağ (grid) bağımsızlığı için $Re=400$ değerinde 6196, 12587, 16283 ve 23769 olmak üzere çeşitli eleman sayılarında çözümler uygulanmış ve bu çözümlere göre elde edilen Nu sayılarının 12587 ağ sayısından sonra, %2 den

daha az değiştiği gözlemlenmiş ve bu çalışmada 16283 eleman sayısı tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan ağ yapısı Şekil.2' de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan ağ yapısı

Çalışmalar $Re=400$ sabit değeri için farklı pulsatif genlik ve pulsatif frekanslarda yapılmış olup kullanılan sayısal çözüm parametreleri Tablo.1 de verilmiştir.

Tablo 1: Sayısal çözüm parametreleri

Reynolds Sayısı (Re)	Genlik (A_o)	Frekans (Wo)
400	0.5, 0.8, 1, 1.2	$\cong 7, 10, 15, 18$
	0.5, 0.8, 1, 1.2	$\cong 7, 10, 15, 18$
	0.5, 0.8, 1, 1.2	$\cong 7, 10, 15, 18$

Akışkanın boru demeti üzerine $T_g=293K$ sıcaklığında üniform olarak girdiği kabul edilmiştir. Çözüm alanı girişinde, "hız girişi sınır şartı" tariflenmiş, çıkışta "basınçlı çıkış sınır şartı" uygulanmıştır. Boruların dış yüzeylerine $T_w=350K$ sabit sıcaklık sınır şartı ve kaymama sınır şartı uygulanmıştır. Çözüm alanı olarak bir modül seçildiğinden, alt ve üst sınırlar periyodik olarak tanımlanmıştır. Pulsatif akışı ifade eden zamana bağlı hız giriş şartı Eşitlik (4) ile verilmiştir.

$$u_g = U [1 + A_o \sin(\omega t)] \quad (4)$$

Burada, A_o pulsatif genliği, ω ise radyan cinsinden açısal hızı ifade etmektedir. Boyutsuz frekansı ifade eden boyutsuz sayılardan biri Strouhal sayısı (St) olup bu sayı daha yüksek frekans değerlerinde tercih edilmektedir. Bu çalışmada ise frekansın oldukça düşük olması nedeniyle Wo sayısı tercih edilmiştir. Açısal hızı

bağlı olarak tariflenen Womersley sayısı (Wo) (Eşitlik 5), Wo sayısı da pulsatif frekansı ifade etmektedir.

$$Wo = D \sqrt{\omega / \nu} \quad (5)$$

Burada D , dairesel kesitli boruların çapını, ω rad cinsinden açısal hızı, ν ise kinematik viskoziteyi göstermektedir.

Nanoakışkanın Termo-fiziksel Özellikleri

Nanopartiküllerin temel akışkan içine homojen bir şekilde dağıldığı ve nanoakışkanın Newtonien özellikte olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar altında nanoakışkanın termo-fiziksel özellikleri Eşitlik (5-8) ile hesaplanarak elde edilmiştir. Temel akışkan olarak su kullanılmıştır.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi) \rho_{bf} + \varphi \rho_{pt} \quad (5)$$

$$C_{nf} = (1 - \varphi) C_{bf} + \varphi C_{pt} \quad (6)$$

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{[k_{pt} + 2k_{bf} - 2\varphi(k_{bf} - k_{pt})]}{[k_{pt} + 2k_{bf} + \varphi(k_{bf} - k_{pt})]} \quad (7)$$

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} [123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1] \quad (8)$$

Burada nf , pt ve bf alt indisleri sırasıyla nanoakışkan, nanopartikülü ve temel akışkanı göstermektedir. Tablo. 2' de suyun ve kullanılan nanopartiküllerin termo-fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2: Al_2O_3 nanopartikülün ve suyun termo-fiziksel özellikleri

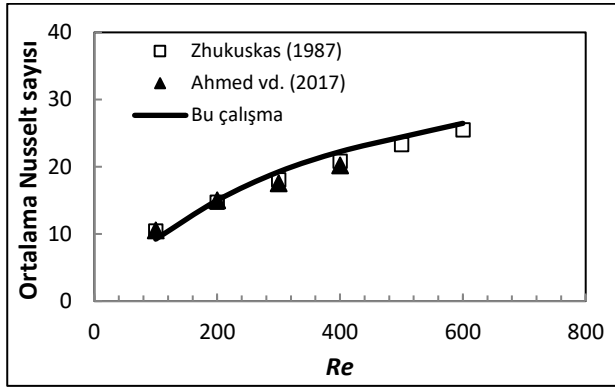
	ρ [kg/m ³]	C [j/kgK]	k [W/mK]	μ [kg/ms]
Su	998	4182	0.613	0.001003
Al₂O₃	3970	765	40	-

Nanoakışkanın termo-fiziksel özellikleri (özellikle ısıl iletkenlik, viskozite ve ısı kapasitesi) literatürdeki farklı eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve bu eşitliklerin, sonucu ne kadar değiştirdiği analiz edilmiştir.

Elde edilen değerlerin çok fazla değişmediği (en fazla %1.58) gözlenmiştir (Minea, 2009; Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009). Bundan dolayı en yaygın kullanılan bu eşitlikler tercih edilmiştir.

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, sayısal çözümün geçerliliğini belirlemek için literatürde boru demetlerinin üzerinden akış için geliştirilmiş bağıntı olan Zhukuskas (1987) bağıntısı ve Ahmed, vd. (2017) tarafından yapılan çalışma referans alınmış ve benzer geometri kullanılarak daimi akış şartları için sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil.3'ten de görüldüğü gibi elde edilen sonuçların literatürle iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Bu doğrulamadan hareketle pulsatif akış şartları için çözümler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3. Doğrulama için referans çalışmalarla yapılan karşılaştırma

Bu çalışmada, Al_2O_3 -su, nanoakışkanın sabit partikül hacim oranı için ($\phi=5\%$) pulsatif akış giriş şartlarında ısı transferi ve sürtünme faktörü sayısal olarak araştırılmıştır. Araştırmalarda pulsatif parametreler değiştirilirken nanopartikül tipi, partikül hacim oranı ve Reynolds sayısı gibi diğer parametreler sabit tutulmuştur. Boru demeti üzerinden nanoakışkanın akışında, boruların yüzeyinde sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmış olup çözüm alanında yerel ve anlık ısı transferi katsayısı Eşitlik (9-11) ile, ortalama Nu sayısı ise Eşitlik (12) ile hesaplanmıştır.

$$Nu_x = -\frac{k_{nf}}{k_f} \frac{\partial \theta}{\partial Y} \quad (9)$$

$$h_x = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (10)$$

$$h_t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} h dt \quad (11)$$

$$Nu = \frac{1}{2\pi L} \int_0^L \int_0^{2\pi} Nu_{x,t} dt dx \quad (12)$$

Burada, 2π bir pulsatif çevrimi ifade etmektedir. Sürtünme faktörü Eşitlik (13) ile belirlenmiştir.

$$f = \frac{\Delta P}{(N_L) \rho_{nf} u_{max}^2} \quad (13)$$

Bu eşitlikte, N_L boru sıra sayısı olup, maksimum hız aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Eşitlik 14):

$$u_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} u_g \quad (14)$$

Burada k_{nf} nanoakışkanın ısı iletim katsayısı, ρ_{nf} nanoakışkanın yoğunluğunu ve L toplam çözüm alanı uzunluğunu göstermektedir. Akış pulsatif (periyodik) olduğu için bir çevrim boyunca geçen ısı, hem zamanın hem de konumun fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Boru demetinden gerçekleşen ısı transferi performansını belirlemek için Nusselt sayısına bağlı olarak $\eta = Nu_p / Nu_s$ şeklinde boyutsuz bir sayı tariflenmiştir. Burada Nu_p pulsatif akış için hesaplanan ortalama Nusselt sayısını, Nu_s ise daimi akış için hesaplanan ortalama Nusselt sayısını göstermektedir.

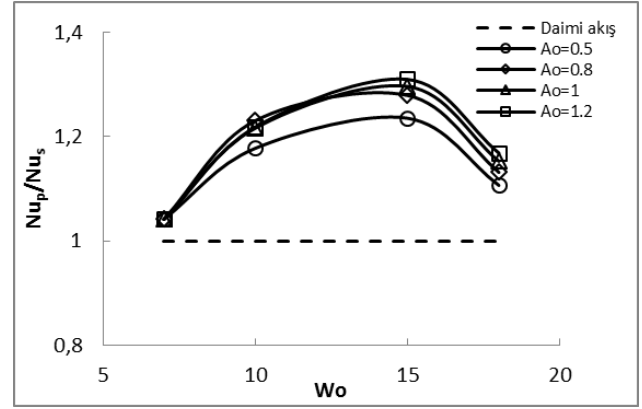
Temel akışkan ile karşılaştırıldığında nanoakışkanlar, Re sayısı ve nanopartikül hacim oranının artışına bağlı olarak ısı transferini iyileştirmektedir. Diğer taraftan, nanoakışkan tipi, partikül çapı, partikül hacim oranı ve akışkan hızına bağlı olarak cidar ve akışkan içinde meydana gelen kayma gerilmeleri önemli

derecede basınç düşüşüne neden olmaktadır. Temel akışkana göre nanoakışkanların viskozite değerlerinin daha yüksek olmasının nedeni nanopartiküllerin akışkanın viskozitesini artırmasıdır. Bundan dolayı nanoakışkan kullanarak yapılan ısı transferi iyileştirme çalışmalarında basınç düşümünün de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, boru demeti üzerinden nanoakışkanın pulsatif akışında basınç düşümünü belirlemek için boyutsuz sürtünme faktörü $r=f_p/f_s$ tanımlanmıştır. Burada f_p pulsatif akışta, f_s ise daimi akışta elde edilen yüzey sürtünme değerini göstermektedir.

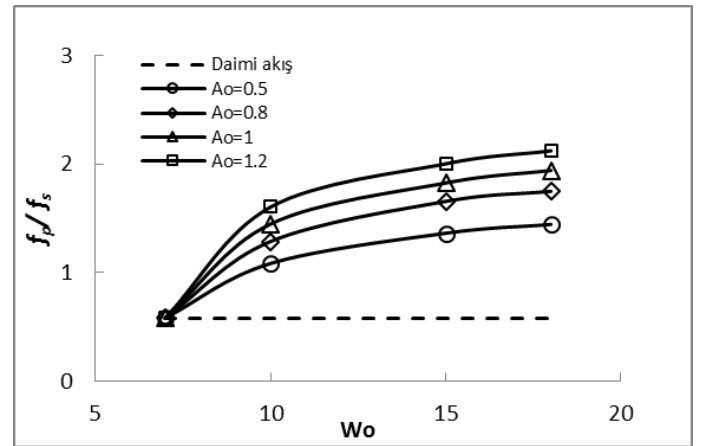
Şekil 4'te pulsatif parametrelere bağlı olarak ısı transferindeki iyileşme ve Şekil 5'te pulsatif parametrelere bağlı olarak sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Sonuçlar daimi akış şartları ile de karşılaştırılmıştır.

Şekil.4'de görüldüğü gibi ısı transferinde yaklaşık %30 gibi bir iyileşme sözkonusudur. Bu iyileşme, nanoakışkanın boru demetleri üzerinden pulsatif akışındaki ısı transferinin daimi akıştaki ısı transferine oranıdır. Elde edilen sonuçlardan pulsatif parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir. Düşük genlik ve düşük frekanslar için ısı transferinde kayda değer bir artış olmamakla birlikte, yüksek genlik ve belirli bir frekans için ($Wo=15$) ısı transferinin iyileştiği ve ısı transferini maksimum yapan bir frekans olduğu anlaşılmaktadır. Bu tepe noktadan sonra frekansı daha fazla artırmanın ısı transferini azalttığı görülmektedir.

Şekil 5'te sayısal çözümlerden elde edilen sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Genlik ve frekans arttıkça sürtünmelerin de arttığı görülmektedir. En yüksek genlik ve en yüksek frekansta en fazla sürtünme meydana gelmektedir. Bu parametrelerin artması akış içerisinde çalkantıların dolayısı ile akışkan molekülleri arasındaki etkileşimin artmasına sebep olmakta ve bu durum da sürtünmelerin artmasına neden olmaktadır.



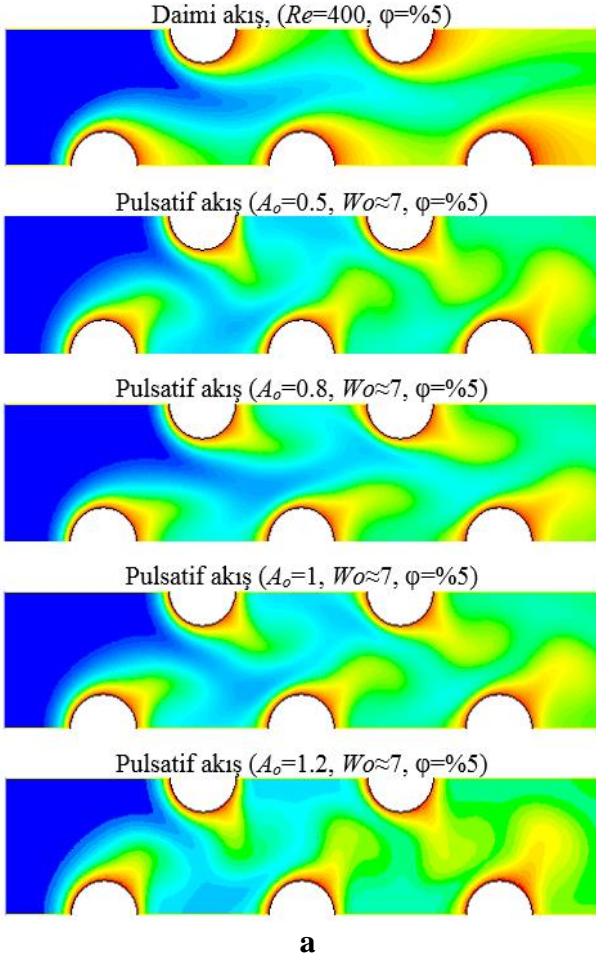
Şekil 4. Pulsatif parametreler ile ısı transferi performansının değişimi



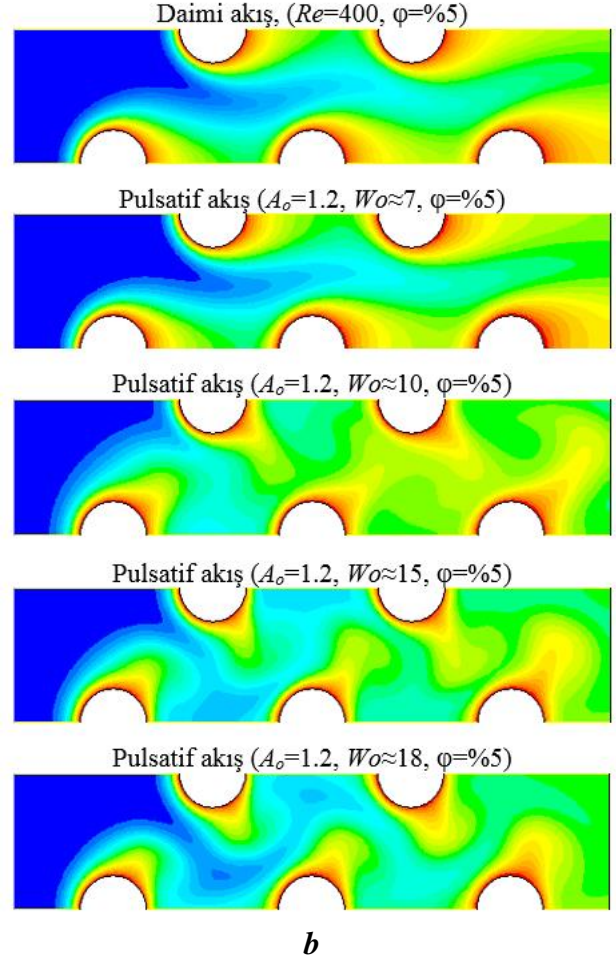
Şekil 5. Pulsatif parametreler ile boyutsuz sürtünme faktörünün değişimi

Pulsatif akışın ısı transferi üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için, Şekil 6a'da daimi akış ve Şekil 6b' de pulsatif akış için sıcaklık dağılımları verilmiştir.

Şekil 6a'da frekansın sabit tutulduğu durum için pulsatif genliğin sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri, Şekil 6b'de ise genliğin sabit tutulduğu durumda pulsatif frekansın sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi düşük genlik ve frekanslarda sıcaklık dağılımı daimi akış durumuna benzerken, artan frekans ve genlikle birlikte pulsatif etkinin daha fazla hissedildiği anlaşılmaktadır.

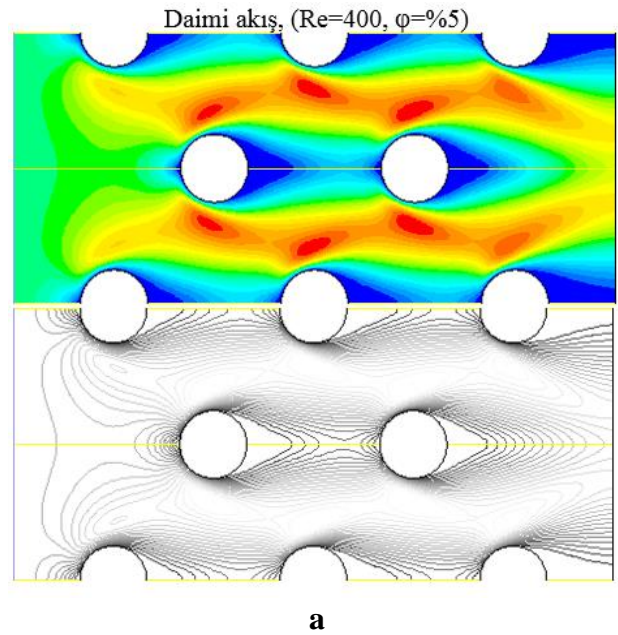


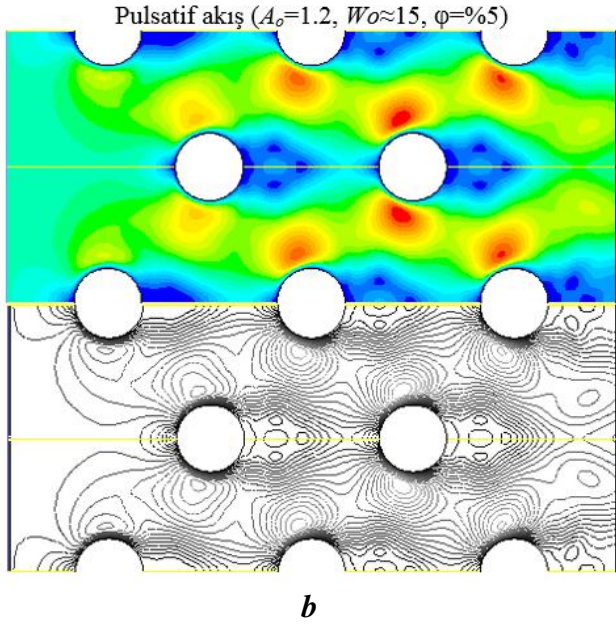
Şekil 6a. Pulsatif genlik ile sıcaklık dağılımının değişimi



Şekil 6b. Pulsatif frekans ile sıcaklık dağılımının değişimi

Şekil 7'de ise pulsatif etkinin daha iyi anlaşılabilmesi için, daimi akış (Şekil 7a) ve pulsatif akış (Şekil 7b) durumu için hız dağılımları verilmiştir. Şekil 7b'de görüldüğü gibi, pulsatif akışta borular arkasında daha büyük sirkülasyon bölgeleri oluşmakta, bu oluşan sirkülasyon bölgeleri periyodik olarak hareket ederek, ana akımın geçtiği çekirdek akış bölgesini daha iç kesimlere taşımakta, akışın daha iyi karışmasını sağlamaktadır. Bu durumda soğuk akışkan ile silindir etrafındaki sıcak akışkan daha iyi karışmaktadır. Diğer taraftan, daimi akış ile karşılaştırıldığında pulsatif akışta borular etrafındaki sınır tabakanın daha ince olduğu da gözlenmektedir. Bu sebeplerden dolayı pulsatif akışın ısı transferini önemli ölçüde iyileştirdiği söylenebilir. Bu durum sayısal sonuçlarla da doğrulanmaktadır.



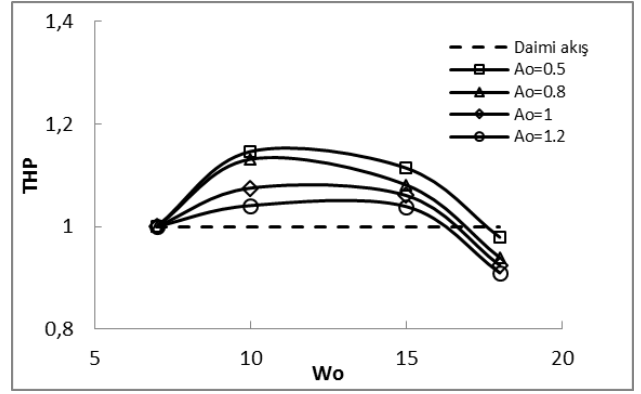


Şekil 7: Daimi akış için hız dağılımları (a)
Pulsatif akış için hız dağılımı (b)

Isı transferindeki iyileşmeye karşılık sürtünmede meydana gelen artışın da birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için, ısı transferindeki artışı ifade eden (Nu_p/Nu_s) iyileşme oranının, sürtünme faktörüne oranı ile Termo-Hidrolik Performans (THP) tanımlanmış olup (Eşitlik-15) termo-hidrolik performansın 1'den büyük olması boru demeti üzerinden pulsatif akışta nanoakışkanın sebep olduğu sürtünmeye rağmen ısı transferinde bir iyileşme olduğunu ifade etmektedir.

$$THP = \frac{(Nu_p / Nu_s)}{(f_p / f_s)^{1/3}} = \frac{\eta}{r^{1/3}} \quad (15)$$

Şekil 8'de sürtünmelere rağmen pulsatif akışın ısı transferinde meydana getirdiği artışı gösteren THP değerleri verilmiştir. Düşük frekans ve genlikte termo-hidrolik performansta bir artış olmamakla birlikte, termo-hidrolik performansın maksimum olduğu bir frekans değeri olduğu görülmektedir. Yüksek genlik ve belirli bir frekansta ($Wo=10$) en iyi termo-hidrolik performansın sağlanması, pulsatif akışın sürtünmelerde bir miktar artışa sebep olsada ısı transferini kayda değer bir şekilde artırdığını göstermiştir.



Şekil 8. Termo-hidrolik performansın pulsatif parametrelere bağlı olarak değişimi

Frekans, kritik değerin ($Wo=15$) üzerinde arttıkça hem ısı transfer performansının azalması hem de sürtünme kayıplarının daha fazla artması nedeniyle termo-hidrolik performanstaki iyileşme azalmaktadır. Bu çalışmada Reynolds sayısı, nanopartikül tipi ve hacim oranı ve aynı zamanda geometrik parametreler sabit tutulmuştur. Uygun parametreler seçilmesi halinde, nanoakışkanların pulsatif akışının ısı transferini artırmada önemli bir potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada, kademeli düzenlemeye sahip boru demeti üzerinden nanoakışkanın laminer, pulsatif akış şartlarında akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Analizlerde, nanoakışkan tipi (Al_2O_3), partikül hacim oranı ($\phi=0.5$), Re sayısı ($Re=400$) ve geometrik parametreler ($S_T=2$, $S_L=1.5$) sabit tutulurken pulsatif parametreler değiştirilmiştir. Sayısal sonuçlar, ısı transferi performansının ve sürtünme faktörünün pulsatif akış parametrelerinden önemli derecede etkilendiğini, yüksek genlik ve düşük frekanslarda ısı transferi performansı artarken, artan genlik ve frekansla birlikte sürtünme faktörünün de arttığını göstermiştir. En iyi ısı transferi performansının yüksek genlik ($A_o=1.2$) ve düşük frekans ($Wo=10$) değerlerinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları, boru demetleri üzerinden akışta uygun parametrelerin kullanılması halinde pulsatif nanoakışkan akışının termo-hidrolik performansı etkin bir şekilde artırabileceğini

göstermiştir. Bu ısı transferi iyileştirme tekniğinin daha kompakt ısı değiştiricilerinin tasarımında kullanılabileceği tavsiye edilebilir.

Kaynaklar

- Abdel-Rehim, Z.S., (2012). A numerical study of heat transfer and fluid flow over an in-line tube bank, *Energy Sources, Part A: Recov. Util. Environ. Eff.* 34 (22) 2123–2136.
- Ahmed, M. A., Yaseen, M. M., Yusoff, M. Z. (2017). Numerical study of convective heat transfer from tube bank in cross flow using nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 560-569.
- Akdag, U., (2010). Numerical investigation of pulsating flow around a discrete heater in a channel. *International Communication Heat and Mass Transfer*, 37 (7), 881-889.
- Akdag, U., Akcay, S., Demiral, D., (2014). Heat Transfer Enhancement with Laminar Pulsating Nanofluid Flow in a Wavy Channel, *International Communication Heat and Mass Transfer*, 59, 17–23.
- Alam, T., Kim, M.H., (2018). A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 813-839.
- ANSYS Fluent user guide & theory guide- Release 15.0, (2015). Fluent Ansys Inc, USA.
- Gamrat, G., Marinet, M.F., Person, S. L., (2008). Numerical study of heat transfer over banks of rods in small Reynolds number cross-flow, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 51, 853–864.
- Haitham, M.S., Bahaidarah, H.M.S., Anand, N.K., Chen, H.C., (2005). A numerical study of fluid flow and heat transfer over a bank of flat tubes, *Numerical Heat Transfer, Part A Appl.* 48:4, 359–385.
- Heris, S.Z., Etemad S.G., Esfahany M.N., (2009). Convective heat transfer of a Cu/water nanofluid flowing through a circular tube, *Experimental Heat Transfer*, 22, 217–227.
- Ho, C.J., Chang, C.Y., Wei, M.Y., (2017). An experimental study of forced convection effectiveness of Al₂O₃-water nanofluid flowing in circular tubes, *International Communication Heat and Mass Transfer*, 83, 23–29.
- Jun, B.H, Jiin, Y.J., (2011). Numerical investigation of nanofluids laminar convective heat transfer through staggered and in-lined tube banks, F.L. Gaol et al. (Eds.), Proc. of the 2nd International Congress on CACS, AISC 144, 483–490.
- Kakac, S., Pramuanjaroenkij, A., (2009). Review of Convective Heat Transfer Enhancement with Nanofluids”. *International Journal Heat and Mass Transfer*, 52, 3187–3196.
- Khan, W.A., Culham, J.R., Yovanovich, M.M., (2006). Convection heat transfer from tube banks in crossflow: analytical approach, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 49, 25–26, 4831–4838.
- Konstantinidis, E., Castiglia, D., Balabani, S., Yianneskis, M., (2000). On the Flow and Vortex Shedding Characteristics of an In-Line Tube Bundle in Steady and Pulsating Crossflow,. *Chemical Engineering Research and Design*, 78 (8), 1129–1138.
- Konstantinidis, E., Balabani, S., Yianneskis, M., (2002). A study of vortex shedding in a staggered tube array for steady and pulsating cross-flow. *Journal of Fluids Engineering* 124:3, 737-746.
- Lavasani, A.M., Bayat, H., Maarefdoost, T., (2014). Experimental study of convective heat transfer from in-line cam shaped tube bank in crossflow, *Applied Thermal Engineering*, 65:1–2, 85–93.
- Li, Q., Xuan, Y. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 21, 58–64.
- Mangrulkar, C.K., Dhoble, A.S., Deshmukh, A.R., Mandavgane, S.A., (2017). Numerical investigation of heat transfer and friction factor characteristics from in-line cam shaped tube bank in crossflow, *Applied Thermal Engineering*. 110, 521–538.
- Mangrulkar, C.K., Kriplani, V.M., (2016). Experimental investigation of convective heat transfer enhancement using alumina / water and copper oxide / water nanofluids, *Thermal Science*, 20, 1681–1692.
- Minea, A.A., (2013). Effect of microtube length on heat transfer enhancement of a water/Al₂O₃ nanofluid at high Reynolds numbers, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 62, 22–30.
- Mueller, A.C., Chiou, J.P.. (1988). Review of various types of flow maldistribution in heat exchangers, *Heat Transfer Engineering*, 9: 2, 36-50.
- Narrein, K., Sivasankaran, S., Ganesan, P., (2016). Numerical investigation of two-phase laminar pulsating nanofluid flow in a helical microchannel, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 69: (8), 921-930.

- Patel, J.T., Attal, M.H., (2016). An Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics of Pulsating Flow in Pipe. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6, 5: 1515-1521.
- Rahgoshay, M., Ranjbar, A. A., Ramiar, A. (2012). Laminar pulsating flow of nanofluids in a circular tube with isothermal wall. *International Communication Heat and Mass Transfer*, 39 (3) 463-469.
- Salcedo, E., Cajas, J.C., Treviño, C., Martínez, L., (2016). Unsteady mixed convection heat transfer from two confined isothermal circular cylinders in tandem: buoyancy and tube spacing effects, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 60, 12–30.
- Yang, Y.T., Lai, F.H., (2010). Numerical study of heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling system, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 53: 25–26, 5895–5904.
- Zhang, L.Z., Ouyang, Y.W., Zhang, Z.G., Wang, S.F., (2015). Oblique fluid flow and convective heat transfer across a tube bank under uniform wall heat flux boundary conditions, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 91, 1259–1272.
- Zukauskas, A., (1987). Heat transfer from tubes in cross flow, *Advances in Heat Transfer*, 18: 87.

ρ Yoğunluk [kg/m^3]
 φ Nanopartikül hacim oranı (%)

alt indisler

bf temel akışkan
 ζ çıkış
 g giriş
 nf nanoakışkan
 pt nanopartikül
 s saf su
 w duvar

Semboller

A_o Boyutsuz genlik [x_m/D]
 C Özgül ısı [J/kgK]
 D Boru çapı [mm]
 f Yüzey sürtünme değeri
 h Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]
 H Çözüm alanı yüksekliği [m]
 k Isı iletim katsayısı [W/mK]
 L Toplam çözüm alanı uzunluğu [m]
 η Isı transferi performansı [Nu_p/Nu_s]
 Nu Nusselt sayısı
 Pr Prandtl sayısı [$\mu C_p/k$]
 r Boyutsuz sürtünme faktörü [f_p/f_s]
 Re max. Reynolds sayısı [$\rho u_{max}D/\mu$]
 T Sıcaklık [K]
 T_b yığın (bulk) sıcaklığı [K]
 THP Termo-hidrolik performans [$\eta/r^{1/3}$]
 u_g Giriş hızı [m/s]
 U Ortalama hız [m/s]
 Wo Womersley sayısı [$D\sqrt{\omega/\nu}$]
 x,y Koordinatlar
 μ Dinamik viskozite [kg/ms]

The effect on heat transfer of pulsating flow of the Al₂O₃-water nanofluid passing through the tube bundle

Extended abstract

In this study, the convective heat transfer characteristics of Al₂O₃-water nanofluids flow over a tube bundle under constant wall temperature and pulsating inlet flow conditions are investigated numerically. In the analyzes, the pulsating parameters were changed while the nanofluid type (Al₂O₃), particle volume ratio ($\phi=5\%$), Re number ($Re=400$) and geometric parameters ($S_T=2$, $S_L=1.5$) were fixed. The circular-tube banks with staggered arrangement is considered. The flow over the tube bundle was considered laminar, incompressible, two-dimensional and time dependent, Newtonian and single-phase. Gravity and radiation heat transfer were neglected.

Numerical solutions were obtained using the ANSYS Fluent 15.0 (2015) package program based on Computational Fluid Dynamics. The equations are solved by the SIMPLE algorithm by applying the finite volume method. The convergence criterion is 10^{-9} for energy equations and 10^{-6} for other equations. For grid independence, solutions are applied to various element numbers, and according to these solutions, 16283 elements are preferred in the study.

To determine the heat transfer performance from the tube bundle, a dimensionless number ($\eta = Nu_p / Nu_s$) is described, depending on the Nusselt number. Where Nu_p is Nusselt number calculated for the pulsating flow, and Nu_s is Nusselt number calculated for the steady flow. In order to understand the effects of pulsating flow on heat transfer, the temperature distributions are obtained for the steady flow and the pulsating flow. The figures show that the temperature distributions at low amplitudes and frequencies are similar to the steady flow conditions, but it is understood that the pulsating effect is seen more with increasing frequency and amplitude.

In this study, the dimensionless friction factor ($r = f_p / f_s$) is defined to determine the pressure drop in the pulsating flow of the nanofluid through the tube bundle. Where, f_p is the surface friction value for the pulsating flow and f_s is the surface friction value for the steady flow. It is shown that for a high amplitude

and a specific frequency ($Wo=15$), the heat transfer improved and the heat transfer maximized, while there is no significant increase for low amplitude and low frequencies. After this peak, it seems that increasing the frequency further reduces heat transfer. The variation of the friction factor obtained from numerical solutions is shown with the figures. As the amplitude and frequency increase, the friction factor increases. The increase of these parameters leads to the increase of turbulence in the flow, the more mixing of the flow, which causes the friction to increase.

In the Figures, velocity distributions are given for steady flow and pulsating flow. In Figures are seen that larger circulation zones are formed behind the tubes in the pulsating flow, and these circulation regions periodically change. In this case the cold fluid and the hot fluid around the cylinder are better mixed. On the other hand, it is observed that the boundary layer around the tubes in the pulsating flow is thinner when compared with the steady flow. For these reasons, it can be said that the pulsating flow significantly improves the heat transfer.

The thermo-hydraulic performance (THP) is defined as the ratio of the improvement in heat transfer (Nu_p / Nu_s) to the friction factor. If the thermo-hydraulic performance is greater than 1, there is an improvement in heat transfer despite frictions. Although there is no increase in thermo-hydraulic performance at low frequency and amplitude, it appears that the thermo-hydraulic performance has a specific frequency value. Providing the best thermo-hydraulic performance with a high amplitude and a certain frequency ($Wo=10$) has shown that the pulsating flow significantly increases heat transfer, even if it causes a slight increase in friction.

Numerical results show that the heat transfer performance and friction factor are significantly affected by the pulsating flow parameters. It was observed that the best heat transfer performance is obtained at high amplitude ($A_o=1.2$) and low frequency ($Wo=10$) values. The results are given as a function of dimensionless parameters. The study results show that pulsating nanofluid flow can effectively increase thermo-hydraulic performance if appropriate parameters are used in the flow through tube bundles.

Keywords: Tube bundle, Pulsating flow, Nanofluids, Heat transfer, Numerical study



Kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu

Önder AYER*

Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne

onderayer@trakya.edu.tr ORCID: 0000-0001-8970-145X, Tel: (284) 226 12 17 (2119)

Geliş: 17.07.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Magnezyum hafif olması, dayanıklılığı ve özellikle özgül dayanım oranının yüksekliği bakımından çelik ve alüminyum gibi yapısal metallerin yerini almaya başlamaktadır ve plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilmesi ticari öneme sahiptir. Bu yöntemlerden birisi olan ekstrüzyon; genelde hafif metallerde uygulanan, iş parçasını bir kovan içerisinde koyarak, zımba vasıtasıyla metale baskı uygulayarak ürün geometrisine sahip bir kalıp içerisinde malzemenin geçirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ekstrüzyon yönteminde uygulanacak şekillendirme kuvvetinin bilinmesi kalıp malzemesi seçimi ve uygun pres kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir etkidir.

Bu çalışmada, aynı ekstrüzyon oranına sahip kalıplarla gerçekleştirilen ekstrüzyonda, kalıp giriş çapı, kalıp açısı ve kalıp kanal uzunluğu gibi kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkisi Taguchi L9 Ortogonal Deney Tasarımı kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, 3 farklı seviyede kalıp parametreleri değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma, aynı bilgiyle daha az deney yaparak deney zamanını düşürmek amacıyla Taguchi yöntemi kullanılarak 27 adet olması gereken deney sayısı 9 adet deneye indirgenmiştir. Sonuçlar üzerine kararlar alınmasında ise Varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede, ekstrüzyon kuvveti üzerinde en fazla etki eden kalıp parametresinin %68,48 oranında kalıp giriş çapı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, ekstrüzyon kuvvetinin kalıp giriş çapının düşmesiyle artış gösterdiği, kalıp açısının artışıyla ekstrüzyon kuvvetinin azaldığı ve kalıp kanal uzunluğu arttıkça şekillendirme için gereken kuvvet arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, farklı kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvveti ile olan etkileşimi belirlenmiş ve en düşük ekstrüzyon kuvvetini verebilecek uygun kalıp tasarımı optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AZ31 Magnezyum; Ekstrüzyon; Taguchi Yöntemi; Optimizasyon

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Ekstrüzyon, bir kovan içerisine konulan iş parçasının kalıp çıkışına doğru bir kuvvet uygulanarak istenilen profile sahip bir açıklıktan geçirilmesi ile ürün eldesi sağlanan bir plastik şekil verme yöntemidir. Bu yöntem ile farklı geometrilere üretim yapılmaktadır. Alüminyum, kurşun, bakır ve magnezyum gibi düşük akma dayanımına sahip metallerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan kalıpların uygunluğu, daha düşük şekillendirme kuvveti daha yüksek ürün kalitesi anlamına gelmektedir. Malzemeye istenen şeklin ne kadarlık bir kuvvet ile verilebileceği, kalıp tasarımı ve pres seçim aşamasının başlangıç noktasıdır. Şekillendirme sırasında ortaya çıkacak maksimum kuvvete etki eden; malzeme özellikleri, şekillendirme sıcaklığı, sürtünme koşulları, kalıp parametreleri gibi birçok faktör vardır. Kalıp açısı, kalıp giriş çapı, kalıp kanal uzunluğu gibi kalıp parametreleri ise ürün kalitesini ve maliyetini etkilemesi bakımından ekstrüzyon kuvveti ile arasındaki etkileşimin belirlenmesi açısından önemlidir. Endüstride kalıp tasarımı yapılırken kalıp parametreleriyle şekillendirme kuvveti arasındaki bu ilişki çoğu zaman kalıp imali sırasında deneme yanılma yöntemiyle bulunmaya çalışılsa da sonlu elemanlar, üst sınır analizi yöntemi gibi matematiksel yöntemler kullanılarak bir tahmin yapılması mümkün olmaktadır.

Bunun yanında bazı istatistiksel yöntemler yardımıyla da yaklaşımlar yapılarak uygun kalıp tasarımını oluşturmayı amaçlayan çeşitli çalışmalar vardır. Taguchi yöntemi, araştırılacak faktörler ve bu faktörler arasında var olan ilişkiyi en az sayıda deney yaparak tahmin edebilmeyi sağlayan bir matematiksel yöntemdir. Sahip olduğu işlevsellik ve uygulama kolaylığı bakımından tekstil, ürün tasarımı, finans, pazarlama gibi çok sayıda sektörde kendisine kullanım alanı bulmuştur. Varyans Analizi taguchi yönteminin temelinde yer almaktadır. Taguchi yöntemi kalite artışı amacıyla endüstri de yer bulmuş bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok farklı alanlarda bu yöntem

kullanılmıştır. Örneğin, Yaka ve arkadaşları AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu kullanarak incelemiştirlerdir. (Yaka vd., 2016) Yine talaşlı şekillendirme üzerine yapılan bir diğer çalışma da, Kosaraju ve Chandraker MDN 350 çeliği üzerine tornalama parametrelerinin performans üzerine etkilerini araştırmışlardır. Mia ve arkadaşları talaşlı işleme de minimum yağlama koşullarında yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve işleme hızının değişimini taguchi yöntemi kullanarak araştırmışlardır. (Mia ve arkadaşları, 2018) Taguchi metodu, özellikle talaşlı şekil verme yönteminde sıklıkla başvurulan bir analiz yöntemidir. (Meral vd., 2011; Niranjana vd., 2017; Ravi Kumar ve Kulkarni, 2017; Vijay Kumar vd., 2018) Bunun yanı sıra, plastik malzeme kalıpcılığında yine kalıp tasarımı bakımından yapılan bir çalışma da, Erdem ve arkadaşları plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmayı azaltmak için Taguchi yöntemine başvurmuşlardır. (Erdem vd., 2010) Apparao ve Birru yaptıkları çalışma da döküm kalıbı parametrelerini Al-Si8Cu3Fe tip alüminyum alaşım malzemenin döküm tekniğine uygulamışlar ve böylelikle kalıp kalitesini ve verimliliğini yükseltmişlerdir. (Apparao ve Birru, 2017)

Yöntem, özellikle uzun zaman alan ve maliyetli tasarım süreçlerine sahip olan metal şekillendirme operasyonları için sıklıkla olmasa da yine de kendisine kullanım alanı bulmuştur. Hsu ve arkadaşları, yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunu araştırmışlar ve uygun kalıp tasarımını elde etmek amacıyla sonlu elemanlar destekli olarak Taguchi analiz yöntemini kullanmışlardır. (Hsu vd., 2014) Bunun yanı sıra iş parçası olarak magnezyum kullanıldığında; magnezyumun şekillendirme esnasında sıcaklığa duyarlı olması ve ekstrüzyon işlem parametrelerindeki değişime karşı yüksek hassasiyeti nedeniyle özel önem göstermek gerekmektedir. Bu nedenle kısa zaman öncesine kadar döküm ile şekillendirilen magnezyum metali son yıllarda ekstrüzyon yöntemi kullanılarak da ürüne dönüşmektedir. Bu nedenle ekstrüzyon parametrelerinin etkileşimlerinin bilinmesi ve kontrol

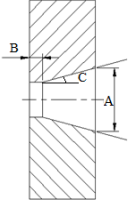
edilebilirliği magnezyumun ekstrüzyon ile üretiminde ürün kalitesini arttırmanın en belirleyici noktasıdır. Yapılan çalışmalarda da bu yönde bir eğilim görülmektedir. Hsiang ve Lin AZ31 ve AZ61 tip malzemelerin tüp ekstrüzyonunda kalıp sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ve sürtünme parametrelerinin ürünün mekanik özelliklerine etkisindeki etkileşimi Taguchi yöntemi ve ANOVA analizi kullanarak araştırmışlardır.(Hsiang ve Lin, 2007) Özellikle Hsiang ve Kuo ise yüksek ekstrüzyon oranlı şekillendirmede sıcaklık, malzeme, işlem hızı ve yağlayıcı şartlarını ekstrüzyon kuvvetini azaltıp ürünün mekanik özelliklerini yükseltmek amacıyla optimizasyon uygulamışlardır. (Hsiang ve Kuo, 2003)

Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmada; kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine etkisi taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmış olup hızlı ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde optimum bir kalıp tasarımının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, aynı ekstrüzyon oranına sahip olan, Tablo 1. de verilen kalıp parametrelerine göre belirlenen farklı kalıp tipleri kullanılarak en düşük şekillendirme kuvvetini verecek olan kalıp tasarımını belirlemek için Taguchi L9 ortogonal dizin deney tasarımı kullanılmıştır. Bu deney tasarımı Minitab 18 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Böylelikle normal şartlarda Tablo 1 de verilen parametrelerin tümünden 27 adet deney sayısı ile elde edilecek bilgiye, 9 deney sayısında ulaşarak daha kısa sürede sonuca ulaşılabilme sağlanacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Faktörler ve Seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Giriş Çapı (A)	10.6	12.2	15.0
Kalıp Kanal Uzunluğu (B)	6	9	12
Kalıp Açısı (C)	10	15	30



Elde bulunan deneysel faktörler ve seviyelerine göre elde edilen Taguchi L9 Ortogonal Deney Tasarımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Taguchi L9 Deney Tasarımı

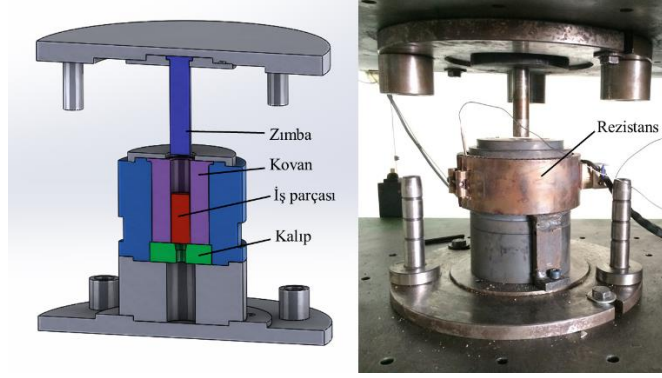
Deney No	Değişkenler	A	B	C
		Giriş Çapı	Kalıp Kanal Uzunluğu	Kalıp Açısı
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

Yapılan çalışmada AZ31 tip magnezyum kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.’de verilmektedir.

Tablo 3. AZ 31 Magnezyum kimyasal bileşimi

Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe	Ni	Diğer	Mg
3.1	1.2	0.2	0.05	0.05	0.005	0.1	0.4	Bal.

Kalıp malzemesi olarak 2344 tip sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Matris malzemesi 58 HRC sertliğinde olacak şekilde serleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Ekstrüzyon deneyleri 1500 kN kapasiteli PLC kontrollü hidrolik pres yardımıyla ve pres hızı 5 mm/sn. olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sıcaklığı olarak AZ31 tip magnezyum malzemenin hasara uğramadan şekillendirilmesi için 300 °C seçilmiştir.(Kang vd., 2008) Bunun için kalıpları dış yüzeylerinden saracak şekilde analog kontrollü bir rezistans monte edilmiştir. Deneylerde kullanılan kalıp seti ve şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Kalıpların Şematik Gösterimi ve Kalıp Seti

Deneyler sonrasında elde edilen her bir kalıp için ulaşılan en yüksek ekstrüzyon kuvvet değerleri elde edilmiş ve sinyal/gürültü oranları ile birlikte Tablo 4 de verilmektedir.

Tablo 4. Deney Sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Kuvvet (kN)	S/N (dB)
1	179	-45.17
2	166	-41.65
3	161	-37.89
4	134	-40.72
5	109	-41.88
6	163	-43.50
7	66	-42.75
8	114	-42.68
9	119	-41.12

Taguchi yöntemi kullanılarak performans belirleme işlemi yapılırken taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N- Signal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da belirtilen farklı amaçlara uygun “en büyük en iyi- Larger is better”, “nominal en iyi- Nominal is best”, “en küçük en iyi - smaller is better” olmak üzere üç farklı yöntem vardır. Hangi amaç söz konusuysa ona uygun fonksiyon seçilerek S/N oranları hesaplanır. Yapılan çalışmada en düşük şekillendirme kuvvetini elde etmek amaçlandığından dolayı (1) numaralı denklemde belirtilen “en küçük en iyi” fonksiyonu seçilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Sinyal/Gürültü oranları optimum değerleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. S/N değerinin en büyük olduğu seviye diğer faktörlerin arasında optimum seviyedir. Şekillendirme kuvveti yapılan çalışmada referans çıktıdır ve her bir kontrol faktörünü analiz eden değerlendirme Tablo 5 de verilmiştir.

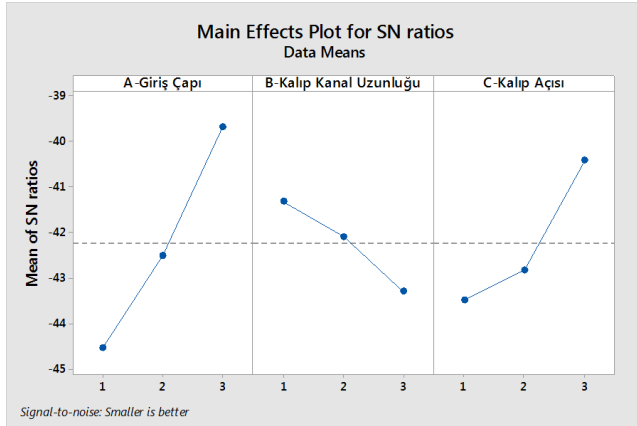
Tablo 5. Parametre Seviyelerinin S/N yanıt Tablosu

Seviye	A	B	C
	Giriş Çapı	Kalıp Kanal Uzunluğu	Kalıp Açısı
1	-44.53	-41.33	-43.48
2	-42.51	-42.10	-42.82
3	-39.68	-43.30	-40.43
Delta	4.85	1.97	3.05
Sıralama	1	3	2

Şekillendirme Kuvveti Optimizasyonu ve Değerlendirilmesi

Taguchi yöntemi kullanıldığında Sinyal/Gürültü oranlarının tayin edilmesinden sonra bu çıktıların uygun kontrol faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 2 de belirtilen kontrol parametrelerinin sonuçları grafik halinde Şekil 2 de verilmiştir. Buna göre ekstrüzyon kuvveti, giriş çapının üçüncü seviyesinde (A3), kalıp kanal uzunluğunun birinci seviyesinde (B1) ve kalıp çıkış açısının üçüncü seviyesinde (C3) olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi yöntemi kullanılarak, A3B1C3 faktör seviyeleriyle elde edilen kalıpların, tasarım bakımından en düşük

şekillendirme kuvvetini verecek olan en uygun kalıp tipi olacağı tahmini yapılmıştır.



Şekil 2. Ekstrüzyon Kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oran grafiği

ANOVA Analizi

Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin analiz edilerek yorumlanması ve sonuçlar üzerine kararlar alınmasında Varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. ANOVA analizi bağımsız değişkenlerin birbirleriyle etkileşimlerini incelem fırsatı sunan ve aralarındaki farklılığı tanımlayan istatistiksel bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, üç parametrenin bir değişken üzerindeki etkileri incelendiğinden Tek Yönlü Anova Yöntemi tercih edilmiştir. Ekstrüzyon kuvveti için oluşturulan Varyans tabloları Tablo 6. da verilmektedir. Şekillendirme kuvvetine etki eden kalıp parametrelerinin yüzde olarak oransal değerleri etkisi aynı tablo da yer almaktadır.

ANOVA sonuçları üzerinden kalıp parametrelerinin etkisi incelendiğinde, ekstrüzyon kuvveti üzerinde en fazla etki eden kalıp parametresinin %68,48 oranında kalıp giriş çapı olduğu göze çarpmaktadır. Giriş çapının büyük olması malzeme akışının daha kolay olmasına yol açması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Kalıp açısının etkisinin ise %24 civarında olduğu göze çarpmaktadır. Yine kalıp açısının, malzeme akışıyla birebir doğru orantılı olması bakımından etkin bir parametredir. En az etki oranına sahip olan ise kalıp kanal uzunluğu olarak görülmektedir. Kalıp kanal uzunluğunun değişimi, şekillendirme kuvveti üzerinde, sürtünme kuvveti bakımından etkindir ve bu oran

yapılan analizde % 7,53 olarak değerlendirilmektedir. Tabloda verilen ANOVA sonuçlarına göre p değerinin $p < 0,01$ veya $p < 0,05$ aralığında olması beklenir. Buna göre yapılan anlamlılık değer sırası; giriş çapı, kalıp çıkış açısı ve kalıp kanal uzunluğudur. Bütün parametrelerin % 95 güven düzeyinde etkinliğe sahip olduğu görülmüş olup bu sonuç, Tablo 5'te belirtilen önem sırasını da doğrulamaktadır.

Doğrulama Deneyleri

Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmasında deneysel çalışma da ekstrüzyon kuvvetinin üzerinde etkili olan parametrelere bağlı olarak optimum bir tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen optimum tasarım bazen Taguchi L9 ortogonal dizin deney tasarımında yapılan deneyler arasından birisi olabilirken bazen yapılan deneylerden farklı bir deney numarası olabilmektedir. Yapılan çalışmada optimum kalıp tasarımı A3B1C3 faktör seviyelerinin kalıp formasyonu tasarım bakımından en düşük şekillendirme kuvvetini verecek olan optimum kalıp tipi olacağı tahmini yapılmıştır. Buna göre, elde edilen optimum kalıp formasyonu için doğrulama deneyi gerçekleştirilmesi sonuçların tutarlılığı açısından önemlidir ve yapılan optimizasyonun başarısını gösterir. Taguchi analizinin son kısmında optimum kalıp için yapılan tahmin değerlerinin oluşturulması ve deneysel veriler ile karşılaştırılması Tablo 7' de yapılmıştır. Buna göre % bağıl hata değerinden anlaşılacağı gibi % 3 civarında ortaya çıkan hatanın % 5 kabul edilebilir güven aralığında olduğu görülmüş olup, yapılan Taguchi optimizasyonunun başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 7. Optimum Sonuçlar ve Doğrulama Deney Sonuçları

A	B	C	Deney Sonucu	Tahmin değeri	Mutlak Hata	% Bağıl Hata
3	1	3	66	64	2	3,03

Tablo 6. ANOVA Tablosu

Parametreler	S.D.	Ka.T.	Ka.O.	p değeri	Etki Yüzdesi
A / Giriş Çapı	2	7144,2	3572,11	0,005	68,48
B / Kalıp Kanal Uzunluğu	2	790,2	395,11	0,046	7,53
C / Kalıp Çıkış Açısı	2	2517,6	1258,78	0,015	23,99
Hata	2	38,2	19,11	---	---
Toplam	8	10490,2	---	---	---

S.D.: Serbestlik Derecesi, Ka.T.: Kareler Toplamı, Ka.O.: Kareler Ortalaması,

Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, ekstrüzyon işleminin AZ31 tip magnezyum kullanılarak aynı ekstrüzyon oranına sahip kalıpların kalıp açısı, kalıp kanal uzunluğu ve kalıp giriş çapı parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkileri araştırılmıştır. Normal şartlarda sahip olunan parametrelerin değerlendirilmesi 27 adet deney ile yapılacakken Taguchi yöntemi sayesinde bu sayı 9 adet deneye indirgenmiştir. Böylelikle, Taguchi yöntemi kullanılarak oluşturulan deneysel veriler kısa zamanda düşük maliyetle analiz edilerek, optimum kalıp formasyonu elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Taguchi yöntemi ile ekstrüzyon üzerinde en fazla etkisi olan kalıp parametresinin kalıp giriş çapı olduğu görülmüştür.
- Ekstrüzyon kuvvetinin kalıp giriş çapının düşmesiyle artış göstermektedir.
- Kalıp açısının artışıyla ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır.
- Kalıp kanal uzunluğu arttıkça şekillendirme için gereken kuvvet arttığı tespit edilmiştir.
- Doğrulama deneyleri sonucunda %3 hata oranına ulaşılmış ve taguchi yöntemi ile başarılı bir optimizasyon sağlanmıştır.

Kaynaklar

- Apparao, K. Ch, ve Anil Kumar Birru. 2017. "Optimization of Die Casting Process Based on Taguchi Approach." *Materials Today: Proceedings* 4 (2). Elsevier Ltd: 1852–59. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.029>.
- Erdem, Volkan, Melih Belevi, ve Cemal Koçhan. 2010. "Taguchi Metodu İle Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi." *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 12 (2): 17–29.
- Hsiang, S. H., ve Y. W. Lin. 2007. "Investigation of the Influence of Process Parameters on Hot Extrusion of Magnesium Alloy Tubes." *Journal of Materials Processing Technology* 192–193: 292–99. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.063>.
- Hsiang, Su Hai, ve Jer Liang Kuo. 2003. "An Investigation on the Hot Extrusion Process of Magnesium Alloy Sheet." *Journal of Materials Processing Technology* 140 (1–3 SPEC.): 6–12. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00693-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00693-9).
- Hsu, Quang Cherng, Yu Liang Chen, ve Tsung Hsien Lee. 2014. "Non-Symmetric Hollow Extrusion of High Strength 7075 Aluminum Alloy." *Procedia Engineering* 81 (October). Elsevier B.V.: 622–27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.050>.
- Kang, S. H., Y. S. Lee, ve J. H. Lee. 2008. "Effect of Grain Refinement of Magnesium Alloy AZ31 by Severe Plastic Deformation on Material Characteristics." *Journal of Materials Processing Technology* 201 (1–3): 436–40. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.305>.
- Meral, Güven, Murat Sarıkaya, ve Hakan Dilipak. 2011. "Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27 (4): 332–38.
- Mia, Mozammel, Dey, Prithbey R., Hossain, Mohammad S., Arafat, Md T., Asaduzzaman Md, Ullah Shoriat, Zobaer Tareq, S.M. 2018. "Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition" *Measurements* 122:380-391
- Niranjana, D. B., G. S. Shivashankar, K. V. Sreenivas Rao, ve R. Praveen. 2017. "Optimization of Cutting Process Parameters on AL6061 Using ANOVA and TAGUCHI Method." *Materials Today: Proceedings* 4 (10). Elsevier Ltd: 10845–49. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.037>.
- Ravi Kumar, S. M., ve Suneel Kumar Kulkarni. 2017. "Analysis of Hard Machining of Titanium Alloy by Taguchi Method." *Materials Today: Proceedings* 4 (10): 10729–38. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.020>.
- Vijay Kumar, M., B.J. Kiran Kumar, ve N. Rudresha. 2018. "Optimization of Machining Parameters in CNC Turning of Stainless Steel (EN19) By TAGUCHI'S Orthogonal Array Experiments." *Materials Today: Proceedings* 5 (5). Elsevier Ltd: 11395–407. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.107>.
- Yaka, Harun, Harun Akkuş, ve Levent Uğur. 2016. "AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu Optimization the Effect of Surface Roughness of Cutting Parameters with Taguchi Method in Turning of AISI 1040 Steel" *Measurements* 12 (2): 283–88.

The optimization of effects of die parameters on extrusion load by Taguchi method

Extended abstract

Magnesium is a new rival with its lightness, durability and especially high specific strength ratio against the most used structural metals: steel and aluminum. Extrusion is one of the most used metal forming method where the cross-sectional area of a block of metal utilizing load on it to flow through a die related with a certain shape on light metals. Estimating the extrusion load is a crucial decision criterion for selection of die material and press capacity.

While the relationship between die parameters and forming load is often obtained by trial and error method traditionally but, it is possible to make a prediction by using mathematical methods. In addition to this, there are various studies aiming to build appropriate die design by making approaches with the help of numerical methods.

Die inlet diameter, die land length and die angle were determined with their 3 levels and it was aimed to constitute a model which will obtain a prediction for the forming load with 9 pieces of test numbers instead of 27 pieces of test number in a shorter time calculation time. For this purpose, die parameters were evaluated in 3 different levels. In this study, the influence of the die parameters such as die inlet diameter, die angle and die land length on the extrusion load for the same extrusion ratio were examined using the Taguchi L9 Orthogonal Test Design.

The highest extrusion load for each die type was measured and the results were presented with signal / noise ratios together. It is necessary to determine the appropriate control factors after the Signal / Noise ratios are determined when the Taguchi method is used. Accordingly, the extrusion load was obtained at the third level (A3) of the die inlet diameter, at the first level (B1) of the die land length and at the third level (C3) of the die angle. By using the Taguchi method, it was estimated that the dies obtained with the A3B1C3 factor levels would be the most suitable die type that would give the lowest forming load in terms of die design.

Variance analysis (ANOVA) statistical method was used to make decisions on obtained the results. ANOVA analysis is a statistical method that provides the opportunity to examine the relations of independent variables with each other and to identify the differences between them. In this study, the one-way ANOVA method was preferred, since the effects of three parameters on one variable were examined.

It can be concluded from the ANOVA approach that the die entrance diameter is the most effective die parameter on the extrusion with the percentage of 68.48%. In addition to this, it has been found that the extrusion load increases with decreasing die entrance diameter, the extrusion load decreases with increasing die angle, and the required for forming load increases as the die land length increases.

Consequently, the interaction of the different die parameters with the extrusion load is determined and the appropriate die design is optimized for obtaining the lowest extrusion load.

Keywords: AZ31 Magnesium; Extrusion; Taguchi Method; Optimization



Hidroelektrik santrallerde generatör stator sargı arızaları ve çözüm yöntemleri

Gökhan KAHRAMAN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELİ
gokhankahraman@munzur.edu.tr, ORCID:0000-0002-8365-2447, Tel:(0428)2131794(2491)

Yahya TAŞGIN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELİ
yahyatashgin@munzur.edu.tr, ORCID : 0000-0002-0902-336X, Tel: (0428)2131794(2415)

Geliş: 06.08.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine küçümsenmeyecek bir oranda katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik santralleri ile enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında kullanılabilir hidroelektrik kapasitenin büyük bir bölümü hali hazırda kullanılmaktadır. Türkiye hidrolik enerji bakımından dünyadaki birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Özellikle Güney ve Doğu Anadolu bölgelerimizde hidroelektrik santraller sayesinde üretilen elektrik enerjisi küçümsenemez. Kurulması planlanan veya inşaatı süren birçok hidroelektrik santralleri, Türkiye'nin geleceğine damga vuracaktır. Hidroelektrik santralleri, diğer enerji üretim yöntemlerine göre doğaya en az düzeyde zarar verdikleri için temiz enerji kaynakları arasında değerlendirmek gerekir.

Hidroelektrik santraller yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve enterkonnekte sistemin güvenliğinin sigortası olması açısından her zaman üretime hazır olmaları önemlidir. Hidroelektrik santrallerde arıza kaynaklı duruş sürelerini azaltmak için birçok ölçüm sistemleri, uzaktan izleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu santrallerde en önemli ve giderilmesi uzun zaman alan arızalardan biride generatör stator sargı arızalarıdır. Bu çalışmada stator sargı arızalarının sebepleri, giderilme yöntemleri ve bu tip arızaları engellemek için yapılması gerekenler incelenmiştir. Bir hidroelektrik santralinde stator arızası örneği verilmiş arızanın oluşumu, tespiti, yapılan elektriksel testler, onarımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yapılan onarımın sonucunda sargı sıcaklıkları izlenmiş ve herhangi bir sorunun olmadığı görülmüştür. Hidroelektrik santrallerde işletme ve bakım şartlarında belirlenen önlemlerin alınması stator sargılarından kaynaklanan arızaları engelleyeceği gibi santralin elektrik arz güvenliğini en üst düzeyde tutacaktır. Ayrıca arızadan kaynaklanan işçilik ve malzeme maliyetlerini düşürecektir.

Anahtar Kelimeler; Hidroelektrik, Arıza, Stator Sargı.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.451184

Giriş

Sera gazı kontrolüne yönelik çabalar, artan elektrik talebi, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterli miktarda kurulu güce sahip olmaması hidroelektriğin önemini artırmaktadır. Hidroelektrik enerji, dünya enerji konseyinin 2016'daki raporuna göre dünya genelinde yenilenebilir enerjinin %71'ini oluşturmaktadır ve ayrıca dünya enerji üretiminde %16'sını oluşturmaktadır. Dünya üzerindeki hidrolik enerji potansiyelinin mümkün olduğunca verimli kullanılması, elektrik arz güvenliğini artıracak gibi elektrik üretim maliyetlerini de düşürecektir.

Hidroelektrik santrallerin dünyadaki önemine paralel olarak, üretime hazır halde tutulması önem kazanmaktadır. Bu nedenle uzun süreler alan arızaları engellemek ya da en azından azaltmak gerekmektedir. Bu arızalardan biriside generatör stator sargı arızalarıdır. Hidroelektrik santrallerde gerçekleşen bu tip arızaların onarılması ve ünitenin tekrar devreye alınması generatörün kapasitesine göre 1 ile 3 ay sürebilmektedir. 2003 CIGRE (International Council on Large Electric Systems) araştırmalarına göre, hidroelektrik santrallerinde oluşan büyük arızaların 3'te 2'si stator sargı arızalarıdır. Stator arızaları enerji geçişinden kaynaklanan ısınma problemleri sebebi ile oluşmaktadır. Motor ve generatörlerin sargı sıcaklıkları, çözülmesi gereken bir problemdir. Bu konuda birçok çalışma yapılmıştır(Xu vd., 2016; Benamrouche vd., 2006; Kim vd., 2017; Silbernagel vd., 2018; Ranjan vd., 2014).

Hidro-generatörlerde stator sargı arızaları en çok gerçekleşen arızalardan birisidir. Stator sargılarında oluşan arızaları tespit etmek oldukça karmaşıktır ve emek isteyen çalışmalar gerektirmektedir. Stator arızaları hızla ilerleyip makinada büyük hasarlar oluşturur (Maitre vd., 2015). Bu tür arızaları engellemenin ilk yolu stator sargılarında ve yakın bölgede oluşacak ısı transferini hesaplayıp oluşacak duruma göre önlem almaktır(Howey vd., 2012). Dang ve arkadaşları bir hidro-generatörde rotor stator sisteminde CFD analizi yardımı ile ısı transferi olayını incelemişlerdir (Dang vd., 2018).

Boglietti ve arkadaşları, elektrik makinelerinde yapılan termal analizleri araştırmışlardır (Boglietti vd., 2009). Zhou ve arkadaşları 250 MW'lık su soğutmalı hydro-generatörde stator transpozisyon baralarındaki ısı transfer olayını sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir (Zhou vd., 2018). Uçar, asenkron motorun stator sargı ızalasyon arızası tanısına ilişkin karakteristik özellikleri, motora ait akım ve titreşim bilgilerine çeşitli analiz teknikleri uygulayarak çözmeye çalışmıştır (Uçar, 2018). Koca, sanayide en yaygın olarak kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen arızaları (stator arızaları, rulman arızaları, mekanik arızalar, v.s) incelemiştir (Koca, 2017). Wang ve arkadaşları "discriminant analysis model" kullanarak stator sargılarındaki kaçak akımın yönü ve şiddetine göre stator sargı arızası tespit etmişlerdir (Wang vd., 2016).

Materyal ve metod

Stator sargı arızalarını ve bu arızaları önlemek için alınan tedbirleri araştırmak için ilk önce gerçek bir stator sargı arızasını incelemek faydalı olacaktır.

Bir Hidroelektrik santralinde ünitelerden biri 150 MW güçte çalışırken, stator sargı arızasını gösteren koruma röleleri aracılığıyla devreden çıkmıştır. Yapılan elektriksel testler sonucunda B fazında bir kısa devre olduğu tespit edilmiştir. Ünitenin demontajından sonra Şekil 1'de görüldüğü gibi sargı birleşim yerlerinin eridiği görülmüştür. B fazı 343. sargıda aşırı ısınmadan dolayı sargı ızalasyon delinmesi meydana gelmiş daha sonra stator ek yeri patlayarak gövdeye temas ettikten sonra stator toprak rölesi çalışıp üniteyi servis harici yapmıştır. Ünite servis harici olduktan sonra iş güvenliği için alınması gereken önlemler alınıp arızanın tespiti için demontaj işlemlerine başlanmıştır.



Şekil 1. Stator sargı patlaması

Arızalı bölgedeki stator sargılarının izolasyonları sökülüp şekil 2’de görüldüğü gibi demontaj yapılmıştır.



Şekil 2. Stator sargı demontajı

Arızalı sargılar söküldükten sonra temizlenip, lehimlenecek kısımlar kalay potasında kalaylanmıştır(Şekil 3). Sargı başları izole edilip montaja hazır hale getirilmiştir(Şekil 4).



Şekil 3. Kalay potası



Şekil 4. Stator sargısı montaja hazır hali

Sargı alt ve üst başları kalaylı bakır klipslerle birleştirilip lehimlenmiştir (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Stator sargı lehimleme işlemi



Şekil 6. Stator sargılarının montajı

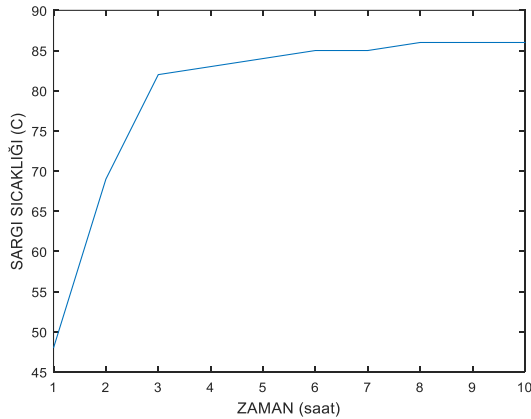
Sonuçlar ve tartışma

Sargıların montaj işlemi tamamlandıktan sonra elektriksel testleri yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Elektriksel test sonuçları

Test Edilen Sargı	Süre	Gerilim	Arıza Sonrası Ölçüm
C+T	60 sn	5000V	710 mΩ
B+T	60 sn	5000V	638 mΩ
A+T	60 sn	5000V	757 mΩ

Elektriksel ölçümlerden sonra ünite hazırlanıp üretime hazır hale getirilerek devreye alınmıştır. Ünite 150 MW güçte çalışırken stator sargı sıcaklıkları 10 saat süreyle takip edilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi belli bir noktadan pt 100 isimli sıcaklık sensörleri yardımı ile alınan stator sargı sıcaklıkları 85⁰C’yi geçmemektedir. Bu sıcaklık işletme açısından sorun oluşturmayacak bir değerdir.



Şekil 7. Stator sargı sıcaklığının zamana göre grafiği

Şekil 7’de ki grafikte görüldüğü gibi sıcaklık ölçümünün ilk üç saatinde sargı sıcaklığı hızlı bir yükseliş kaydetmiş daha sonraki sürelerde sıcaklık eğrisinin eğimi giderek azalarak 85⁰C’de sabitlenmiştir.

Arızanın giderilmesi 65 gün sürmüştür. Bu süre zarfında işçilik ve malzeme giderlerinin yanı sıra ünite enterkonnekte sisteme hiçbir fayda sağlayamamıştır. Bu tür uzun süren arızaların önlenmesi için hassas tedbirler alınması gerekmektedir. Bu tedbirleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Ünite üretim yaparken stator sargılarının sıcaklığı periyodik olarak kontrol altında tutulmalıdır.
- Stator sargı sıcaklıklarının alarm ve devreden çıkarma sinyalleri periyodik olarak test edilmelidir.
- Ünitenin kapasitesinden fazla enerji üretimi yapmamasına dikkat edilmelidir.
- Ünite taşıyıcı yatak yağ haznelerinde ısınan yağdan oluşan yağ buharı sızdırmazlık elemanlarının tam sızdırmazlık sağlayamaması sonucu stator sargılarına ulaşır. Burada sargılara yapışarak sargı izolasyon malzemesine zarar verecek bir yapı oluşturur. Bu durumu engellemek için ünite taşıyıcı yataklarına yağ buharı emiş cihazı kurmak gereklidir.
- Revizyonlarda sargılar kontrol edilmeli ve gerekli temizlikler yapılmalıdır.
- Stator sargı izalasyon sınıfına dikkat etmek gerekir. Örneğin F sınıfı için sargı sıcaklık artış sınırı 100°C, H sınıfı için sargı sıcaklık artış sınırı 125°C ‘dir. Standart’a göre 40°C ortam sıcaklığı alındığında F sınıfı sargı sıcaklığı en fazla 140°C, H sınıfı sargı sıcaklığı en fazla 165°C olmalıdır. Eski hidroelektrik santrallerde stator sargıları bu standartlara uymuyorsa stator sargılarını yenilemek arızaları kayda değer bir biçimde engelleyecektir.
- Ünitenin enerji üretmediği durumlarda stator sargılarının nemlenmemesi için bulunan ısıtıcıların devrede olması önemlidir. Bu ısıtıcıların bakımlarının periyodik olarak yapılması uygun olacaktır.
- Özellikle kış aylarında ünitenin herhangi bir nedenle uzun süreler çalışmadığı durumlarda, tekrar devreye alırken stator sargılarına nem testi yapılmalıdır. Eğer sargılarda nemlenme varsa üniteyi boşa döndermek suretiyle sargı sıcaklıklarını 50-60⁰C sıcaklıklara yükseltip sargıların neminin giderilmesi suretiyle yüzeysel kurutma işlemi yapılmalıdır. Aksi takdirde kurutma yapmadan ünite enerji üretmeye başlarsa stator sargı arızası gerçekleşmesi kaçınılmazdır.

Genel sonuçlar

Hidroelektrik santrallerin devreye giriş çıkış sürelerinin termik santrallere göre çok az olması ve kurulu güç kapasitelerinin diğer yenilenebilir enerji santrallerinden fazla olması nedeniyle elektrik arz güvenliği açısından en önemli enerji kaynaklarıdır.

Hidroelektrik santrallerin üretime hazır bulunma sürelerinin artırılması gerekmektedir. Buda üniteyi uzun süre devre dışı bırakan arızalardan kaçınmakla gerçekleşir. Bu çalışmada hidroelektrik santrallere ait bir kaç büyük arızadan birisi olan stator sargı arızalarının nedenleri ve çözüm yolları incelenmiştir. Bir hidroelektrik santralinde gerçek bir stator sargı arızasının nasıl gerçekleştiği, onarımının nasıl yapıldığı ve arıza sonrası stator sargı sıcaklıklarının zamana göre nasıl değiştiği detaylarıyla tespit edilmiştir. Stator sargı arızalarını engellemek için alınması gereken önlemler maddeler halinde sıralanmıştır.

1-Hidroelektrik santrallerde işletme ve bakım şartlarında önlemlerin alınması stator sargılarından kaynaklanan arızaları engelleyecektir.

2-Santralin elektrik arz güvenliğini en üst düzeyde tutacaktır.

3-Arızadan kaynaklanan işçilik ve malzeme maliyetlerini düşürecektir.

Kaynaklar

Benamrouche, N., Bouheraoua, M., Haddad, S., (2006). A Thermal Model for a TEFC Induction Motor-Development and Sensitivity Analysis, Electric Power Components and Systems, 34 259-269.

Boglietti, A., Cavagnino, A., Staton, D., Shanel, M., Mueller, M., Mejuto, C., (2009). Evolution and modern approach thermal analysis of electrical machines, IEEE Trans. Ind. Electron., 56, 871-882.

Dang, D., Pham, X.T., Labbe, P., Torriano, F., Morissette, J.F., Hudon, C., (2018). CFD analysis of turbulent convective heat transfer in a hydro-generator rotor-stator system, Applied Thermal Engineering, 130, 17-28.

Howey, D.A., Childs, P.R.N., Holmes, A.S., (2012). Air-gap convection in rotating electrical machines IEEE Trans. Ind. Electron., 59, 1367-1375.

Kim, C., Lee, K.S., (2017). Numerical investigation of the air-gap flow and the winding phenomena in large-capacity induction motors, International Journal of Heat and Mass Transfer, 110 746-752.

Koca, Y.B., Ünsal, A., (2017). Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekaniksel Arızalarının Değerlendirilmesi, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 7 ,Sayı 2, 37-46

Maitre, J., Gaboury, S., Bouchard, B., (2015). A New computational method for stator faults recognition in induction machines based on hyper-volumes, -ieeexplore.ieee.org

Ranjan, R., Tangudu, J., (2014). Thermal design of high power-density additively-manufactured induction motors, 2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition , pp. 1325-1331.

Silbernagel, C., Ashcroft, L., Dickens, P., Galea, M., (2018). Electrical resistivity of additively manufactured AlSi10Mg for use in electric motors, Additive Manufacturing, 21 395-403.

Uçar, H.M., (2008). Asenkron Motorlarda İşaret Tabanlı Stator Yalıtım Arıza Tanısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Zhou C., Bian, X., Liang, Y., Zong, R., (2018). Numerical calculation and analysis of temperature field for stator transposition bar in hydro-generator, International Journal of Thermal Science, 125, 350-357.

Wang, Y., Zhou, J., Wei, Dong, Z., Chen, H., (2016) Stator winding single-phase grounding faults protective scheme based on discriminant analysis for Powerformers with selectivity, 77 145-150.

Xu, L., Chen X., Jing H., Wang L., Wei, J. Han, Y., (2016). Design and performance of Ag nano particle-modified graphene/Sn Ag Cu lead-free solders, Mater. Sci. Eng. A 667 87-96.

Generator stator winding faults and solution methods in hydroelectric power plants

Extended abstract

Hydroelectric power plants take the most important place among the renewable energy sources in Turkey. The hydroelectric power plants in Turkey has approximately 27,000 MW of installed power and meet approximately 34% of the electric power demand in Turkey. Hydroelectric power plants can be operated with far less personnel than the thermal power plants and also the maintenance and operation costs are too low in such a way not to be compared with the thermal power plants. When these data are taken into consideration, the importance of hydroelectric power plants is unquestionable for the world and Turkey. In this case, it is important to operate the hydroelectric power plants efficiently and to reduce the run-down times caused by the faults.

There are some major faults in hydroelectric power plants. If we want to give some examples for these faults; the faults such as the turbine wheel failures caused by cavitation, faults caused by vibration, faults occurring in hydrodynamic and hydrostatic oiled bearings and stator winding explosions occurring in the generator or winding isolation punctures are the faults prolonging the run-down times up to 6 months.

The purpose of this study is to examine the stator winding faults that is one of the important faults in hydroelectric power plants and to determine how the stator winding faults are specified, how the fault is repaired, how the electrical tests are done and by which ways the stator winding faults can be prevented in a real stator winding fault, and thus try to find solutions for this fault occurring frequently in hydroelectric power plants.

It is important that hydroelectric power plants can always produce electricity since they are a renewable energy source and insurance of the security of the interconnected system.

The repair of the stator winding faults takes 2 and 6 months according to the size of the fault. In this period, the failed turbine-generator unit could not generate energy. The cost of a turbine-generator unit having 150 MW power that cannot generate electricity for 4 months is 43.200.000 TL for Turkey if we consider that kWh of electricity is 10 cents. This cost even indicates how important it is to prevent stator winding faults in hydroelectric power plants.

In this study, the study conducted on the faults in the stator windings in the generator unit of the hydroelectric power plants was explained in the following items.

- 1.A real stator winding fault was given as an example to better explain how the stator winding faults occurred.*
- 2.By the help of the example, it was explained how the stator winding fault was detected.*
- 3.After the fault was detected, disassembly was explained by figures.*
- 4.After the disassembly process, soldering method of the disassembled winding was explained.*
- 5.After the soldering process was completed, assembly and repaired form of the fault were explained by figures.*
- 6.After the turbine-generator unit started to generate electricity, the change in the stator winding temperature with time was measured and shown graphically. As a result of ten-hour measurement, it was seen that winding temperature did not exceed 85 °C. According to the standards, this temperature level was found to be normal.*
- 7.The requirements to prevent stator winding faults were given in the items depending on the literature and experiences.*

Keywords: *Hydroelectric, Fault, Stator Winding.*



Yüksek Fırın Cürufu Takviyeli Epoksi Kompozitin Kuru Kayma Davranışının İncelenmesi

Azmi ERDOĞAN*

Bartın Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bartın

aerdogan@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0001-8337-7919, Tel: (378) 501 10 00 (1569)

Geliş: 22.11.2018, Kabul Tarihi: 14.02.2019

Öz

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu partiküllerinin epoksi matris içine katılarak oluşturulan polimer matrisli kompozitin aşınma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla yüksek fırın cürufu takviyeli kompozit yanında Al_2O_3 katkılı epoksi matrisli kompozitler üretilmiştir. Takviye edici partikül olarak 61 μm , 91 μm ve 125 μm boyutunda yüksek fırın cürufu ve Al_2O_3 tozları, %30 oranında epoksi reçine içine karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında 36 saat kürleme işlemine bırakılan numuneler ball-on disk aşınma cihazında aşınma işlemine tabi tutulmuştur. 10N, 15N ve 20N yükler altında 300 m aşınma işlemi uygulanan numunelerde yüksek fırın cürufu katkılı kompozitin Al_2O_3 katkılı kompozitle kıyaslanarak aşınma ve sürtünme davranışı incelenmiştir. Aşınma yüzeylerinde meydana gelen hacim kayıpları ve muhtemel aşınma mekanizmaları SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Aşınma testleri sonucunda özellikle düşük yüklerde olmak üzere tüm yükler altında yüksek fırın cürufu takviyeli kompozitin aşınma kayıpları Al_2O_3 'e oranla daha düşük çıkmıştır. Artan yüke bağlı olarak kompozitlerin aşınma dayanımları arasındaki fark azalmıştır. Artan yüke bağlı olarak batıcı uçun numune üstünde oluşturduğu kuvvetlerin artması, tüm numunelerde aşınma hacim kayıplarını artırmıştır. Takviye edici partikül boyutunun artması matris-partikül tutunmasını zayıflattığı ve daha az alanda var olduğu için kompozitlerin aşınma dayanımında düşüşe sebep olmuştur. Yüksek fırın cürufu takviyeli kompozitlerde baskın aşınma türü olarak plastik deformasyon görülürken, Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde yüzey altı yorulması aşınma mekanizması baskın olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Epoksi, Yüksek fırın cürufu, Kompozit, Aşınma, Sürtünme

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli, otomobil, havacılık ve ev aletleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilen gelişmiş malzemelerdir (Suresha vd., 2009; Pattanik vd., 2016). Hareketli ve sürtünen parçalarda farklı tribolojik uygulamaların gereksinimleri nedeniyle polimer bazlı parçaların önemi gittikçe artmaktadır (Shivamurthy vd., 2013; Lin vd., 2018). Polimerler nispeten kolay üretim proseslerine ancak düşük ısıl direnç ve dayanıklılığa sahiptirler. Seramikler ise yüksek ısıl dirence, aşınma direncine ve mukavemete, ancak düşük kırılma tokluğu ve daha karmaşık üretim süreçlerine sahiptirler. Bu iki mühendislik malzemesinin bir arada kullanılmasıyla üretilen polimer matrisli kompozitlerde yüksek dayanım ve kırılma tokluğu elde edilebilir (Kanchanmai vd., 2011).

Polimer matrisli kompozitler, yüksek aşınma direncine bağlı olarak endüstriyel tesislerde aşınmaya maruz kalan parçalarda yaygın kullanılan önemli bir kompozit sınıfıdır (Sudheer, 2016). Polimerler düşük yoğunluklu olmaları sebebiyle ağırlığa duyarlı uygulamalar için en uygun malzemelerdir, ancak yüksek maliyetleri bazen ticari uygulamalar için sınırlayıcı faktör haline gelir. Bu nedenle, düşük maliyetli, kolayca bulunabilen dolgu maddelerinin kullanımı, kompozitin maliyetini düşürmek açısından faydalıdır (Kranthi ve Satapathy, 2010).

Yaygın ve ticari olarak kullanılan kompozitler genel olarak matris malzemesi olarak polimer kullanılır ve çoğunlukla reçine çözeltisi olarak bilinirler. Matris türü olarak çeşitli polimer malzemesler mevcuttur ve yaygın olarak kullanılan polimerler epoksi, ürean, poliamid, polyester, polieter eter keton (PEEK) vs.'dir. Kullanılan takviye edici tipleri genellikle lifler, partiküller ve öğütülmüş minerallerdir (Hanumantharaya vd., 2018).

Wu ve diğerleri (Wu vd., 2017) ZrB₂ katkılı epoksi kompozitin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. ZrB₂ partiküllerinin eklenmesi nedeniyle termal iletkenlikteki artışın, sürtünme koşullarında aşınma direncine katkıda bulunduğunu ve artan ZrB₂ partikül miktarı ile sürtünme katsayısı (CoF) ve aşınma katsayısının önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada Kurahatti ve diğerleri (Kurahatti vd., 2014) nano boyutlu ZrO₂ takviyesinin epoksi kompozitin aşınma dayanımına etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarda düşük ZrO₂ takviyesi oranlarında bile sürtünme katsayısının ve aşınma oranının düştüğü belirtilmiştir. Xing ve Li (Xing ve Li, 2014) mikron altı boyutlara sahip küresel silika partikül ile takviye edilmiş epoksi kompozitin aşınma davranışını araştırmışlardır. Düşük oranlarda bile partikül katılan numunelerde aşınma direncinde artış meydana geldiği ve artan partikül oranı ile daha da arttığı belirtilmiştir. Bununla beraber düşük boyutlu partikül takviyesinin, yüksek boyutlu partikül takviyesine oranla aşınma dayanımını arttırmada daha etkili olduğu da belirlenmiştir. Bu çalışmalarla birlikte birçok çalışmada uçucu kül (Shahapurkar vd., 2018), cam fiber (Kumar vd., 2017), karbon fiber (Sudarshan vd., 2015), bor karbür (Madhanagopal ve Gopalakannan, 2018), Al₂O₃ (Bazrgari vd., 2018) gibi takviye edici partiküllerin polimer matrisli kompozitlerin aşınma dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Her geçen gün artan demir çelik üretimi sebebiyle yüksek miktarlarda cüruf ortaya çıkmakta ve hem üreticiler hem de çevre açısından sorun teşkil etmektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, sert seramik içerikli bileşenleri olduğu bilinen yüksek fırın cürufunu (YFC) değerlendirmek adına, takviye edici olarak epoksi matris içinde kullanılabilirliği aşınma davranışı üzerinde araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

EP100 epoksi reçinesi ve EP385H sertleştirici, ticari olarak temin edilmiştir. Epoksi reçine

matris olarak seçilmiştir ve takviye edici olarak 61 µm, 91 µm ve 125 µm boyutlarında Al₂O₃ ve yüksek fırın cürufu tozları (Tablo 1) kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerde takviye edici oranı %30 olarak sabit tutulmuştur ve homojen bir karışım elde edilene kadar epoksi

ve takviye edici tozlar karıştırılmıştır. Sertleştirici, karışım sırasında ilave edilmiştir ve işlem sonunda karışım silikon kalıba dökülmüştür. Numuneler daha sonra oda sıcaklığında 36 saat süresince kütleme işlemine bırakılmıştır.

Tablo 1. Al₂O₃ ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi.

TOZLAR	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CAO	MGO	CR ₂ O ₃	MN ₂ O ₃	DİĞER
Al ₂ O ₃	-	98.51	0.41	-	0.21	0.05	0.02	0.8
YFC	39.99	10.51	3.49	31.55	5.95	0,02	3.55	4,94

Numunelerin kuru kayma aşınma davranışı ball on disk aşınma cihazı ile test edilmiştir. Ball olarak yüksek sertliğe sahip Al₂O₃ bilya (6mm çapında) kullanılmıştır. Aşınma testleri için numuneler 30 mm x 7 mm x 6 mm boyutlarında işlenmiştir. Numune yüzeyleri testlerden önce 600 ve 1000 Mesh'lik SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Aşınma işleminden önce numuneler ve bilya aseton ile ıslatılmış yumuşak kağıt ile silinmiştir. Aşınma testi 10, 15 ve 20N yükler altında, 300 rpm hızında ve 300m mesafede yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Şekil 1'de numunelerde meydana gelen hacim kayıpları verilmiştir. Görüleceği üzere tüm yüklerde yüksek fırın cürufu ile takviye edilen kompozitlerin aşınma dirençleri Al₂O₃ ile takviye edilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. YFC takviyeli kompozitlerin tüm yükler için ortalama olarak; 61µm partikül takviyeli kompozitlerde %21.6, 91 µm partikül takviyeli kompozitlerde %19.1, 125 µm partikül takviyeli kompozitlerde %20.6 oranında daha az aşınma kaybı gösterdiği belirlenmiştir. Ancak özellikle düşük yüklerde yüksek fırın cürufu ile takviye edilen kompozitlerin hacim kayıpları Al₂O₃ ile takviye edilen numunelere oranla çok daha düşüktür. Bunun sebebi olarak; kırılmalı bir yapıya sahip olan yüksek fırın cürufunun yüksek yük altında kırılarak keskin köşeli birçok partiküle ayrılması ve matristen ayrılan bu partiküllerin aşındırıcı top önünde abrasif aşındırıcı gibi davranarak aşınmaya katkı sağlaması gösterilebilir.

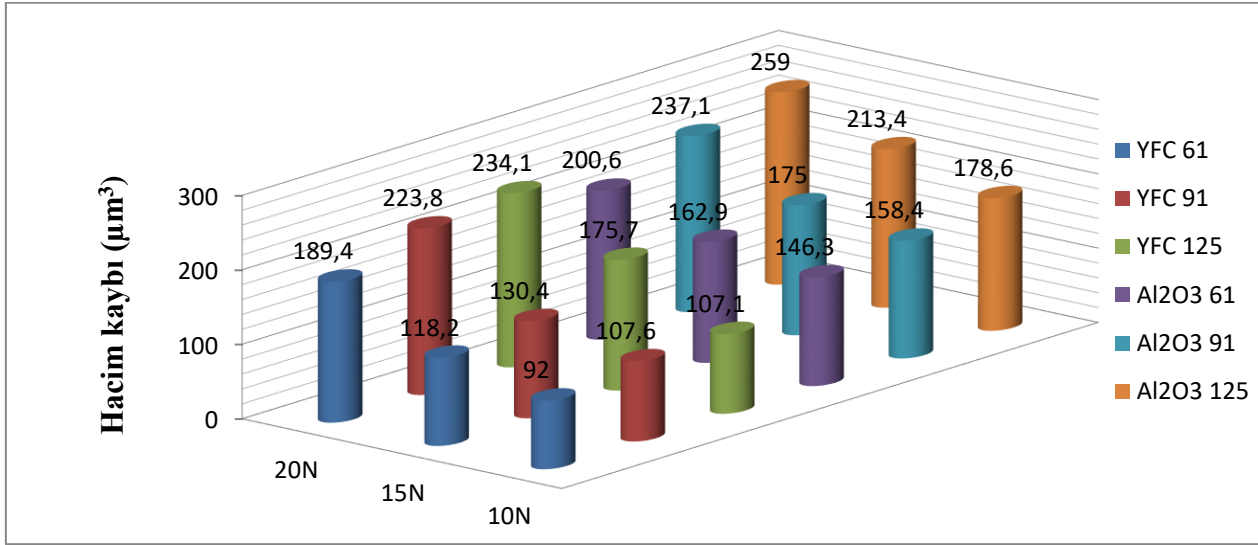
Artan yük ile birlikte numunelerin hacim kayıpları artmıştır. Çünkü aşınma esnasında iki kuvvet aşınma kayıplarına etki etmektedir. Bunlardan birisi bilyanın karşı yüzeye batmasına etki eden kuvvet iken diğeri ise kesme kuvvetidir. Yükün artması ile aşındırıcı bilyanın karşı yüzeye penetrasyonu artmıştır. Dolayısıyla aşındırıcı bilyanın nispi hareketi sırasında etkilenecek malzeme miktarı da artmıştır. Sonuç olarak yeterli kesme kuvveti oluşması durumunda bilya karşı yüzeyden daha fazla kütle transfer eder.

Her iki kompozit türünde de artan takviye edici partikül boyutu ile aşınma kayıplarında artış meydana gelmiştir. Düşük boyuttaki takviye edici partiküller matris içinde daha fazla noktada daha homojen dağılmıştır. Aşındırıcı uç; bu durumda daha fazla noktada yük taşıyıcı takviye edici partikül ile karşılaşacağı için matrise nüfuz etmesi zorlaşacak ve düşük boyutlu takviye edici partikül malzemenin aşınma direncine daha fazla katkıda bulunacaktır. Ayrıca düşük boyutlu partiküllerin matris içinde tutunması da daha fazla olacaktır. Bu da aşınma kayıplarının azalmasına yardımcı olacaktır.

Numunelerin 15N yük altındaki sürtünme katsayısı grafikleri (Şekil 2) incelendiğinde Al₂O₃ ve yüksek fırın cürufu ile takviye edilen numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak az da olsa yüksek fırın cürufu ile takviyeli kompozitin sürtünme katsayısının düşük olduğu görülmüştür. Numunelerin SEM aşınma izi görüntüleri incelenecek olursa Al₂O₃ ile

takviyeli kompozitlerin yüzeyinin daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Bu pürüzlülüğün sürtünme katsayısının yükselmesinde sebep olduğu söylenebilir. İlk 0-10 metrelik mesafede sürtünme katsayısında ani bir artış meydana gelmiş ve bundan sonra stabil olarak devam etmiştir. Dolayısıyla ilk 5m'lik yol diliminde numune yüzeyindeki pürüzler kırılarak daha düzgün bir yüzey oluşmuş ancak aşınmaya bağlı

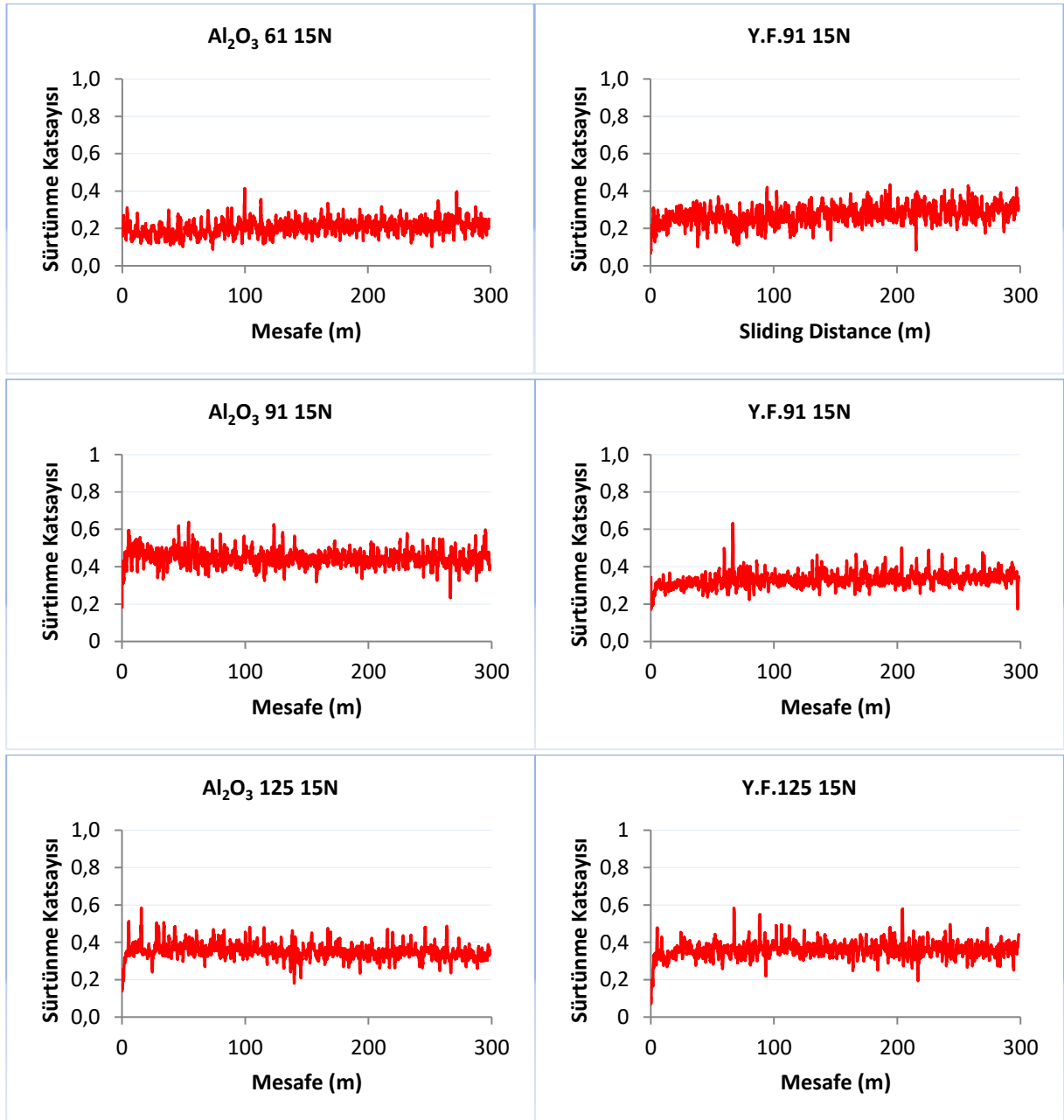
yüzeyde meydana gelen pürüzlenmeler veya aşınma atığı partiküller grafikte dalgalanmalara sebep olmuştur. Takviye edici tane boyutunun artmasıyla aşınma hacim kaybının arttığı daha önce belirtilmiştir. Dolayısıyla iz genişliğinin artması ile birlikte aşındırıcı top ile karşı yüzey arasında temas alanının artması sürtünme katsayısının yükselmesinde etken olmuştur.



Şekil 1. Al₂O₃ ve Yüksek fırın cürufu takviyeli epoksi matrisli kompozitlerde meydana aşınma kayıpları.

Şekil 3a-f'de 15N yük altında farklı takviye edici boyutlarındaki kompozit numunelerin SEM aşınma izi görüntüleri verilmiştir. Düşük büyütmelelerdeki aşınma izi görüntüleri incelendiğinde yüksek fırın cürufu ile takviye edilen numunelerin aşınma izlerinin daha pürüzsüz olduğu dikkat çekmektedir. Bununla beraber daha yüksek büyütmelelerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma tipinin polimer kompozitlerde sık olarak görülen yüzey altı yorulma mekanizması ve plastik deformasyon mekanizması olduğu söylenebilir. Okla gösterilen kayma yönünde matris

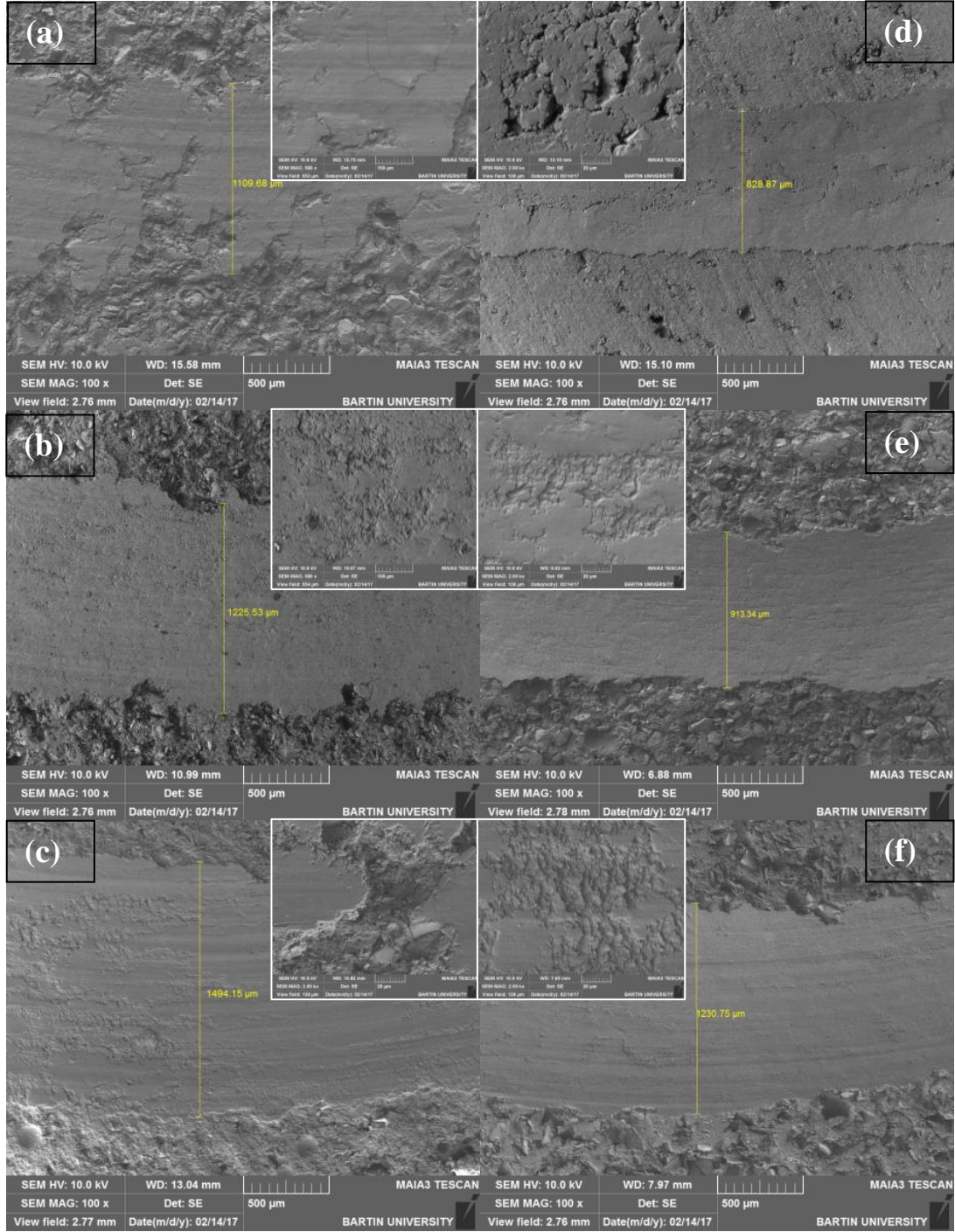
malzemenin plastik akışı olduğu görülebilir. Uygulanan yükün artmasıyla, sürtünmeye bağlı ısı oluşumundan dolayı polimerik reçinenin yumuşaması ve keskin kenarlara sahip olan cüruf parçacıkları, matrisi kolayca yırtıp yavaş yavaş kayma doğrultusu boyunca matrise zarar vermişlerdir. Kompozitlerin aşınma davranışı bu takviye edici partiküllerin boyutlarından, şekillerinden ve orta sertliklerinden dolayı değişir. 61 µm takviyeli kompozitte plastik deformasyon mekanizması ile birlikte yüksek gerilmeye bağlı olarak polimer matriste yırtılmalar yüksek büyütmelelerde görülmüştür.



Şekil 2. 15N yük altında yapılan aşınma testlerinde elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri.

Yorulma genellikle yüksek miktarlarda malzeme ayrılması ve dolayısıyla düşük aşınma direnci ile ilişkilidir. Üretilen Al₂O₃ takviyeli kompozitler için bu mekanizma daha belirgindir. Epoksi matris içindeki Al₂O₃ dağılımının, polimerik matrisin deformasyonunu sınırladığı ve bunun sonucu olarak, aşınma izi alt yüzeyinde deformasyonun birikme eğiliminde olduğu söylenebilir. Yorulma aşınmasında bu sebeple

hacim kayıpları daha yüksek oranlarda görülmektedir. Ayrıca 125 µm Al₂O₃ takviyeli kompozitte yüksek büyütmelerde görülen hasarın partikül çevresinde olduğu görülmektedir. Yüksek takviye edici partikül boyutu sebebiyle bazı noktalarda matris partikülü tutmakta zorlanmış ve ayrıca aşındırıcı bilya ile takviye edici partikül arasında sıkışan polimer matris koparak aşınma artışına sebep olmuştur.



Şekil 3. 15N yük altında yapılan aşınma testlerinde elde edilen SEM aşınma izi görüntüleri. a,b,c sırasıyla 61, 91,125 µm Al₂O₃ takviyeli kompozit; d,e,f sırasıyla 61,91,125 µm yüksek fırın cürufu takviyeli kompozit.

Sonuçlar

Bu çalışmada yüksek fırın cürufunun epoksi matris içinde takviye edici olarak aşınma dayanımına etkisi belirlenmiş ve kompozit üretiminde takviye edici olarak kullanılabilirliği

araştırılmıştır. Bu amaçla farklı partikül boyutlarına sahip, %30 takviye oranında Al₂O₃ ve YFC takviyeli kompozit numuneler üretilmiş, ve ball on disk aşınma cihazında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Araştırmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

- Yüksek fırın cürufu ile takviye edilen kompozitlerin aşınma dayanımları Al_2O_3 ile takviye edilen kompozitlere oranla her koşulda daha iyi çıkmıştır. Tüm yükler ve partikül boyutları için YFC takviyeli kompozitlerde ortalama %20,4 oranında daha az aşınma kaybı olduğu görülmüştür.
- Artan yüke bağlı olarak tüm numunelerin aşınma kayıpları artan kesme ve karşı yüzeye batma kuvvetleri sebebiyle artış göstermiştir.
- Artan takviye edici partikül boyutu her iki kompozit türünün aşınma kayıplarını arttırmıştır. Partikül boyutunun artması ile partiküllerin matrise tutunmaları azalmış ve aşındırıcı ucun daha az noktada yük taşıyıcı partikül ile karşılaşması sebebiyle aşınma artış göstermiştir.
- Hem Al_2O_3 hem de yüksek fırın cürufu takviyeli kompozitlerde yorulmaya bağlı yüzey bozulması ve plastik deformasyon aşınma mekanizmaları görülmüştür. Bununla beraber plastik deformasyon yüksek fırın cürufu takviyeli kompozitlerde baskın aşınma mekanizması iken Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde yorulmaya bağlı yüzey hasarı baskın aşınma mekanizması belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Bazrgari D., Moztaazadeh F., Sabbagh-Alvani A.A., Rasoulianboroujeni M., Tahriri M., Tayebi L., (2018). Mechanical properties and tribological performance of epoxy/ Al_2O_3 nanocomposite, *Ceramics International*, 44, 1220–1224.
- Hanumantharaya R, Vaishak N L, Suhas, Mahesh B Davanageri, Jaimon D Quadros, Premkumar B G, (2018). Mechanical and Tribological Wear Behavior of Epoxy Hybrid Composites, *Materials Today: Proceedings*, 5 7947–7953.
- Kanchanmai C., Noraphaipaksa N., Mutoh Y., (2011). Wear characteristic of epoxy resin filled with crushed-silica particles, *Composites: Part B*, 42 1446–1452.
- Kranthi G., Satapathy A., (2010). Evaluation and prediction of wear response of pine wood dust filled epoxy composites using neural computation, *Computational Materials Science*, 49 609–614.
- Kumar S. T., Shivashankar G. S., Dhotey K., Singh J., (2017). Experimental study wear rate of glass fibre reinforced epoxy polymer composites filled with aluminium powder, *Materials Today: Proceedings*, 4, 10764–10768.
- Kurahatti R.V., Surendranathan A. O., Ramesh A.V. Kumar, Wadageri C. S., Auradi V., Kori S. A., (2014). Dry Sliding Wear behaviour of Epoxy reinforced with nano ZrO_2 Particles, *Procedia Materials Science*, 5 274 – 280.
- Lin Leyu, Alois K. S., (2018). The roles of rigid particles on the friction and wear behavior of short carbon fiber reinforced PBT hybrid materials in the absence of solid lubricants, *Tribology International*, 119 404–410.
- Madhanagopal A., Gopalakannan S., (2018). Dry slide wear behavior of boron carbide filled epoxy composites, *Materials Today: Proceedings* 5, 7289–7295.
- Pattanaik A., Satpathy M. P., (2016). Subash Chandra Mishra, Dry sliding wear behavior of epoxy fly ash composite with Taguchi optimization, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19, 710–716.
- Shahapurkar K., Chavan V. B., Doddamani M., Mohan Kumar G.C., (2018). Influence of surface modification on wear behavior of fly ash cenosphere/epoxy syntactic foam, *Wear*, 414–415 327–340.
- Shivamurthy B., Uday K. Bhat, S. (2013). Anandhan, Mechanical and sliding wear properties of multi-layered laminates from glass fabric/graphite/epoxy composites, *Materials and Design*, 44 136–143.
- Sudarshan Rao K., Varadarajan Y. S., Rajendra N., (2015). Erosive wear behaviour of carbon fiber-reinforced epoxy composite, *Materials Today: Proceedings*, 2, 2975 – 2983.
- Sudheer M., (2016). Evaluation of abrasive wear behavior of dual ceramic whisker reinforced epoxy composites, *Materials Discovery* 6, 17–27.
- Suresha B., Siddaramaiah, Kishore, Seetharamu S., Sampath Kumaran P., (2009). Investigations on the influence of graphite filler on dry sliding wear and abrasive wear behaviour of carbon fabric reinforced epoxy composites, *Wear*, 267 1405–1414.
- Wu Y., Yu Z., Liu X., (2017). Tribological performance of in-situ epoxy composites filled with micro-sized ZrB_2 particles, *Composites Part B*, 123, 148-153.
- Xing X.S., Li R.K.Y., (2004). Wear behavior of epoxy matrix composites filled with uniform sized sub-micron spherical silica particles, *Wear*, 256 21–26.

Investigation of Dry Sliding Behavior of Blast Furnace Slag Reinforced Epoxy Composite

Extended abstract

Polymer matrix composites are advanced materials that can be used in a variety of applications such as low density, high strength, automobile, aerospace and home appliances. Common and commercially used composites generally use polymers as matrix materials and are commonly known as resin solutions. Variety of polymer materials are available as a matrix type and the commonly used polymer matrix materials are epoxy, urethane, polyamide, polyester, polyether ether ketone (PEEK)... The reinforcement materials are generally fibers, particles and ground minerals.

Due to the increasing production of iron and steel, high levels of slag emerge and reveal problems for both producers and the environment. From this point of view, in order to evaluate the blast furnace slag (YFC), which is known to have hard ceramic components, its usability was investigated in terms of wear behavior in the epoxy matrix.

EP100 epoxy resin and EP385H hardener were commercially purchased. The epoxy resin was selected as matrix and Al_2O_3 and blast furnace slag dusts having 61 μm , 91 μm and 125 μm particle dimensions were used as reinforcement (Table 1). In produced composites the reinforcement ratio was kept constant at 30%. The epoxy and reinforcement powders were mixed until a homogeneous mixture was obtained. The curing agent was added during the mixing and at the end of the process the mixture was poured into the silicone mold. The samples were then allowed to cure for 36 hours at room temperature. Dry sliding wear behavior of samples was tested with ball on disc wear device.

The wear resistance of the composites that reinforced with blast furnace slag was higher at all conditions than the samples reinforced with Al_2O_3 . However, the volume losses of composites that

reinforced with blast furnace slag especially at low loads were much lower than the samples that reinforced with Al_2O_3 . It can be shown as a reason for this; that the blast furnace slag having a fragile structure was broken under high load and divided into many sharp edges and these particles contribute to abrasion by acting as abrasive material in front of the abrasive ball.

The volume losses of the samples increased with increasing load. Because two forces affect the wear losses during wear. One of them is the force that acting on the counter-surface of the ball, while the other is the shear force. The increment of the load increased the penetration of abrasive ball to the opposite surface. Therefore, the amount of material which was affected during the relative movement of the abrasive ball also increased. As a result, if sufficient shear force occurs, the ball will transfer more mass from counter-surface. In both types of composites, increasing reinforcement particle size caused to wear losses enhancement. Low size reinforcement particles are more homogeneously distributed in the matrix at more points. In this case abrasive ball will penetrate more difficultly into the matrix. Low-dimensional reinforcement particle will contribute to the wear resistance of the composite material. In addition, low-dimensional particles will more adhere to the matrix. This will help reduce wear losses.

Both Al_2O_3 and blast furnace slag reinforced composites showed fatigue related surface deterioration and plastic deformation wear mechanisms. However, plastic deformation was the dominant wear mechanism in blast furnace slag reinforced composites, while in Al_2O_3 reinforced composites fatigue-related surface damage wear mechanism was identified as dominant.

Keywords: Epoxy, Blast furnace slag, Composite, Wear, Friction



Termal Yaşlandırılmış Kompozit Levhaların Burkulma Davranışlarının Araştırılması

Kadir TURAN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

kturan@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-4065-9649, Tel: (412) 241 10 00 (3603)

Baran ERKEK

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Van

erkekbaran@gmail.com

Geliş: 15.05.2019, Kabul Tarihi: 27.05.2019

Öz

Bu çalışmada; termal yaşlanmanın kompozit levhaların burkulma davranışları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Kompozit levha olarak $[0^{\circ}]_8$ fiber takviye açısına sahip örgülü cam elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli levhalar kullanılmıştır. Termal yaşlanma sıcaklığı ve termal yaşlanma zamanı değişimi ile birlikte çentik etkisi araştırılmıştır. Kompozit levhaların ortasında 10 mm çapında dairesel delik açılarak çentik oluşturulmuştur. Çentikli levhalardan elde edilen sonuçlar çentiksiz levhalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Termal yaşlandırma etkilerini incelemek amacı ile termal olarak yaşlandırılmış kompozit levhaların kritik burkulma yükleri ve yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış (oda sıcaklığında muhafaza edilmiş) kompozit levhaların kritik burkulma yükleri karşılaştırılmıştır. Statik basma yükü uygulanan levhaların kritik burkulma yükleri tespit edilmiştir. Termal yaşlandırma işleminin çentiksiz numunelerin kritik burkulma yükleri üzerinde % 3.04 ile % 9.97 arasında değişen oranlarda, çentiğin ise kritik burkulma yükleri üzerinde % 5.54 ile % 12.87 arası değişen oranlarda etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı kompozit levhalar; burkulma; termal yaşlanma.

* Yazışmaların yapılacağı yazar:

DOI: 10.24012/dumf.565715

Giriş

Gelişen teknoloji ile hafif, mukavemetli ve korozyona dirençli malzemelere duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır. Bu özellikleri barındıran ve tasarlanabilen bir malzeme türü olarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Mühendislik açısından malzeme seçimi sırasında çevre, iklim şartları ve çalışma ortamının sıcaklık değişimleri oldukça önemlidir. Termoset kompozit malzemelerin matriks yapısını oluşturan reçine bir tür polimerdir. Polimer bazlı malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklıkla değişmektedir. Beklenmeyen veya ön görülmeyen sıcaklık artışları zamana bağlı olarak mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi camsı geçiş sıcaklığı adı verilen bir parametre ile oldukça ilişkilidir. Camsı geçiş sıcaklığı polimerik malzemenin ısıtılması sonucunda faz değişiminin meydana geldiği sıcaklık olarak adlandırılabilir. Bu sıcaklık değeri aşıldığında malzeme tekrar soğutulmaya bırakıldığında mekanik özellikler üzerinde olumlu yada olumsuz değişimler meydana gelebilmektedir. Kompozit malzemeler genellikle son ürün olarak üretilirler. Bu durumda sıcaklık değişimleri sonucu meydana gelecek beklenmeyen durumlar malzemenin yapısını etkileyebilmektedir. Alcock ve diğerleri (2007) -50 ile 160 °C arası değişen sıcaklıklara maruz polipropilen kompozit malzemelerin statik ve dinamik mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak polipropilen kompozitlerin çekme mukavemeti ve elastisite modülünün azaldığını belirlemişlerdir (Alcock vd., 2007). Belaid ve diğerleri (2015) termal yaşlanmanın camfiber/polyester kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarını 30, 60, 90, 120 günlük periyotlar şeklinde ve sıcaklık 80 °C olarak belirlemişlerdir. Yaşlanma süresi arttıkça elastisite modülünün % 50 oranında azaldığını ve kopma mukavemetinin %22 oranında azaldığını belirlemişlerdir (Belaid vd., 2015). Örçen (2018) tarafından yapılan çalışmada tek ve çift bindirme bağlantılı kompozit levhaların hasar yükleri üzerine sıcak suyun etkileri

araştırılmıştır. Sıcaklığın etkileri oda sıcaklığı ve 50°C için araştırılırken, suda bekleme süresi olarak 0, 7 ve 21 gün uygulanmıştır. Suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yükleri kuru numuneler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin bekleme süresi ve sıcaklığın etkisi ile yaklaşık %15 civarında azaldığını belirlemiştir (Örçen, 2018).

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerin yerine tercih edilme sebeplerinden biri olan hafifliği kullanılan levhanın kesitini küçültmektedir. Kesit/ boy oranındaki küçülme ise narinlik adı verilen durumun ortaya çıkmasına sebep olmakta ve malzemelerde beklenmeyen burkulma davranışlarını ortaya çıkarabilmektedir. Yazıcı vd. (2002) U çentikli kompozit levhaların burkulma davranışları üzerine fiber takviye açısı etkilerini araştırmışlardır. Kritik burkulma yükünün fiber takviye açısına bağlı olmamakla birlikte fiber takviye açısının 45° sonra kritik burkulma yüküne etkisinin azalmakta olduğunu belirtmişlerdir (Yazıcı vd., 2002). Camphilho vd. (2010) yapışma bağlantısı ile tamir edilmiş karbon/epoksi kompozit levhaların kritik burkulma yüklerini deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. Bindirme uzunluğunun ve yama kalınlığının artmasına bağlı olarak kritik burkulma yüklerinin arttığını belirlemişlerdir (Camphilho vd., 2010). Razumov vd. (2012) termo modifiyeli ahşap kompozit malzemelerin 160 °C ve 220 °C arasında değişen sıcaklıklarda ısıtarak her yarım saatte bir ağırlıklarını gözlemlemişler ve yaklaşık %3 oranında ağırlık kaybına uğradıklarını belirlemişlerdir (Razumov vd., 2012). Soutis vd. (1999) dış kısmından yama ve yapıştırıcı ile tamir edilmiş dairesel delikli kompozit levhaların basma yükü altındaki davranışlarını deneysel ve sayısal çalışmalarla araştırmışlardır. 20 mm genişliğindeki levhaya açılacak 10 mm çapında dairesel deliğin basma mukavemetini % 50 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Tek yüzünden yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhanın hasar yüklerinin çentiksiz numunenin hasar yüklerine % 80 yaklaştığını belirlemişlerdir (Soutis vd., 1999). Akbulut ve Sayman (2001) tarafından yapılan çalışmada

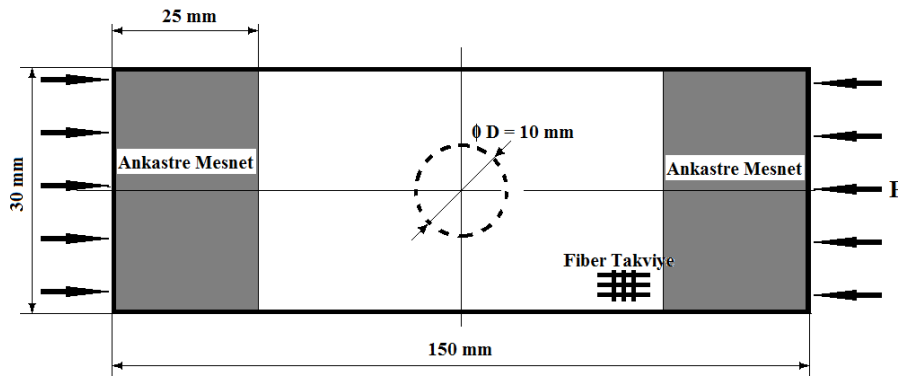
farklı kenar çentiklerinin kritik burkulma yükü üzerine etkileri sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir (Akbulut ve Sayman, 2001). Kömür vd. (2010) ve Ghannadpour vd. (2006) merkezinde dairesel ve silindirik çentik bulunan kompozit levhaların burkulma davranışlarını araştırmışlardır. Bu çalışmalarda, fiber takviye açısı, çentik pozisyonu ve boyutunun etkileri deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırılmıştır. (Kömür, 2010, Ghannadpour, 2006). Mesnet koşullarının, tabaka diziliminin ve fiber takviye açısının kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine davranışları Özben (2009) tarafından analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir (Özben, 2009). Pekbey vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada farklı kalınlıklara sahip kompozit kolonların burkulma optimizasyonu analitik, sayısal ve deneysel metotlarla araştırılmıştır (Pekbey vd., 2007).

Bu çalışmada termal yaşlanmanın kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Termal yaşlanma zamanının etkilerini araştırmak için numuneler 75°C sabit sıcaklıkta 2, 4 ve 8 saat süresince bekletilmişlerdir. Termal yaşlanma sıcaklığının etkilerini belirleyebilmek içinse numunelere 75, 100 ve 150°C sıcaklıklarda; 4 saat sabit süre ile uygulanmıştır. Ayrıca geometrik değişimleri gözlemleyebilmek için ortasına dairesel delik açılan levhalar, düz (çentiksiz) levhaların hasar yükleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca termal yaşlanmanın etkilerinin belirleyebilmek için; termal olarak yaşlandırılmış numunelerin kritik

burkulma yükleri oda sıcaklığında bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler ile sunulmuştur.

Problem Tanımı

Deneysel çalışmada $[0^{\circ}]_8$ tabaka dizilimine sahip örgülü cam fiber/epoksi kompozit levha kullanılmıştır. İzoreel firmasından temin edilen kompozit levhalar 150x30x2.20 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Levha halinde hazırlanan numunelerin bir kısmı düz (çentiksiz), diğer bir kısmı ise ortasında 10 mm çapında delik delinerek çentikli levha haline getirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan numuneler ve sınır şartları Şekil 1'de görülmektedir. Termal yaşlanma işlemi sıcaklık kontrollü fırında gerçekleştirilmiştir. Termal yaşlanma sıcaklığını araştırmak için üretilen numuneler 4 saat süre ile 25 (oda sıcaklığı), 75, 100 ve 150°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Termal yaşlanma zamanı değişimini araştırmak için kullanılan numuneler ise 0 (oda sıcaklığında bekletilen), 2, 4 ve 8 saat süresince 75°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık kontrolü termostat (hassasiyeti $\pm 5^{\circ}\text{C}$) ile sağlanırken, sıcaklık kontrolleri lazer işaretlemeli termometre ile yapılmıştır. Her bir numune grubundan üçer adet üretilmiş ve deneysel çalışmadan elde edilen bulguların aritmetik ortalaması alınarak sonuç kabul edilmiştir. Termal yaşlanma işleminden sonra numuneler 1 hafta oda sıcaklığında bekletildikten sonra deneysel çalışma amacı ile kullanılmıştır.

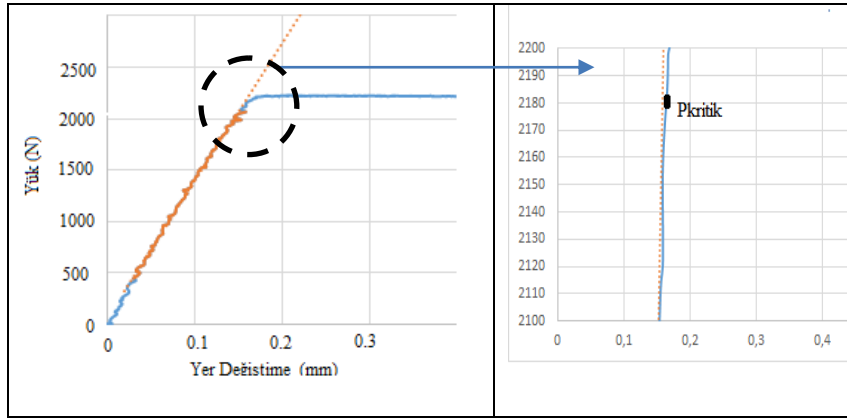


Şekil 1. Numune geometrisi ve Sınır şartları.

Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

Deneysel çalışma Dicle Üniversitesi Merkez Laboratuvarında 100 kN kapasiteli İnstron BS 8800 çekme test cihazında 1 mm/dk çekme test hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numuneler; bağlantı kısımlarından ve daha önceden yapılmış markalama işlemine uygun olarak ankastre mesnet olacak şekilde cihaza bağlanmıştır.

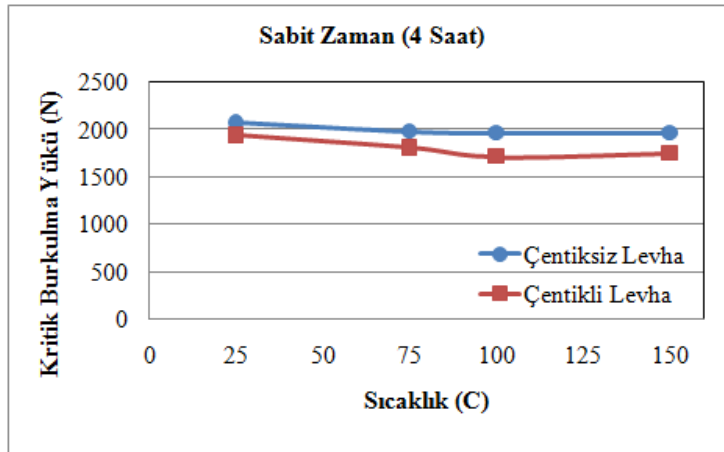
Deney numunelerinden elde edilen sonuçlar deney cihazına bağlı bilgisayardan alındıktan sonra yük yer değiştirme grafiği çizilerek grafikte doğrusallığın bozulduğu yük noktasının ilk noktası kritik burkulma yükü olarak alınmıştır. Şekil 2 ' de kritik burkulma yükünün tespiti gösterilmiştir.



Şekil 2. Kritik yükünün bulunması

Termal yaşlanma sıcaklığının etkileri 4 saat sabit süre ile 75, 100 ve 150°C sıcaklıklarda termal yaşlandırılmış numunelerden elde edilmiştir.

Termal yaşlanma sıcaklığının etkileri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Termal yaşlanma sıcaklığının kritik burkulma yükü üzerine etkileri.

Şekil 3'ten görüldüğü gibi termal yaşlanmanın hem çentikli hemde çentiksiz levhaların kritik burkulma yüklerini azalttığı görülmektedir. Ayrıca çentiksiz levhaların kritik burkulma

yüklerinin çentikli levhalardan daha yüksek olduğu da görülmektedir. En yüksek kritik burkulma yükü oda sıcaklığında bekletilmiş çentiksiz numune için 2073.49 N olarak

ölçülmüştür. En düşük kritik burkulma yükü ise 1714.68 N olarak 100 °C sıcaklık ile yaşlandırılmış dairesel delikli numune için elde edilmiştir. Sıcaklık ve çentik etkisinin kritik burkulma yükü üzerine değişimleri Tablo 1’de sunulmuştur.

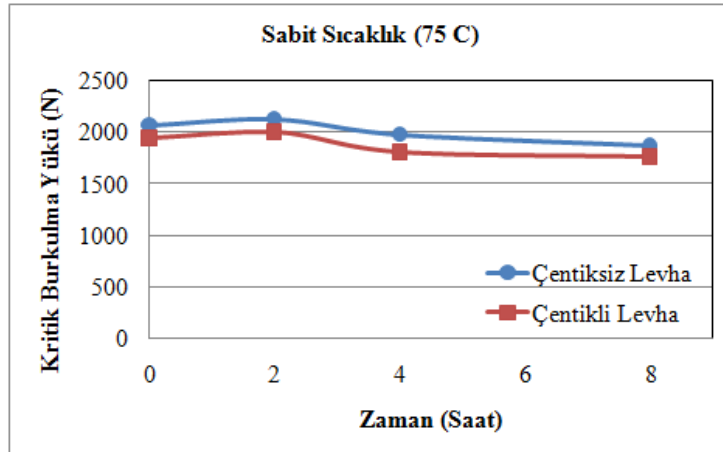
Tablo 1. Termal yaşlanma sıcaklığının ve çentiğin kritik burkulma yükü üzerine etkileri tablosu.

Sıcaklık (°C)	Termal Yaşlanma Sıcaklığının Etkisi		Çentik Etkisi (%)
	Çentiksiz (%)	Çentikli(%)	
25	-	-	-6.36
75	-4.26	-6.92	-8.96
100	-5.08	-11.68	-12.87
150	-5.22	-9.57	-10.65

- : azalma; + : artış gösterir

Tablo 1’den görüldüğü gibi artan sıcaklıklarda termal yaşlandırılmış numunelerin kritik burkulma yükleri oda sıcaklığına göre % 4.26 ile % 11.68 arası değişen oranlarda azalmıştır. Düz levhaya açılan çentikler sonucunda da benzer olarak hasar yüklerinin % 6.36 ile % 12.87 arası değişen oranlarda azaldığı belirlenmiştir. Termal yaşlanma sıcaklığının artmasına bağlı olarak kompozit malzemelerin mukavemetinin azalacağı Alcock vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kompozit levhanın kritik burkulma yükündeki azalma çentikli levhalarda daha belirgin olarak görülmektedir.

Termal yaşlanma zamanının kritik burkulma yükü üzerine etkileri 75 °C sabit sıcaklıktan 2, 4 ve 8 saat süresince yaşlandırılmış numuneler için elde edilmiştir.



Şekil 4. Termal yaşlanma zamanı değişiminin kritik burkulma yükü üzerine etkileri.

Şekil 4’te termal yaşlanma zamanının değişiminin kritik burkulma yükü üzerine etkileri grafiği görülmektedir.

Şekil 4’ten görüldüğü üzere termal yaşlanma zamanı artışının (2 saat süre hariç) genel olarak kritik burkulma yüklerini hem çentikli hemde çentiksiz levha için azalttığı görülmektedir.

En yüksek kritik burkulma yükü 2 saat süresince termal yaşlandırılmış çentiksiz levha için 2136.62 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü 8 saat süresince termal yaşlandırılmış çentikli levha için 1763.26 N olarak ölçülmüştür.

Termal yaşlanma zamanı ve çentik etkisinin kritik burkulma yükü üzerine değişimleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Termal yaşlanma süresinin ve çentiklerin kritik burkulma yükü üzerine etkileri tablosu.

Zaman (saat)	Termal Yaşlanma Zamanının Etkisi		Çentik Etkisi (%)
	Çentiksiz (%)	Çentikli(%)	
0	-	-	-6.36
2	3.04	3.08	-6.33
4	-4.26	-6.92	-8.96
8	-9.97	-9.18	-5.54
- : azalma; + : artış gösterir			

Tablo 2'den görüldüğü gibi artan termal yaşlanma zamanının kritik burkulma yüklerini genel olarak % 4.26 ile % 9.97 arası değişen oranlarda azalttığı, 2 saat termal yaşlanma zamanı içinse % 3.04 ile %3.08 oranlarında arttırdığı hesaplanmıştır.

Değerlendirmeler

Bu çalışmada termal yaşlanma sıcaklığı ve zamanı değişiminin, ayrıca çentik etkisinin örgülü cam fiber/epoksi kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçların genel bir değerlendirmesi maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir.

- Termal yaşlanma sıcaklığının artışına bağlı olarak hem çentikli, hemde çentiksiz levhaların kritik burkulma yükleri azalmıştır.
- Termal yaşlanma süresinin oda sıcaklığından itibaren artmasına bağlı olarak (2 saat süre hariç) hem çentikli hem de çentiksiz numunelerin kritik burkulma yükleri azalmıştır.
- Termal yaşlanma süresinin 2 saat olduğu durumda kritik burkulma yükünün arttığı belirlenmiştir.
- Çentik oluşumu kritik burkulma yüklerini azaltmıştır.

Kaynaklar

- B. Alcock , N.O. Cabrera , N.-M. Barkoula , C.T. Reynolds , L.E. Govaert , T. Peijs., (2007). The effect of temperature and strain rate on the mechanical properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites, *Composites Science and Technology*, 67, 2061-2070.
- Belaid, S.,S.F.Chabira, P Balland, M. Sebaa, S. Belhoudeg, (2015). Thermal aging effect on the mechanical properties of polyester fiber glass composites, *J.Mater. Environ. Sci.* 6, 10, 2795-2803.
- Örçen, G., (2018), Bindirme bağlantılı kompozitlerin hasar davranışları üzerinde sıcak suyun etkisi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9, 753 – 763.
- Yazıcı, M.,Özcan,R., Ülkü,S.,(2003). Buckling of composite plates with u-shaped cutouts *Journal of composite materials*, 37, 24, 2179-2195.
- Campilho, R.D.S.G.,de Moura M.F.S.F., Ramantani, D.A. , Morais, J.J.L., Domingues, J.J.M.S., (2010). Buckling strength of adhesively-bonded single and double-strap repairs on carbon-epoxy structures, *Composite Science and Technology*, 70, 371-379.
- Razumov, E. Y.,S.R., Ruslan, B., Steafan, Kviatkova, M.,R. Romelevich, K.,(2013). Studies on mechanical properties of composite materials based on thermo modified timber, *DrvnaIndustrija*, 64, 1, 3-6.
- Soutis C., Duan D.M., Goutas P., (1999). Compressive behaviour of CFRP laminates repaired with adhesively bonded external patches, *Composite Structures*, 45 , 289-301.
- Akbulut H., Sayman O., (2001). An investigation on buckling of laminated plates with central square hole, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 20, 1112-1123.
- Kömür, M. A., Şen F., Ataş, A., Arslan, N., (2010). Buckling analysis of laminated composite plates with an elliptical/circular cutout using FEM, *Advances in Engineering Software*, 41,161–164.
- Ghannadpour, S.A.M., Najafi, A., Mohammadi, B., (2006). On the buckling behavior of cross-ply laminated composite plates due to circular/elliptical cutouts, *Composite Structures*, 75, 3–6.
- Özben T., (2009). Analysis of critical buckling load of laminated composites plate with different boundary conditions using fem and analytical methods, *Computational Materials Science*, 45, 1006-1015.
- Pekbey Y., Özdamar A., Sayman O., (2007). Buckling optimization of composite columns with variable thickness, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26, 1337-1356.

Investigation of Buckling Behaviors of Thermally Aged Composite Plates

Extended Abstract

In this study, the thermal aging effect on the critical buckling load of the composite plate was investigated as experimentally. It was known that the composite materials preferred instead of traditional materials. One of the reasons was lightweight. The strength of composite materials could be improved and generally, lots of composite materials were light from the traditional materials (like metals). The thickness of the composite materials is low when it was used in air vehicles and marine vehicles. This situation leads to the problem of buckling. The woven glass fiber/epoxy composite plates were used and the fiber reinforced angle and stacking sequence were chosen as $[0^\circ]_8$. The composite plates were provided from Izoreel Composite Firm. The plates were dimensioned as width : 30mm and the length : 150 mm. The thickness of plates was measured as 2.2 mm. The notches are geometric discontinuities that sometimes occur in unwanted or unexpected situations. The notches may cause local stress concentration and it could be caused a decrease of strength of a machine element. The notch effect was investigated with thermal aging temperature and thermal aging time. The notch was produced with drilling 10 mm diameter the middle of the composite plates. The critical buckling loads of notched composite plates were compared with the critical buckling loads of un-notched composite plates. Thermoset based composite plates were generally solidated with temperature. Also, the mechanical properties of polymers could be affected by temperature and this situation was shown lots of international manuscripts. The temperature might be increased when a machine part was located near an engine or open thermal resource. The temperature changes caused thermal aging on the composite plates. The effect of temperature on the mechanical properties of composite materials is highly correlated with a parameter called glass transition temperature. The glass transition temperature can be called the temperature at which the phase change occurs as a result of heating the polymeric material. When this temperature is exceeded and the material is allowed to cool down again, positive or negative changes in mechanical properties may occur. In this case, unexpected conditions that may occur as a result of temperature changes may affect the structure of the material. In this study, the thermal aging process was carried out by two different

methods. The firstly; constant time was chosen as 4 hours with used the changing temperature as 75, 100 and 150 °C. the secondly; the constant temperature was chosen as 75°C with used the changing time as 2, 4 and 8 hours. To investigate the thermal aging effects, the critical buckling loads of thermally aged composite plates were compared with the critical buckling loads of un-aged (keep at room - temperature) composite plates. The critical buckling loads of the composite plates were measured with applied the static compression load. The critical buckling loads were determined when the plate was deflected at the lateral direction. Also, the buckling load was determined from these deviations by using the results recorded on the computer. The critical buckling loads of thermally aged samples were compared with un-aged critical buckling loads of specimens and it has seemed that it was decreased ranging from 4.26% to 11.68%. Similarly, when the critical buckling loads of notched plates were compared to the critical buckling loads of un-notched plate, the critical buckling loads decreased by between 6.36% and 12.87%. The highest critical buckling load was measured as 2073.49 N for a un-notched specimen which was kept at room temperature. The lowest critical buckling load was obtained for the circular notched specimens as 1714.68 N which was thermally aged in 100 °C and 4 hours. It has been determined that increased thermal aging time decreases the critical buckling loads in general by 4.26% to 9.97%. The critical buckling loads of composite plates were increased for 2 hours of thermal aging time and the critical buckling loads were increased between 3.04% and 3.08%. The highest critical buckling load was obtained as 2136.62 N for the thermally aged notched plates for 2 hours, while the lowest critical buckling load was measured as 1763.26 N for the thermally aging notched plates for 8 hours. As a result of the thermal aging process, it was determined that the thermal aging process was effected the critical buckling load between 3.3% and 9.9% rates and the notch was effected the critical buckling load between 5.5% and 12.8% rates.

Keywords: Laminated Composite plates, Buckling, Thermal aging.



Lavvar tesisi tikiner atığından kömürün geri kazanımı

Selçuk ÖZGEN*

Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, ArGe Dairesi Başkanlığı, Ankara
ozgen_s@hotmail.com ORCID: 0000-0002-2078-5349, Tel: (312) 540 17 64

Zeyni ARSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
zeyniarsoy@aku.edu.tr ORCID: 0000-0001-5694-6338

Bahri ERSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
bersoy@aku.edu.tr ORCID: 0000-0002-0075-9039

Hakan ÇİFTÇİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
hciftci@aku.edu.tr ORCID: 0000-0003-4212-1591

Geliş: 29.03.2018, Kabul Tarihi: 03.12.2018

Öz

Yeraltı kaynaklarımızın hızla tükendiği bugünlerde yerli kömür ihtiyacımız da hızla artmaktadır. Bu yüzden yıkama tesislerinde yıkama verimlerini maksimum seviyelere çıkarmak gerekmektedir. Bazı durumlarda ise tesis performansını artırmak yeterli kalmayacak ve tesis atıklarının da tekrar zenginleştirilerek ekonomiye kazandırılması gerekecektir. Bu çalışmada Adularya A.Ş. tarafından işletilen Koyunağılı kömür yıkama tesisi tikiner altı şlam atıklarının zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında 0,5 mm eleme ile boyuta göre zenginleştirme yaparak iri boyutlu kömür tanelerinin kazanılması ve ikinci aşamasında ise -0,5mm tane boyundaki şlamın Knelson konsantratörü ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında deney tasarım yöntemleri kullanılmış olup, kuru bazda %61,7 küllü ve 1740 kcal/kg ısı değere sahip tikiner altı şlam atığından ilk aşamada kuru bazda %31,20 kül içerikli 3980 kcal/kg AID sahip kömür elde edilirken, ikinci aşamada kuru bazda %58,12 kül içerikli 1845 kcal/kg AID sahip ince toz kömür elde edilmiştir. Birinci ve ikinci aşamada elde edilen ürünler dikkate alındığında beslemeye göre ağırlıkça %45,23'lük kısım, %45,35 kül ve 2857 kcal/kg AID sahip ince kömür olarak üretilmiştir. Sonuç olarak, temiz kömür üretimine G kuvveti ve yıkama suyunun pozitif etki yaptığı, besleme katı oranının ise negatif etki yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Daha düşük katı oranlarında çalışarak ve daha yüksek basınçlı yıkama suyu kullanarak daha temiz kömür üretilbileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lavvar tesisi, Tikiner atığı, Kömür geri kazanımı, Knelson konsantratörü

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Türkiye’de kömür yıkama tesisleri ekonomik ihtiyaçlardan dolayı kurulmuştur. Demir-çelik fabrikalarının ihtiyacı olan hammaddeyi elde etmek için öncelikle Zonguldak kömür havzasında kömür yıkama tesisleri inşa edilmiştir. Halen faaliyette olan bu yıkama tesislerinin bir çoğunda zenginleştirme işlemleri sonucu yüksek kül içerikli ince boyutlu kömürler, çöktürme tanklarında çöktürülmekte ve susuzlandırıldıktan sonra termik santrallere satılmaktadır. Ülkemizde faaliyette bulunan kömür yıkama tesislerinde 500 µm üzeri kömürler zenginleştirilmekte ve bu boyutun altında yer alan kömürler, susuzlaştırma işleminden sonra atık barajında depolanmaktadır. Söz konusu ince kömürlerin, geçmiş yıllarda değerlendirilmeden atılması daha ekonomik olmasına rağmen, günümüzde madencilik faaliyetlerindeki ince kömür boyutundaki artış, ince fraksiyonlardaki kömürün değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Geçmiş yıllarda ince kömürlerin zenginleştirmesinde klasik gravite yöntemleri (sallantılı masa, spiral, siklon, vb.) ile birlikte fiziko kimyasal yöntem olan flotasyon ve yağ aglomerasyonu tercih edilmekteydi. Linyit kömürlerinin çok ince boyutlarda bulunduğu durumlarda kil ve pirit taneciklerinin uzaklaştırılmasında gravite yöntemlerinin kullanılmadığı durumlarda kullanılan flotasyon yönteminde, şlam boyutunun yüksek olduğu durumlarda düşük verimin elde edilmesi, yüksek kil içeriğinin ve kömür yüzeylerinin oksitlenmesi flotasyonu olumsuz etkilemesi kömür zenginleştirmede farklı teknolojilerin gelişmesine sebep olmuştur. Bu nedenle, teknolojiye hızlı büyüme kömür hazırlama ve zenginleştirme endüstrisine de katkıda bulunmuştur. Bu sayede günümüzde ince ve çok ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde Knelson konsantratörü, Multi Gravity Seperator (MGS), hidrosiklonlar, Falcon konsantratörü vs. denenmeye başlanmıştır.

Knelson Konsantratörü 1978-1986 yılları arasından geliştirilerek 1988 yılında Byron Knelson tarafından patenti alınmış, ağır minerallerin kazanılması için santrifüj kuvvet uygulayan etkin bir teknolojidir. Bu cihazlar 30 µm altındaki çok ince tanelerin bile yoğunluk farkına bağlı olarak zenginleştirilmesine imkân vermektedir. Daha çok altın ve diğer ağır metalik cevherlerin kullanımı için tasarlanan cihaz 2000’li yıllardan sonra bütün cevher türleri için denenmeye başlanmıştır. Rubiere ve diğerleri (1997) MGS, Knelson konsantratör ve hidrosiklonla birlikte ince kömürdeki piriti ayırmak için flotasyon metodunu kullanmışlar ve sonuç olarak, kükürt gideriminin de en etkili yolun flotasyon olduğu belirlemişlerdir. Honaker ve diğerleri (2005) %18 kül içerikli ince kömürlerden havalı Knelson konsantratörleri kullanarak %80 verimle %8 kül içerikli kömür elde etmişlerdir. Öney ve Tanrıverdi (2012) ince bitümlü kömürlerin Knelson konsantratörle zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında Knelson konsantratörün değişken parametrelerini merkezi kompozit tasarımı kullanarak modellemişlerdir. Uslu ve diğerleri (2012) yaptıkları bir çalışmalarında, Knelson konsantratörde -106, -300, +106 ve -500+300 µm boyutlarındaki oksitlenmiş ince kömürlerin desülfürizasyonu ve temizlenmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında yanabilir madde geri kazanımını, piritik kükürt uzaklaştırmasını ve kül uzaklaştırmasını sırasıyla %99,13, %91,60 ve %60,94 oranında gerçekleştirmişlerdir. Bunların dışında Sabah ve Koltka (2014), %59,08 kül içerikli Soma linyit kömürü atıklarını hidrosiklon+Knelson konsantratör ile zenginleştirilebilirliğini araştırmışlar ve %30,51 kül, 5259 kcal/kg AID sahip temiz kömür elde etmişlerdir.

Ülkemizde ve Dünyada kömürlerin Knelson Konsantratörü ile zenginleştirilmesiyle ilgili çok az yayın bulunmaktadır. Bu çalışmada, Koyunağılı lavvar tesisi şlam atıklarının Knelson konsantratörü ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Çok

sayıda parametrenin sonuçlar üzerine etkili olduğu bu gibi çalışmalarda parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerini de ortaya koymak üzere geliştirilmiş istatistiksel yöntemlerden faydalanılır. Bu çalışma kapsamında da deneylerin tasarlanması ve sonuçların yorumlanması için Yanıt Yüzey Yöntemlerinden (YYY) Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır.

Yanıt yüzey yöntemleri

Yanıt yüzey yöntemi (YYY) Box ve Wilson tarafından 1951 yılında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Araştırmacılar, mümkün olan minimum sayıda deney yaparak, yanıt yüzeyi üzerinde yanıt değişkeninin maksimum değerini aldığı noktaya ulaşılması amaçlanan deneme düzenlerini ortaya koymuşlardır. Bu nedenle bazı deneme düzenlerini karşılaştırmış ve karma denemeleri tanımlamışlardır (Mead ve Pike, 1975). YYY'leri model regresyon analizi yardımıyla oluşturulur. Bir değişkenin başlıca etkisinin veya diğer değişkenlerle etkileşiminin yanıt değişkeninin üzerinde ne derece bir etkiye sahip olduğuna elde edilen regresyon katsayılarına bakarak karar verilir (Turan ve Altundoğan, 2011).

YYY birçok mühendislik alanında başarı ile kullanılmaktadır. Yanıt yüzeyi metodu kullanarak iki veya daha fazla değişkenin, örneğin hız, tüketim ve ikisinin birlikte sonuç (yanıt) üzerine etkileri araştırılıp optimum değerleri bulunabilir. Sonuçlar iki ve üç boyutlu grafik halinde veya kontur diyagramı olarak çizilebilir. Oldukça düşük sayıda deneysel kombinasyonlar ile gerçekte test edilemeyen değişken değerleri ve bunların farklı kombinasyonları tahmin edilebilir (Walker ve Parkhurst, 1984; Joglekar ve May, 1987; Turan ve Altundoğan, 2011).

Box-Behenken Tasarımı

Box Behnken tasarımı 1960 yılında Box ve Behnken tarafından tasarlanmıştır. Dönersel tasarımların bir çeşidi olan Box-Behnken tasarımı, ikinci derece model parametrelerinin

tahmin edilmesinde kullanılan üç seviyeli tamamlanmamış çok etkenli tasarımıdır. Box-Behnken tasarımlarında her bir değişken üç düzeye sahiptir. Box-Behnken tasarımı diğer tasarımlara kıyasla daha ekonomik bir tasarım modelidir (Köksoy, 2001; Baş, 2010). Box-Behnken tasarımları, tamamlanmamış bir blok tasarımının uygun bir şekilde iki düzeyli çok etkenli bir tasarımla birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkarlar (Şehirlioğlu 1997; Baş, 2010).

Box-Behnken'de deney sayısı $N=2k(k-1)+n_c$ formülü yardımıyla belirlenmektedir. Bu formülde k , etken sayısını, n_c , merkezi deneme sayısını göstermektedir (Dias vd., 2007; Baş, 2010). Tasarımda tüm değişkenler için minimum ve maksimum sınırlar aynı anda hiçbir zaman kapsamadığı için, uç değerlerin yaratacağı olumsuz sonuçlar da engellenmiş olur. Kısaca Box-Behnken tasarımları, ikinci dereceden modellerin tahminine, ardışık tasarımların kurulumuna, modelin güven eksikliğinin analizine ve bloklara izin verdiği için kullanılan bir yanıt yüzeyi tasarımıdır.

Genel olarak yanıt değerleri doğrusal ve ikinci dereceden modeller tarafından seçilen faktörlere bağlı olarak hesaplanır. Yanıt değerleri (Denklem 1);

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada y tahmini yanıt, x_i ve x_j faktör değerleri, β_0 sabit katsayı, β_i , β_{ii} ve β_{ij} sırasıyla lineer, ikinci dereceden ve iki terimli etkileşim katsayıları ve ε ise hata değeridir.

Materyal ve metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan pülöp halindeki kömür atığı, Adularya Enerji Elektrik Üretimi ve Madencilik A.Ş. firmasına ait Koyunağılı (Mihalıççık/Eskişehir) Lavvar tesisinden alınmıştır. Tikiner çıkışından 30 dakikalık aralıklarla toplam 160 litre olacak şekilde

alınan bu kömür atığının fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Lavvar tesisinden alınan pülp halindeki atığın bazı fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
<i>Pulp Yoğunluğu (g/cm³)</i>	1,21
<i>Pulp katı oranı (kütlece %)</i>	10,1
<i>Tane boyutu aralığı (µm)</i>	1-1000

Lavvar atığının tam kömür analizi ise uluslararası standartlara uygun şekilde Ege Linyit İşletmeleri Akredite Kömür Laboratuvarında yapılarak sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi yapılan analizler sonrasında artık kömürün kalorifik değerinin kuru bazda 1740 kcal/kg, kül oranının %61,72 ve kükürt oranının da %2,27 olduğu belirlenmiştir.

Metot

Karakterizasyon çalışmaları

Lavvar tesisi tikiner alt akımından alınan çamur halindeki kömür artık numunesi filtre edilerek katı/sıvı ayrımı yapılmış ve katı numune kurutularak deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir. Kömür atığını karakterize etmek için bir takım nitel ve nicel analiz teknikleri kullanılmıştır. Atığın,

kimyasal analizi dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı (Rigaku ZSX Primus II) ile (Tablo 3) ve mineralojik analizi ise X-Işını Difraktometresi (XRD) cihazı (Bruker D8 Advance) ile yapılmıştır (Şekil 1). Burada kömüre eşlik eden mineral maddelerin genel olarak alüminyum silikatlar olduğu görülmektedir. Gismonid ve analsim zeolit grubu mineraller iken, sanidin ve anortit feldspatlar grubundan ve ayrıca kil grubu mineral olarak tanımlanabilen sodyum alüminyum silikat piki yer almaktadır. Deneysel çalışmaların ilk aşamasında, eleme işlemi ile bir ön zenginleşme olup olamayacağını görmek için atık kömür numunesinin elek analizi yapılarak her bir tane fraksiyonunun kül içeriği ve kalorisi belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Test metodu

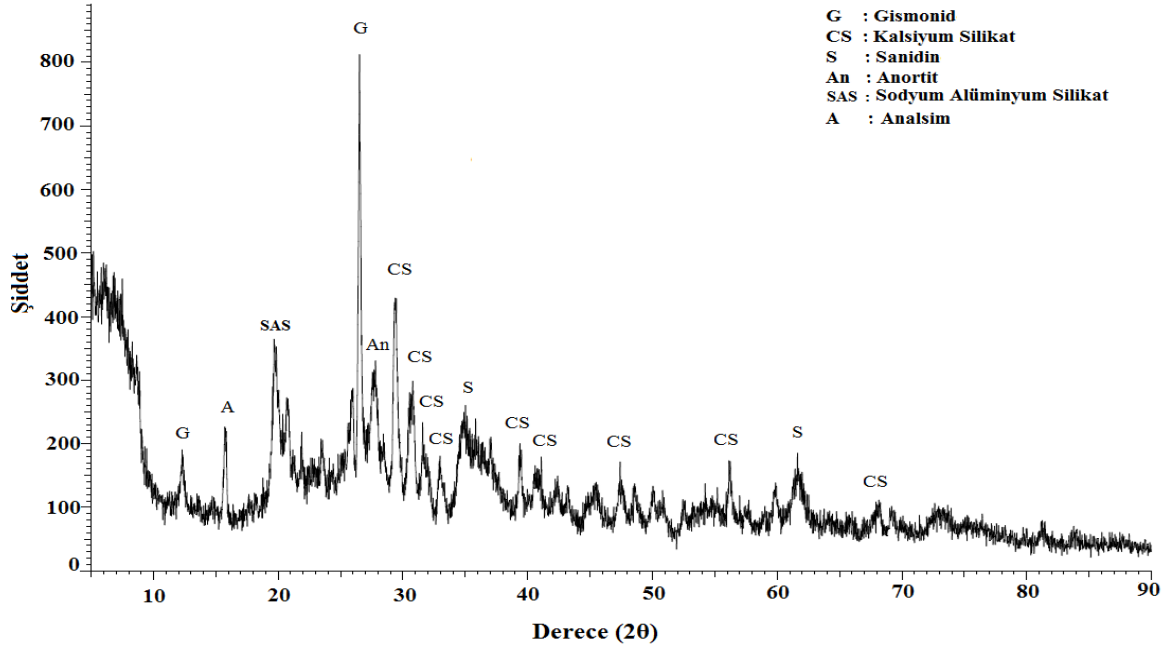
Tablo 4 dikkatlice incelendiğinde kül ve kalori değerlerinin ciddi biçimde ayrıldığı boyutun 0,5 mm tane boyutu olduğu görülmektedir. Bu kapsamda bu boyut ön zenginleştirme için eleme boyutu olarak belirlenmiş, deneysel çalışmaların birinci aşamasında 0,5 mm boyutlu elek kullanılarak ön zenginleştirme yapılmıştır.

Tablo 2. Lavvar tesisi atığının kuru bazda kömür analizi sonuçları

Analiz	Kuru Bazdaki Sonuçlar	Standart
<i>Bünye nemi (%)</i>	-	ASTM-D 3302-07
<i>Kül (%)</i>	61,72	ASTM-D 3174-04
<i>Uçucu madde (%)</i>	30,64	ISO 562
<i>Toplam kükürt (%)</i>	2,27	ASTM-D 3177-02
<i>Sabit karbon (%)</i>	5,37	ASTM-D 3172
<i>Alt Isıl Değer (Kcal/kg)</i>	1740	ASTM-D 5865-07 ve ISO 1928
<i>Üst Isıl Değer (Kcal/kg)</i>	1858	ASTM-D 5865-07 ve ISO 1928

Tablo 3. Linyit atığına ait kimyasal (XRF) analiz sonuçları.

Metal Oksit	SiO₂	Fe₂O₃	CaO	Na₂O	SO₃	P₂O₅	Cl	K₂O	MnO	Al₂O₃	BaO
%	34,40	5,63	5,99	3,74	2,86	3,43	0,67	1,83	0,07	12,72	0,0
Metal Oksit	TiO₂	V₂O₅	CrO₃	NiO	CuO	ZnO	MgO	Rb₂O	SrO	ZrO₂	A.Z.
%	0,53	0,02	0,05	0,04	0,01	0,02	3,96	0,02	0,05	0,01	24



Şekil 1. Lavvar tesisi atığının mineralojik (XRD) analiz sonuçları.

Tablo 4. Linyit atığına ait elek analizi sonuçları.

Tane Boyutu (µm)	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
1000	6,85	26,12	4210
-1000+850	3,52	28,75	4085
-850+600	7,51	31,28	3786
-600+500	7,62	33,35	3665
-500+300	11,84	52,35	2345
-300+212	10,45	69,84	1180
-212+106	16,22	77,48	785
-106+75	4,78	78,12	598
-75+53	3,15	77,85	574
-53+38	2,25	78,15	745
-38	25,81	77,55	592
Toplam	100,00	61,72	1740,29

Çalışmaların ikinci aşamasını ise 0,5 mm elek altı atığın, Knelson konsantratör ile zenginleştirilmesi çalışmaları oluşturmaktadır. Bu aşamada Knelson konsantratörün 3 farklı çalışma parametresi (G kuvveti (*G*), besleme katı oranı (*BKO*), yıkama suyu basıncı (*YS*)) ile Box-Behnken deney tasarım yöntemi kullanılmış olup deney parametreleri Tablo 5'de verilmiştir.

3 faktörlü bir Box-Behnken deney tasarım yöntemi kullanıldığında ($2 \times 3(3-1) + 3$ merkez nokta) toplam 15 deneye ihtiyaç olmaktadır. Deney tasarımı Minitab 16 programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen sonuçlardan, ana faktörleri ve ikinci dereceden faktörlerin etkileşimini belirlemek için Denklem 2 kullanılmıştır:

Tablo 5. Knelson konsantratörü ile kömür geri kazanımı için uygulanan deney parametreleri.

Değer	Parametreler		
	G Kuvveti (kg.m/s ²)	BKO (%)	Yıkama Suyu basıncı (psi)
Düşük	30	5	2
Orta	75	22,5	3,5
Yüksek	120	40	5

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 \quad (2)$$

Burada, y tahmini yanıt, β_0 model sabiti; x_1 , x_2 ve x_3 bağımsız değişkenler; β_1 , β_2 ve β_3 linear katsayıları; β_{12} , β_{13} ve β_{23} çapraz ürün katsayıları; ve β_{11} , β_{22} ve β_{33} ikinci dereceden katsayıları ifade etmektedir.

Sonuçlar ve tartışma

Kömür Atığının Eleme ile Ön Zenginleştirilmesi

Elek analizinden de anlaşılacağı üzere kömür atığı bünyesinde iri boyutlarda kömür taneleri bulundurmakta olup, tane boyutu küçüldükçe malzemenin kil içeriği arttığı için kül miktarında artışlar gözükmemektedir. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen kömür atığı yaş olarak 0,5 mm elekten geçirilmiş ve 0,5 mm'den iri olan kömür taneleri kazanılmıştır.

Kuru bazda %61,72 kül ve 1740 kcal/kg AID'e sahip olan kömür atıklarının tamamı 0,5 mm'lik eleklerden elenerek iri boyuttaki ince kömür alınmış ve elek altı malzeme ise Knelson konsantratör deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu ön zenginleştirmeden elde edilen ürünlerin özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'dan da görüldüğü gibi atık kömürün %23,77'lik kısmı 0,5 mm'lik eleme yaparak %31,2 küllü ve 3980 kcal/kg AID'e sahip olarak kazanılmaktadır. Kalan -0,5 mm boyutundaki kısım ise doğrudan Knelson konsantratörüne beslenmiştir.

Kömür Atığının Knelson Konsantratör ile Nihai Zenginleştirilmesi

0,5 mm eleme sonrası geriye kalan -0,5 mm boyutundaki %71,58 küllü ve 1100 kcal/kg AID'e sahip olan atık kömür kullanılarak Knelson konsantratörde belirlenen 15 deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'den de görüldüğü gibi yapılan 15 adet Knelson konsantratör deneyinde en iyi sonuç 12 nolu deneyde elde edilmiş olup, bu deneyden elde edilen ürün %58,12 küllü ve 1845 kcal/kg'dır.

Tablo 7'de verilen sonuçlar Minitab 16 programı ile ana faktörleri ve ikinci dereceden faktörlerin etkileşimleri belirlenmiş ve aşağıdaki formüllerde ifade edilmiştir. Buna göre tahmin edilen kül (%) ve kalori (kcal/kg) değerleri sırasıyla Denklem 3 ve 4'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Kül}(\%) = & 69.15 - 0.208G + 0.148BKO + 0.593YS + 7.237x10^{-4}G^2 - 8.558x10^{-4}xBKO^2 \\ & - 0.082YS^2 + 0.0016GxBKO + 0.0027GxYS - 0.0185BKOxYS \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Kalori}(kcal/kg) = & 960.39 + 14.723G + 0.814BKO + 26.074YS - 0.057G^2 - 0.12xBKO^2 \\ & - 3.074YS^2 - 0.0902GxBKO - 0.1074GxYS + 0.6BKOxYS \end{aligned} \quad (4)$$

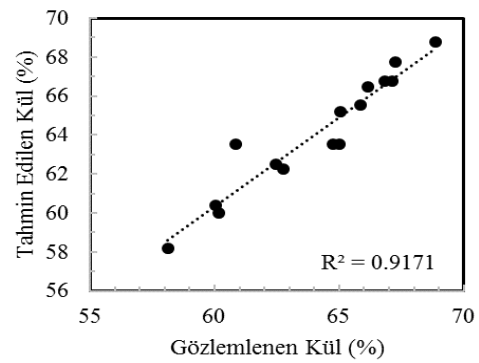
Tablo 6. Lavvar tesis atığının 0,5 mm eleme ile ön zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
Elek üstü (+0,5 mm)	23,77	31,2	3980
Elek altı (-0,5 mm)	76,23	71,58	1100
Besleme	100	61,98	1784

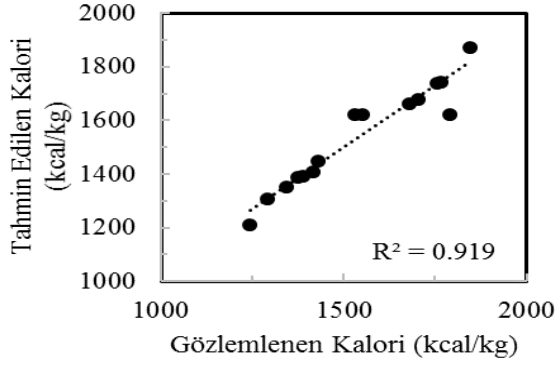
Tablo 7. -0,5 mm boyutlu lavvar tesisi atığının knelson konsantratörü ile zenginleştirilmesinden elde edilen sonuçlar.

Deney No	G Kuvveti (kg.m/s ²)	BKO (%)	Yıkama Suyu Basıncı (psi)	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
1	30	22,5	5,0	44,86	66,84	1342
2	75	40,0	2,0	48,15	67,12	1375
3	75	40,0	5,0	41,41	65,05	1428
4	75	22,5	3,5	34,14	64,75	1552
5	75	5,0	2,0	28,89	60,18	1765
6	75	22,5	3,5	29,47	60,87	1790
7	75	22,5	3,5	41,41	65,02	1531
8	30	5,0	3,5	45,54	65,86	1389
9	30	40,0	3,5	43,65	68,87	1243
10	120	40,0	3,5	32,87	66,15	1415
11	120	22,5	2,0	39,47	62,45	1678
12	120	5,0	3,5	28,15	58,12	1845
13	75	5,0	5,0	31,26	60,05	1755
14	120	22,5	5,0	35,84	62,75	1702
15	30	22,5	2,0	51,45	67,27	1289

Elde edilen Denklem 3 ve 4 yardımıyla 15 deneyin tahmin edilen sonuçları hesaplanarak Tablo 8'de verilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak tahmin edilen ve gözlemlenen sonuçların ilişkileri ve birbirleri ile korelasyonları Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Görüldüğü gibi tahmin edilen ve gözlemlenen değerlerin korelasyonları oldukça yüksek olup, kül için %91,71, kalori için %91,90 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin yüksek olması yapılan deneylerin güvenilir olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 2. Gözlemlenen ve tahmin edilen kül değerlerinin korelasyonu.



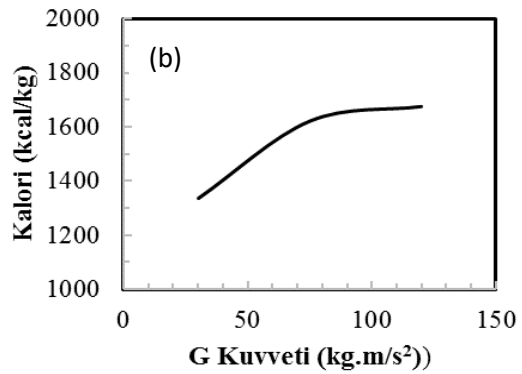
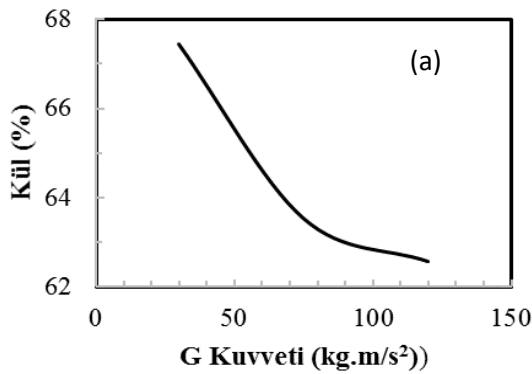
Şekil 3. Gözlemlenen ve tahmin edilen kalori değerlerinin korelasyonu.

G kuvvetinin ayırmaya etkisi

Minitab 16 kullanılarak G kuvvetinin kül ve kalori üzerine etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi G kuvveti arttıkça kül değeri ilk aşamada hızla düşmekte ikinci aşamada ise düşmesi yavaşlamaktadır. Kalori değerinin yükselmesinde de benzer durum gözlenmiştir. Bu durum G kuvvetinin kömürden kil içerikli malzemenin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermekte olup, 120 G'den daha yüksek değerlerde etkinin daha az olacağını göstermektedir.

Tablo 8. Gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması.

Deney No	Gözlemlenen		Tahmin edilen	
	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
1	66,84	1342	66,78	1352
2	67,12	1375	66,75	1386
3	65,05	1428	65,20	1447
4	64,75	1552	63,54	1622
5	60,18	1765	60,02	1741
6	60,87	1790	63,54	1622
7	65,02	1531	63,54	1622
8	65,86	1389	65,55	1391
9	68,87	1243	68,80	1209
10	66,15	1415	66,46	1406
11	62,45	1678	62,50	1661
12	58,12	1845	58,17	1872
13	60,05	1755	60,40	1739
14	62,75	1702	62,28	1677
15	67,27	1289	67,73	1308



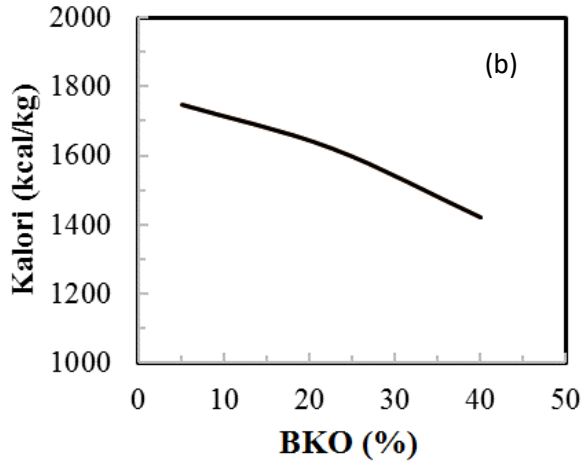
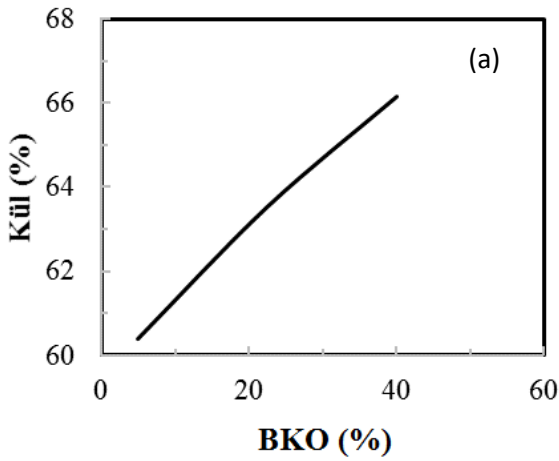
Şekil 4. G kuvvetinin kül oranına (a) ve kaloriye (b) etkisi.

BKO değerinin ayırmaya etkisi

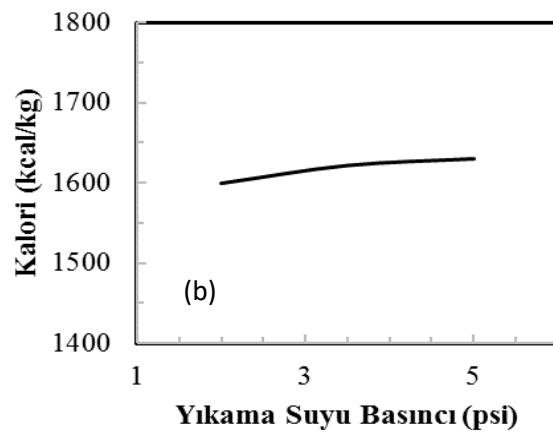
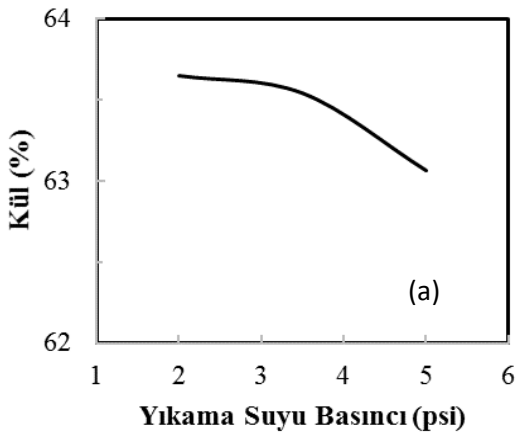
Sonuçlardan, bir diğer değişken olan besleme katı oranının (*BKO*) kül ve kalori üzerine etkisi belirlenerek Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’den görüldüğü gibi *BKO* oranı arttıkça kül değeri yükselmekte, buna bağlı olarak kalori değeri hızla düşmektedir. Eğrinin eğiminden de anlaşılacağı üzere *BKO* 40’dan daha yüksek değerlerde de bu yükseliş ve düşüşün aynı hızla devam edecektir. Bunun ana nedeni beslemedeki *BKO* değeri arttıkça Knelson konsantrasyonunun iç haznesinde daha fazla katı birikmesi olmakta ve tanelerin birbirlerinden ayrılmaları güçleşmektedir. Bu durum bize verimli bir zenginleştirme için daha düşük besleme pülpte katı konsantrasyonlarında çalışılması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Yıkama suyunun kuvvetinin ayırmaya etkisi

Diğer bir değişken parametremiz olan yıkama suyu basıncının kül ve kalori üzerine etkisi belirlenerek Şekil 6’da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi yıkama suyu basıncı kül oranı üzerine negatif etki yaparken, kaloriye pozitif etki yapmaktadır. Çünkü yıkama suyu basıncı tanelerin birbirlerinden ayrılmasını kolaylaştırmakta ve bu sayede kömür tanecikleri kil taneciklerinden ayrılarak konsantre toplama kısmına hızla yönelmektedir. Eğrinin eğimine bakılırsa daha yüksek yıkama suyu basıncında daha temiz kömür elde edilebileceği tahmin edilebilmektedir.



Şekil 5. Besleme katı oranının Kül (a) ve Kaloriye (b) etkisi.



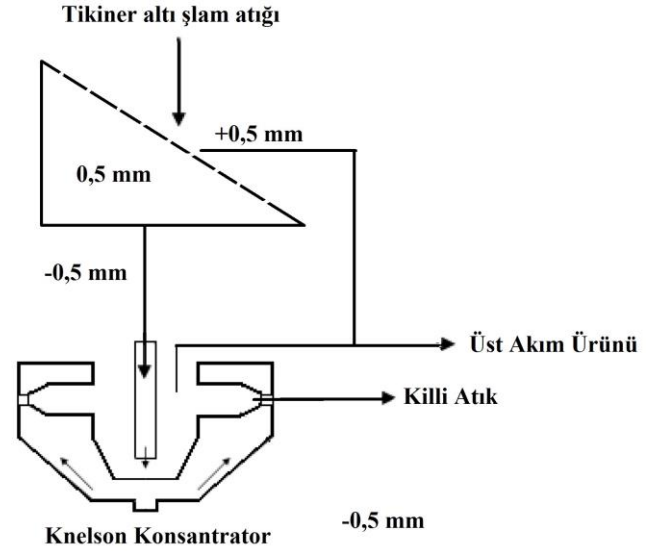
Şekil 6. Yıkama suyu basıncının kül oranı (a) ve kaloriye (b) etkisi.

Sonuçlar

Adularya A.Ş. tarafından işletilen Koyunağılı kömür yıkama tesisi tikiner altı şlam atığı atıklarının zenginleştirilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, iki aşamalı bir çalışma programı uygulanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında kuru bazda %61,98 küllü ve 1784 kcal/kg alt ısıl değere sahip linyit atığı önce 0,5 mm elekten geçirilerek %23,77'si kuru bazda %31,2 küllü ve 3980 kcal/kg ısıl değere sahip toz kömür elde edilmekte olup, geri kalan %76,23'lük kısım ise Knelson konsantratörde zenginleştirilmiştir. İkinci aşamadan ise en iyi sonuç 12 nolu deneyden elde edilmiş olup beslemenin %28,15'lik kısmı kuru bazda %58,12 kül ve 1845 kcal/kg AID'e sahip olarak elde edilmiştir.

Elde edilen 2 farklı ürün ayrı ayrı değerlendirilebileceği gibi birlikte de değerlendirilebilir. Bu durumda elde edilen ürünlerin toplamı beslemeye göre %45,23'lük kısmı oluştururken, bu karışım kuru bazda %45,35 kül ve 2857 kcal/kg AID'e sahip olacaktır. Elde edilen bu ürün yeni kurulan termik santrali baz kalori (2300 kcal/kg) üzerinde olup doğrudan yakılabileceği gibi, ince boyutundan dolayı yakma sırasında yaşanacak sıkıntıları gidermek için lavvar tesisi miks ürünleri ile birlikte de değerlendirilebilecektir.

Sonuç olarak 1784 kcal/kg ısıl değere sahip olan bir linyit atığı, Şekil 7'de önerilen bir proses yardımıyla 2857 kcal/kg ısıl değere ulaştırılabilecektir. Çalışmanın son aşamasında ise Minitab 16 kullanılarak Knelson konsantratörün çalışma parametrelerinin zenginleştirme üzerine etkileri belirlenmiş olup, G kuvveti ve yıkama suyunun pozitif etki yaptığı, besleme katı oranının ise negatif etki yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Daha düşük katı oranlarında çalışarak ve daha yüksek basınçlı yıkama suyu kullanarak daha temiz kömür üretilebileceği görülmüştür.



Şekil 7. Lavvar tesisi tikiner atığı için önerilen kömür geri kazanım işlemi ve ürünlerin birleştirilmesi.

Teşekkür

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimi tarafından finansal olarak desteklenen "Koyunağılı (Mihalıççık) Linyitlerinin Yıkanebilirliği ve Lavvar Tesis Performansının Değerlendirilmesi" adlı ve 13.FEN.BİL.39 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Baş, C., (2010). Cevap Yüzeyi Tasarımları Ve Sınır Ağları Yaklaşımı, Doktora Tezi, Ankara Ü. Fen Bil. Ens., 152 Sf.
- Dias, F.S., Santos, W.N.L., Costa, A.C.S. , Welz, B., Vale M.G.R. and Ferreira, S.L.C. (2007). Application of multivariate techniques for optimization of direct method for determination of lead in naphtha and petroleum condensate by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Microchimica Acta* 158:3-4, pp. 321-326.
- Honaker, R. Q.; Das, A.; Nombe, M., (2005). Improving the separation efficiency of the Knelson concentrator using air injection. *Coal. Prep.*, 25, 99–116.
- Joglekar, A.M., May, A.T., (1987). Product Excellence Through Design of Experiments, *Cereal Foods World*, 32 (12), 857-860.
- Köksoy, O. (2001). “Taguchi ve Cevap Yüzeyi Felsefelerinin Birleştirilmesi: Problem ve Çözüm Teknikleri”, Hacettepe Üniversitesi.
- Mead, R. ve Pike, D.J., (1975). A Biometrics Invited Paper. A Review of Response Surface Methodology from a Biometric Viewpoint, *Biometrics*, 31(4), 803-851.
- Öney, Ö; Tanrıverdi, M., (2012). Optimization and modeling of fine coal beneficiation by Knelson concentrator using central composite design (CCD). *J. Ore Dressing*, 14, 11–18.
- Rubiera, F.; Hall, S. T.; Shab, C. L., (1997). Sulfur removal by fine coal cleaning processes. *Fuel*, 76 (13), 1187–1194.
- Sabah, E. ve Koltka S., (2014). Separation Development Studies on the Beneficiation of Fine Lignite Coal Tailings by the Knelson Concentrator, *Energy Fuels* 2014, 28, 4819–4827.
- Şehirlioğlu, A.K. (1997). Ürün ve süreç kalitesini iyileştirmede kullanılan istatistiksel modelleme teknikleri üzerine bir araştırma, 362 sayfa.
- Turan M.D. ve Altundoğan H.S., (2011). Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin (YYY) kullanımı, *Madencilik*, 50(3), 11-23.
- Uslu, T.; Sahinoğlu, E.; Yavuz, M., (2012). Desulphurization and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator. *Fuel*, 101, 94–100.
- Walker, C.E., Parkhurst, A.M., (1984). Response Surface Analysis of Bake-Jab Data With a Personal Computer, *Cereal Foods World*, 29(10), 662.

An investigation of coal recovery from slurry waste of thickener in coal washing plant using Knelson Concentrator

Extended abstract

Now that Turkey's underground resources are consumed rapidly, domestic coal requirement is also increasing rapidly. Therefore, it is necessary to increase washing efficiency of washing plants upto maximum levels. Eventough, in some cases, the increase in the performance of the facilities will not be sufficient. It will be indispensable for the waste materials be enriched so as to be benefited economically. Major waste material is coal waste, and it should be recovered due to domestic coal needs.

In this context, this study was aimed to investigate the feasibility of enrichment process of sub-thickener slurry waste of Koyunağılı Coal Washing Plant operated by Adularya Company. The first phase of the study focused on the recovery of coarse sized coal by 0.5 mm elimination process. In the second phase of the study, enrichment process of 0.5 mm grain size slurry waste was processed using a Knelson concentrator.

In the first phase of the study, fine coal with 31.20% ash content and 3980 kCal/kg Lower Heating Value (LHV) in dry basis was obtained from 61.7% ash content and 1740 kCal/kg LHV also in dry basis sub-thickener slurry waste.

In the second phase of the study, for the experiments to be fulfilled with Knelson Concentrator, Box-Behnken Experiment Design

Programme was performed. Three working parameters of Knelson Concentrator were used in design concept, which were; G Force (G), Pulp Solid Ratio (PSR), and washing water pressure. 15 experiments in total were approved for this design in which three parameters were used with three levels.

The best result of the 15 experiments was achieved from the 12th experiment (G force : 120 kg.m/s², pulp solid ratio : 5.0%, washing water pressure: 3.5 psi). -0.5 mm size under sieve product fed into this phase with 71.58 ash content and 1100 kCal/kg LHV was converted into 58.12 % ash content and 2857 kCal/kg LHV fine coal.

The effects of G force, pulp solid ratio (PSR), and washing water pressure on ash and LHV content were also studied in this study.

The results showed that as the G force increased ash content of coal decreased and calorific value increased, as the PSR increased ash content increased and calorific value decreased, and, as the washing water pressure increased ash content decreased and calorific value increased. G force and washing water pressure made a positive effect while feeding solid ratio made a negative effect. The results clearly showed that , cleaner coal could be obtained by working with lower solid ratio and using higher washing water pressure.

As a result, when the products obtained from the sieving and Knelson concentrator are evaluated together, they constitute 45.23% of the product according to the feeding. This mixture has 45.35% ash content and 2857 kCal/kg LHV in dry basis.

Keywords: Coal Washing Plant; Waste of Thickener; Coal recovery; Knelson concentrator



Çanakkale bölgesi alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyesi ısıl ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi

Baran TARHAN*

Uşak Üniversitesi, Seramik Bölümü, Uşak

sbtarhan@gmail.com ORCID: 0000-0003-0440-4646, Tel: (+90 276)2212121-2927

Müge TARHAN

Uşak Üniversitesi, Seramik Bölümü, Uşak

muge.tarhan@usak.edu.tr ORCID: 0000-0001-6985-3085

Geliş: 28.12.2018, Kabul Tarihi: 04.02.2019

Öz

Seramik Sağlık Gereçleri üretiminde kullanılan hammaddelerinin büyük bir kısmı yurt dışından temin edilmektedir. Buda seramik sağlık gereçleri üretim maliyetlerini yükseltmektedir. Yerel hammadde kaynaklarının değerlendirilmesi ve üretimde kullanılması, maliyetlerin azaltılması ve bölgesel kaynakların ekonomiye kazandırılması açısından önemlidir. Seramik sağlık gereçleri ürünlerinde yüksek miktarda alkali içeriği yüksek feldispat grubu hammaddeler kullanılmaktadır. Vitrifiye bünyelerde ana olarak albit kullanılmakla beraber ortoklas da albit ile beraber kullanılabilir. Bu alkali kaynakları genellikle Çine/Aydın bölgesinden temin edilmektedir. Bu çalışmada Kaleseramik seramik sağlık gereçleri bünyesinde kullanılan Çine/Aydın bölgesi sodyum feldispat kaynakları yerine Çan/Çanakkale bölgesi alkali kaynakları kullanım olanakları araştırılmıştır. Sodyum feldispat alternatif olarak kullanılan bölgesel alkali kaynağının özellikle vitrifiye bünyenin ısıl özellikleri ve mikroyapı gelişimi üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Yerel alkali kaynağının kullanılmasıyla geliştirilen bünye kompozisyonlarının tüm teknik özellikleri analiz edilmiştir (% su emme, pişme küçülmesi, deformasyon değeri). Bünyelerin ısıl genleşme katsayısı değeri dilatometre cihazı belirlenmiştir. Bünyelerde gelişen fazların analizi XRD cihazı ile belirlenirken, mikroyapı gelişimleri taramalı elek tron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sodyum feldispat yerine kullanılan yerel alkali kaynağı bünyelerin sinterlenmesini zorlaştırırken bünyelerin deformasyonunu ise azaltmaktadır. Ayrıca bünyelerde yerel alkali kaynağı kullanımı ile birlikte bünye ısıl genleşme katsayısının düştüğü tespit edilmiştir. Bünyelerde yerel alkali kullanım oranının artması mikroyapıda gelişen fazları değiştirmezken, kalıntı kuvars miktarını arttırmaktadır. Sonuç olarak, vitrifiye bünyelerde uygun bünye kompozisyon tasarımının yapılmasıyla yerel alkali kaynağının kullanımının teknik özellikleri olumsuz yönde etkilemeden mümkün olabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik sağlık gereçleri, vitrifiye, yerel alkali kaynağı, sodyum feldispat

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Seramik sağlık gereçleri banyo, tuvalet, mutfak gibi alanlarda kullanılan lavabo, eviye, klozet, rezervuar, bide helataşı, pisuar, duş teknesi vb. sırlı-sırsız ve beyaz-renkli olarak da üretilebilen ürünlerin genel adıdır. Kil, kaolen, kuvars ve feldspat gibi inorganik maddelerin belirli oranlarda karıştırılarak çamur haline getirilmesi ve daha sonra bu çamurun uygun yöntemlerle şekillendirilip 1200-1250°C'de pişirilmesi suretiyle elde edilen ürünlerdir (Kafalı, 2005).

Seramik sağlık gereçleri UNI-EN standartlarına göre iki farklı kompozisyonda üretilmektedir. Bunlardan birincisi vitrifiye bünyeler diğeri ise fireclay olarak adlandırılır. Vitrifiye ürünlerinin su emme değerleri %0,5'in altındadır. Bu bünyeler, kil, kaolen, kuvars ve feldispattan oluşur. Kil bünyelere döküm sonrası plastikliği verir ve ürünlerin işlenmesine yardım eder. Bununla beraber kuruma aşamasındaki mukavemeti sağlar. Kuvars ise küçülmeyi kontrol etmekle beraber bünyenin pişme sırasındaki kararlılığını kontrol eder. Ergitici olarak kullanılan feldispatlar sıvı fazın oluşmasını sağlayarak düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmayı ya da vitrifikasyonu sağlarlar. Kaolen döküm sırasında çamurun döküm kalınlığını kontrol eder (Porte vd., 2004).

Seramik sağlık gereçleri üretimi, teknolojideki yeni gelişmelerle birlikte büyük sıçramalar göstermektedir. 2014 yılında dünyadaki toplam seramik sağlık gereçleri üretimi 349,3 milyon parçadır. Dünyadaki seramik sağlık gereçleri üretimi 2004-2014 yılları arasında %61,3 oranında büyümüştür. Ülkemizde de seramik sağlık gereçleri alanında üretim ve kapasitelerde önemli artışlar gözlenmekte ve dünya pazarındaki payımız artmaktadır. 2014 yılında yaklaşık 20 milyon parça seramik sağlık gereçleri üretimi Türkiye'de yapılmıştır. Aynı dönemdeki Türkiye'deki sağlık gereçleri üretim artışı %45 olarak belirlenmiştir (Kafalı, 2005, Mecs-Acimac, 2016).

Yüksek iş gücü gerektiren bir sektör olan seramik sağlık gereçleri üretiminde işçilik, enerji ve hammadde maliyetlerinin yüksekliği sektörde

alternatif hammadde arayışlarını ve teknolojiyi geliştirme çalışmalarını hızlandırmaktadır. Seramik sağlık gereçleri ile ilgili sınırlı sayıda literatür bilgisi olmakla birlikte hammadde kaynakları ve alternatif hammaddelerin kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Dondi (2018) yaptığı çalışmada seramik sektörü için ergitici kaynaklarını, üretim trendlerini ve teknolojik değerlerini incelemiştir. Yapılan çalışmada özellikle seramik üretiminde alternatif ergiticilerin kullanılması konusunda öneriler sunulmuştur. Bunlar arasında düşük ergiticiliğe sahip alkali kaynakları ve atıkların seramik bünyelerde kullanılmasının alkali kaynaklarının korunması açısından önemi vurgulanmıştır. Albitlerin (sodyum feldispat) ve nefelin siyenit kaynaklarının seramik karo ve sağlık gereçleri üretimi için kilit rol oynadığı belirtilmiştir. Mevcut tüketimle 20-30 yıl içinde bu kaynakların hızlı bir şekilde tüketileceği öngörülmüştür (Dondi, 2018).

Kunduracı vd. (2016), Kunduracı ve Aydın (2015) ve Aydın ve ark.(2018) yaptığı çalışmalarda vitrifiye ürünleri için albit alternatifini nefelin siyenitin seramik sağlık gereçleri bünyesi üzerine olan etkisini incelemiştir. Çalışmada albit yerine %40 oranında nefelin siyenit kullanılmasıyla sinteleme sıcaklığının düşürüldüğü, standart bünyeye göre pişirim süresinin azaldığı ve mekanik özelliklerin iyileştiği, piroplastik deformasyonun azaltıldığı belirlenmiştir. Tunçel ve Özel (2012) yaptığı çalışmada farklı Na₂O/K₂O oranlarında yüksek sıcaklık viskozite değişimini incelemiştir. Bu oranın yaklaşık 4 olması durumunda piroplastik deformasyonun en az olduğu belirlenmiştir. Yine K₂O oranının artmasının yüksek viskoziteye sahip amorf fazın oluşmasına yardım ettiği, bu yüksek viskoziteli fazın müllit oluşumunu arttırdığı belirtilmiştir. Tarhan vd. (2017) yaptığı çalışmada seramik sağlık gereçleri kırıklarının porselen karo bünyelerinde albit yerine kullanılması araştırılmıştır. Seramik sağlık gereçleri pişmiş atıklarının kullanılmasıyla termal genleşme katsayısını düşüdüğü belirlenmiştir. Tarhan (2019) yaptığı çalışmada duvar karosu atıklarının seramik sağlık gereçleri bünyesinde kullanımı

araştırılmış ve duvar karosu atığının teknik parametreleri iyileştirdiği belirlenmiştir.

Aydın (2018) yaptığı çalışmada yüksek fırın cürufunun seramik sağlık gereçleri üzerine etkisini incelemiştir. Araştırama sonucunda yüksek fırın cürufu kullanılmasıyla kalınlık alam artmış, çamur yoğunluğu düşmüştür. Pişme deformasyonunun ise arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada Çan/Çanakkale bölgesinde bulunan alkali kaynağının albite alternatif olarak vitrifiye bünyelerde kullanılabilirliği ve bünyenin ısıl özellikleri ve mikroyapı gelişimi üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda vitrifiye bünye kompozisyonunda bulunan albit yerine farklı oranlarda bölgesel alkali kaynağı ilave edilerek bünyenin fiziksel, ısıl, mineralojik ve mikroyapı özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

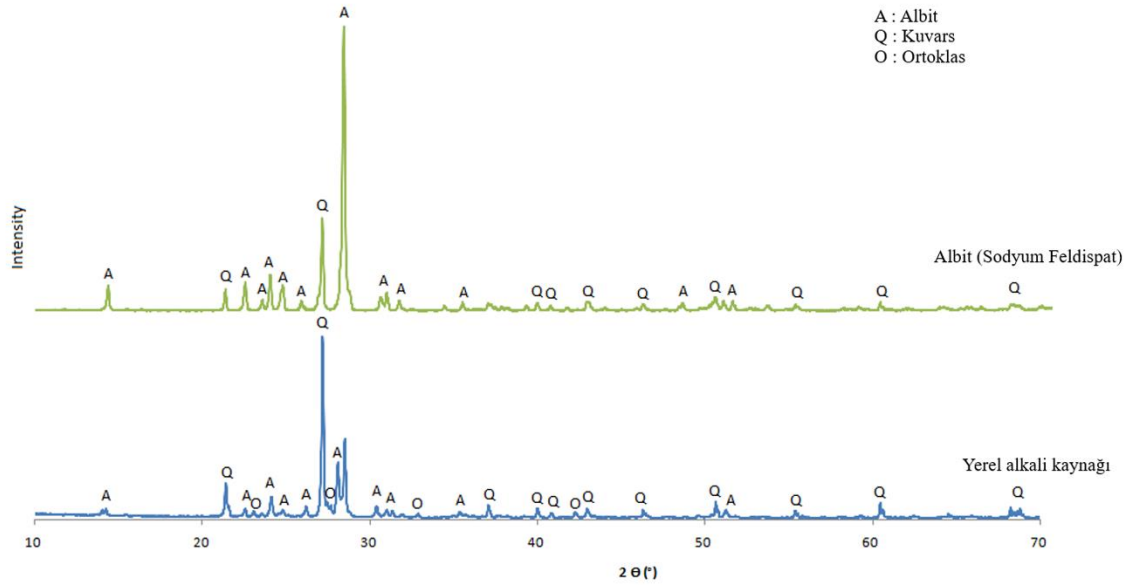
Materyal ve Yöntem

Kullanılan hammaddeler

Bünye geliştirme çalışmalarında kil, kaolen, kuvars, sodyum feldispat ve bölgesel yerel alkali kaynağı kullanılmış ve bu hammaddelere ait oksit bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir. Reçetelerde kullanılan hammaddelerden Kaolen 1 Kaolin Endüstriyel Mineraller San. ve Tic. A.Ş.-Bulgaristan, Kil 2 ve Kaolen 2 hammaddesi Sibelco-Birleşik Krallık, Kil 1 hammaddesi Matel Endüstriyel Hammaddeler A.Ş. Türkiye, sodyum feldspat, kuvars ve yerel alkali kaynağı Kalemaden A.Ş.-Türkiye’den temin edilmiştir. Sodyum feldspat ve yerel alkali kaynağına ait XRD grafikleri Şekil 1’de verilmiştir. Her iki alkali kaynağında albit ve kuvars fazları tespit edilirken, yerel alkali kaynağında farklı olarak ortoklas fazı tespit edilmiştir. Ayrıca yerel alkali kaynağı sodyum feldispata göre daha fazla miktarda kuvars fazı ihtiva etmektedir.

Tablo 1. Hammaddelerin XRF ile tayin edilmiş kimyasal bileşimleri (% ağı)

	A.Z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Kil 1	9,24	56,53	27,09	1,26	2,24	0,38	0,68	0,1	2,34
Kil 2	10,09	57,55	27,12	0,94	1,44	0,13	0,3	0,23	2,06
Kil 3	9,27	60,21	25,96	1,18	0,88	0,22	0,31	0,24	1,59
Kaolen 1	11,94	51,38	34,15	0,36	0,95	0,15	0,16	0,09	0,73
Kaolen 2	11,53	48,68	35,68	0,09	0,82	0,03	0,34	0,03	2,65
Kuvars	0,21	98,15	1,09	0,02	0,03	0,01	0,05	0,34	0,12
Sodyum Feldispat (Albit)	0,32	72,32	16,8	0,36	0,05	0,67	0,26	8,95	0,27
Yerel Alkali Kaynağı	0,4	77,86	12,96	0,22	0,25	0,68	0,12	2,45	5,2



Şekil 1. Sodyum feldispat ve yerel alkali kaynağına ait XRD analizleri

Bünye geliştirme çalışmaları

Standart vitrifiye bünye reçetesi 3 çeşit kil, 2 çeşit kaolen, kuvars ve Na-feldispat hammaddelerinden oluşmaktadır. Geliştirilen

vitrifiye bünyelerde; yerel alkali kaynağı standart reçetede sodyum feldispat yerine farklı oranlarda kullanılmış ve tüm reçetelerin oksit oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Standart ve geliştirilen bünyelere ait oksit kompozisyonları (%)

	A.Z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Standart	5,81	67,24	21,11	0,57	0,82	0,37	0,31	2,58	1,11
VA100	5,83	68,74	20,08	0,54	0,874	0,38	0,27	0,82	2,44
VA50	5,82	67,99	20,59	0,55	0,847	0,38	0,29	1,70	1,77
VA16	5,70	67,16	21,10	0,55	0,840	0,38	0,30	1,94	1,73

Bünye geliştirme çalışmalarında tüm hammaddeler 63 mikron altında alınmıştır ya da öğütülerek 63 mikronun altına düşürülerek kullanılmıştır. Oluşturulan bünye reçetelerinde hammaddelerin nem değerleri de göz önünde bulundurularak reçetede kullanım oranları hesaplanmış, su ve elektrolit ilaveleri ile birlikte bilyalı değirmenlerde 63 µm elek üstü bakiyesi % 3’e gelene kadar öğütülmüştür. Vitrifiye çamurların katı konsantrasyonları %72, yoğunluk değeri yaklaşık 1800 g/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan çamurların reolojik değerleri Gallenkamp viskozimetresi ile ölçülmüştür. Çamur viskoziteleri 320–330° (V₀), 300–310° 1. dakika viskoziteleri (V₁) ve 241-

253° 6. dakika viskoziteleri (V₆) olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan çamurlar 1 gün dinlendirildikten sonra 190 × 25 × 15 mm döküm boşluğuna sahip alçı kalıplarda şekillendirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra 110°C’lik etüvde 1 gün boyunca kurutulmuşlardır. Numune pişirimleri Kaleseramik Seramik Sağlık Gereçleri Fabrikası’nda bulunan tünel fırında maksimum sıcaklık 1220°C’de 14 saat (soğuk-soğuk) pişirilmiştir.

Karakterizasyon

Numunelerin fiziksel özellikleri TS EN 997 standardı göz önüne alınarak ölçülmüş ve

değerlendirilmiştir. Test sonuçları 5 ölçümün ortalama değerleri alınarak yapılmış ve standart sapma $\pm 1.5\%$ olacak şekilde değerlendirilmiştir. Hammaddelerin kimyasal analizleri X- ışını floresans spektrometresi (Panalytical Axios XRF, Kaleseramik Ar-Ge Merkezi, Türkiye) kullanılarak belirlenmiştir. Sert hammaddelerin tane boyut analizleri (kuvars, sodyum feldispat ve yerel alkali kaynağı) lazer tane boyut ölçüm metodu kullanılarak Malvern, Hydro 2000G (Kaleseramik Ar-Ge Merkezi, Türkiye) marka-model cihazla gerçekleştirilmiştir. Kil ve kaolen hammaddelerinin tane boyut analizleri ise sedimentasyon yöntemi ile SediGraph 5100 (Anadolu Üniversitesi, Türkiye) marka-model cihazla gerçekleştirilmiştir. Numunelerin su emme değerleri TS EN 997 standardına göre yapılmıştır. Kuru ve pişmiş eğilme mukavemeti testleri 3 noktalı eğme testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bünyelerin ısıl genleşme katsayısı değerleri dilatometre cihazı (Netzch 402 EP, Kaleseramik Ar-Ge Merkezi, Türkiye) ile ölçülmüştür. X- ışınları difraktometresi (XRD- X'pert Pro MPD, Kaleseramik Ar-Ge Merkezi, Türkiye) kullanılarak pişmiş bünyelerin faz analizleri yapılmıştır. XRD analizleri $\text{CuK}\alpha$, 40 kV ve 30 mA şartlarında 10° - 70° aralığında, tarama hızı $2^\circ/\text{dak}$. olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak bünyelerin mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM, Carl-ZeissEvo 50 EP, Anadolu Üniversitesi, Türkiye) yapılmıştır. SEM analizleri parlatılmış yüzeyler 5% HF solüsyonunda 2 dakika dağlanmış ve distile suda yıkanmıştır. Yıkamadan sonra kurutulan numuneler Au ve Pd ile kaplanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bünye çamurlarının teknik özellikleri

Geliştirilen vitrifiye bünyelere ait kimyasal kompozisyonlar Tablo 2'de verilmiştir. Standart vitrifiye bünyesinde kullanılan sodyum feldispat $8,95\%$ Na_2O ve $0,27\%$ K_2O içerirken, yerel alkali kaynağının K_2O oranı $5,2\%$ ve Na_2O oranı

$2,45\%$ 'dir (Tablo 1). Bundan dolayı bünye kompozisyonlarında yerel alkali kaynağının artmasıyla K_2O miktarı artmakta, Na_2O miktarı azalmaktadır. Toplam SiO_2 miktarı ise; yerel alkali kaynağındaki SiO_2 miktarının sodyum feldspata göre daha fazla olması nedeniyle bünye kompozisyonlarında yerel alkali kaynağının artmasıyla birlikte artmaktadır. Ayrıca yerel alkali kaynağı sodyum feldspata göre daha düşük oranda alkali oksit içermektedir. Bu nedenle bünye kompozisyonlarında sodyum feldispat yerine yerel alkali kaynağının kullanılması toplam alkali oksit miktarını da azaltmıştır. Bünye kompozisyonunda toplam alkali oksit miktarını değiştirmeden sadece Na_2O ve K_2O miktarının bünye teknik özellikleri üzerine etkisini belirlemek için VA16 reçete kompozisyonu hazırlanmıştır. VA16 kodlu bünye kompozisyonunda sodyum feldispat ve yerel alkali kaynağı birbirine yakın oranlarda, hammaddelerin öğütmesi sırasında karışımın homojenliği ve bu homojenliğin sürdürülebilir olması için firma şartları da göz önüne alınarak kullanılmıştır.

Geliştirilen vitrifiye bünye çamurlarının teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Bünye çamurlarında elektrolit olarak sodyum silikat kullanılmış ve çamurların viskozite değerleri birbirlerine yakın olarak ayarlanmıştır. Çamur viskoziteleri işletme çalışma şartlarına uygun olarak 320 - 330° (V_0), 300 - 310° 1. dakika viskoziteleri (V_1) ve 241 - 253° 6. dakika viskoziteleri (V_6) olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan kompozisyonlarda kullanılan elektrolit miktarları birbirlerine yakındır. Vitrifiye bünye çamuru için kalınlık alma işletme standardı değeri $7,5$ - $8,5$ mm aralığındadır. Bütün kompozisyonların kalınlık alma değerleri $8,0$ mm/90dakika civarındadır ve standart işletme çamuru ile benzer değerlidir. En düşük kalınlık alma değeri VA50 reçetesinde elde edilmiştir ancak bu değer de işletme çalışma standartları içindedir.

Tablo 3. Vitrifiye bünye çamurlarının teknik özellikleri

	Standart	VA100	VA50	VA16
Yoğunluk (g/lt)	1798	1799	1798	1793
Viskozite (Gallenkamp G°)	321	330	326	329
1. dak. Viskozite (Gallenkamp G°)	300	311	310	304
6. dak. Viskozite (Gallenkamp G°)	241	253	244	252
Elektrolit (%)	0,29	0,31	0,3	0,28
Kalınlık Alma (mm-60 dak.)	8,1	7,8	7,7	8,0

Hazırlanan çamur kompozisyonlarında 3 farklı kil ve 2 farklı kaolen kullanılmıştır. Kullanılan kil hammaddeleri seramik bünyeye plastiklik vermek için kullanılmaktadır. Bünyenin plastik olması döküm sonrası gerçekleştirilen rötuş işlemini mümkün kılmaktadır. Bu yüzden farklı plastikteki killer kullanılarak kompozisyon hazırlanmaktadır. Kaolin ise temelde çamur dökümü sırasında kalınlık alma özelliğini kontrol etmektedir. Farklı kalınlık alma özelliklerine sahip kaolenler kullanılarak bünyenin kalınlık alma özellikleri kontrol edilmektedir. Sodyum feldspat pişme sırasında ergitici olarak görev yapmaktadır. Seramik sağlık gereçleri bünyelerinde genellikle albit ergitici olarak kullanılmaktadır. Potasyum feldspat da sistemde ergitici olarak görev yapar ve piroplastik deformasyonu azalttığına dair literatürde çalışmalar vardır (Becker vd., 1999, Tarhan, 2010, Tunçel ve Özel, 2012). Kuvars bünyede temel iskelet görevini görürken aynı zamanda küçülme ve deformasyonu da kontrol eder (Tarhan, 2010). Yapılan çalışmada, geliştirilen vitrifiye bünye kompozisyonlarında sodium feldspat yerine yerel alkali kaynağı kullanımı çalışıldığından bünye çamurlarının kalınlık alma değerlerinde belirgin farklılıklar gözlenmemiş, bu değer birbirlerine yakın olarak elde edilmiştir.

Fiziksel Özellikler

Bünyelere ait fiziksel özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Bünyelerde sodyum feldspat oranının azalması ve yerel alkali kaynağı miktarındaki artışla birlikte bünyelerin su emme değerlerinde artış gözlenirken pişme küçülme değerlerinde ise azalma tespit edilmiştir. Bu da geliştirilen bünyelerin standart bünyeye göre

daha az sinterlendiğini göstermektedir. Bünyelerde sodyum feldspat yerine yerel alkali kaynağı kullanılması kompozisyonlarda Na₂O oranını azaltıp K₂O oranını arttırırken, toplam alkali oksit miktarını da azaltmaktadır. Bünyelerde özellikle toplam alkali oksit miktarındaki azalma bünye su emme değerlerini arttırmıştır.

Seramik bünyeler için uygun pişirim sıcaklığı içerdiği feldspat türü ve oranına göre farklılık göstermektedir. Amorf fazın oluşması seramik sağlık gereçlerinin sinterlenmesi, yoğunluğunun artması, porlarının kapanması için gereklidir. Sinterleme sürecinde amorf fazın oluşum sıcaklığı ve viskozitesi de kullanılan feldspatın türüne ve toplam alkali oranına bağlıdır. Bünyelerde toplam alkali içeriğinin artması ile birlikte ergitici özellik de artmaktadır (Becker vd., 1999, Tarhan, 2010). Tek başına refrakter bir malzeme olan potasyum feldspat silikayla uygun miktarlarda kullanıldığında amorf fazın gelişimine yardımcı olur (Viola ve Kovic, 1994). Potasyum feldspat anormal bir ergime davranışı gösterirken, sodyum feldspat normal bir ergime davranışı gösterir. Potasyum feldspat ve sodyum feldspatın oluşturdukları peritektik ve ötektik sıcaklıklar sırasıyla 990°C ve 1050°C'dir (Becker vd., 1999). K-feldspat ile daha düşük sıcaklıklarda peritektik oluşmasına rağmen Na-feldspat içeren kompozisyonlarda daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek yoğunluklara ulaşılır. Bunun temel nedeni oluşan ergimemiş amorf fazın viskozitesinin K-feldspat içeren kompozisyonlarda Na-feldspat içeren kompozisyonlara göre daha yüksek olmasıdır (Viola ve Kovic, 1994, Tarhan, 2010). Toplam

alkali oranının standart vitrifiye bünyeye benzer olarak oluşturulduğu VA16 kodlu bünyenin su emme ve pişme küçülme değeri ise standart vitrifiye bünyeye benzer olarak elde edilmiştir. Bu da bünyelerin sinterlenme davranışında toplam alkali miktarının $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ oranına göre çok daha etkili olduğunu göstermektedir.

Yerel alkali kaynağı ilavesiyle geliştirilen bünyelerin kuru mukavemet değerleri standart bünye kuru mukavemetine benzer olarak elde edilmiştir. Pişmiş mukavemet değerleri ise, VA100 ve VA 50 kodlu bünyeleri için, işletme standartları dahilinde olmasına rağmen standart vitrifiye bünyeye göre daha düşüktür. Bu bünyelerin su emme değerlerinin de standart bünyeye göre yüksek olması bünyelerin daha az

sinterlendiğini ve mikroyapılarında daha fazla porozite olduğunu göstermektedir. Standart vitrifiye bünye ile benzer su emme değerinin elde edildiği VA16 kodlu bünyenin kuru mukavemet değeri de standart bünyeye yakın olarak elde edilmiştir.

Seramik bünyelerin kırılma mukavemetini etkileyen önemli parametrelerden biri mikroyapılarında bulunan porozitedir. Seramik bünyelerin kırılma mukavemeti porozitenin düşmesi ve yoğunluğun artmasıyla birlikte artmaktadır. Bünyelerde maksimum kırılma mukavemeti ancak tüm porların elimine edilmesiyle sağlanabilir. (Leonelli vd., 2001, Das ve Dana, 2003, Stathis vd., 2004, Gil vd., 2006, Sivaldo vd., 2008).

Tablo 4. Vitrifiye bünyelerin fiziksel özellikleri

	Standart	VA100	VA50	VA16
Pişme Küçülme (%)	10,53	10,22	10,35	10,61
Su Emme (%)	0,03	0,7	0,25	0,02
Kuru Mukavemet (kg/cm^2)	27,9	27,8	26,3	26,8
Pişme Mukavemeti (kg/cm^2)	659,7	542,6	606,6	627,3
Pişme Deformasyonu (mm)	30	21	25	29
Bünye Renk Değerleri				
L	72,4	72,1	72,3	71,93
a	0,21	0,35	0,26	0,21
b	9,38	9,26	9,31	9,67

Geliştirilen vitrifiye bünyelerin deformasyon değerleri incelendiğinde; sodyum feldispat yerine yerel alkali kaynağının kullanıldığı VA100 ve VA50 kodlu bünyelerin standart bünyeye göre çok daha düşük deformasyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu bünyeler standart reçete ile karşılaştırıldığında alkali oranlarında Na_2O oranının önemli ölçüde azaldığı ve K_2O oranının da yükseldiği görülmektedir (Tablo 2). Yerel alkali kaynağında K_2O ve Na_2O olması bünye deformasyon değerini azaltmıştır. Seramik bünyelerinin sinterlenme özelliklerini belirleyen en etkin parametre amorf faz miktarından çok amorf fazın viskozitesidir. K-feldispat içeren

kompozisyonlarda camsı fazın viskozitesi Na-feldispat içeren kompozisyonlara göre çok daha yüksektir. Bu nedenle porselen bünyelerde K-feldispat sinterleme sırasındaki deformasyonun azaltılması açısından Na-feldispata göre büyük avantaj sağlamaktadır (Swapan ve Kausik, 2003, Tarhan 2010). Bu nedenle yapılan çalışmada geliştirilen bünyelerin deformasyon değerlerinin standart bünyeye göre daha düşük elde edilmesi Na_2O oranının azalması ve K_2O oranının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Bunun yanı sıra VA100 ve VA50 kodlu bünyelerde sinterlenmenin standart reçeteye göre daha az olmasının da deformasyonun düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

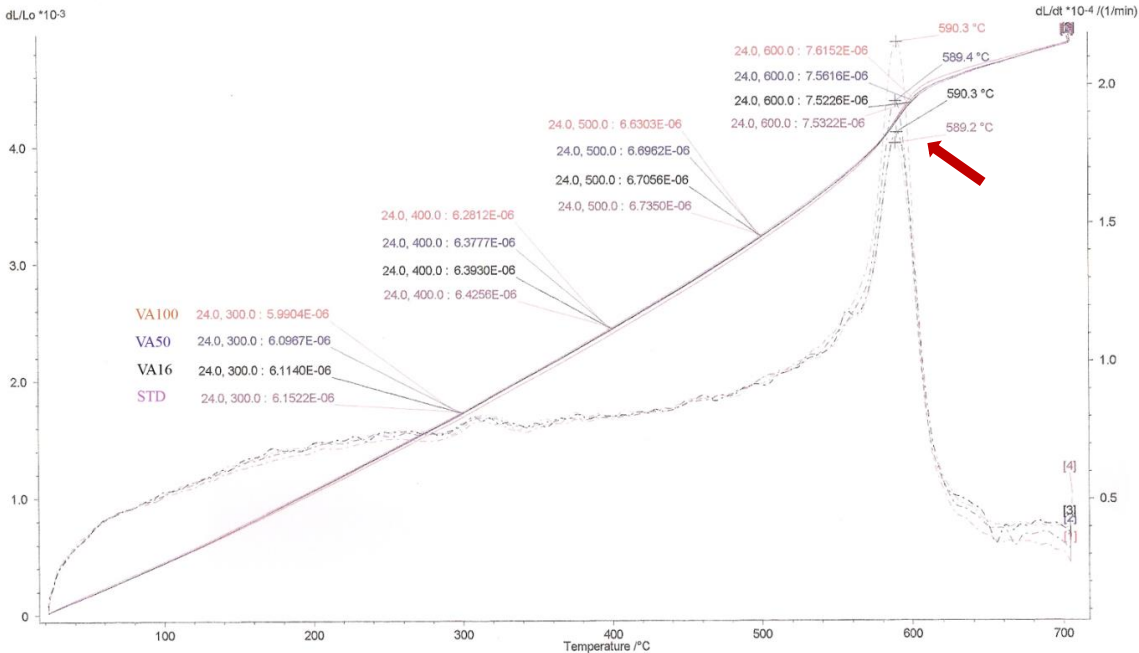
Toplam alkali oranının standart bünye ile aynı olduğu ve standart bünye ile benzer sinterleme davranış özellikleri sergileyen VA16 kodlu bünyenin ise deformasyon değeri standart bünyeye göre daha düşük olmakla birlikte VA100 ve VA50 kodlu bünyeler kadar büyük bir düşüş göstermemektedir. Bu da bünyelerin deformasyon değerlerinde Na_2O ve K_2O oranlarının yanı sıra bünyenin sinterlenme derecesinin de önemli olduğunu göstermektedir.

Bünyelerde sodyum feldispat yerine yerel alkali kaynağı kullanımının bünye renk değerleri üzerine herhangi bir etkisi olmamıştır (Tablo 4).

Isıl Özellikler

Standart vitrifiye bünye ile yerel alkali kaynağı kullanılarak geliştirilen bünyelere ait dilatometre grafikleri ve farklı sıcaklıklardaki ısıl genişleme değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Seramik sağlık gereçleri üretiminde yapılan standart kontrollerde bünye ve sırlar için 400°C deki ısıl genişleme katsayısı değeri kullanılmaktadır.

Analiz sonuçları bu sıcaklık değerine göre değerlendirildiğinde geliştirilen reçetelerde sodyum feldispat yerine yerel alkali kullanımı ile birlikte bünyelerin ısıl genişleme katsayısı değerinin düştüğü belirlenmiştir. Bünyelerde yerel alkali kaynağı oranı arttıkça ısıl genişleme katsayısı değeri ($20-400^\circ\text{C}$) düşmektedir. Seramik bünyelerin ısıl genişleme katsayısı yapıda bulunan kristal cinsine ve miktarına bağlı olmakla birlikte amorf fazın kompozisyonu ile de direkt ilişkilidir. Amorf fazdaki ısıl genişleme katsayısını yükselten en önemli oksit Na_2O ’dur. Camsı faz içindeki sodyum oksit oranının düşmesi ısıl genişleme katsayısını düşürmektedir (Eppler ve Eppler, 2000). Yerel alkali kaynağının albit yerine kompozisyonlara girilmesiyle toplam sodyum oksit miktarı düşmektedir. Bu da ısıl genişleme katsayısını düşürmektedir. VA100 reçetesi en düşük alkali miktarına ve Na_2O miktarına sahiptir. Toplam alkali miktarının artırıldığı (Na_2O ve K_2O) VA16 kompozisyonunda ısıl genişleme katsayısı hemen standart bünye ile aynıdır.



Şekil 2. Vitrifiye bünyelerin ısıl genişleme katsayılarını gösteren dilatometre analiz grafikleri

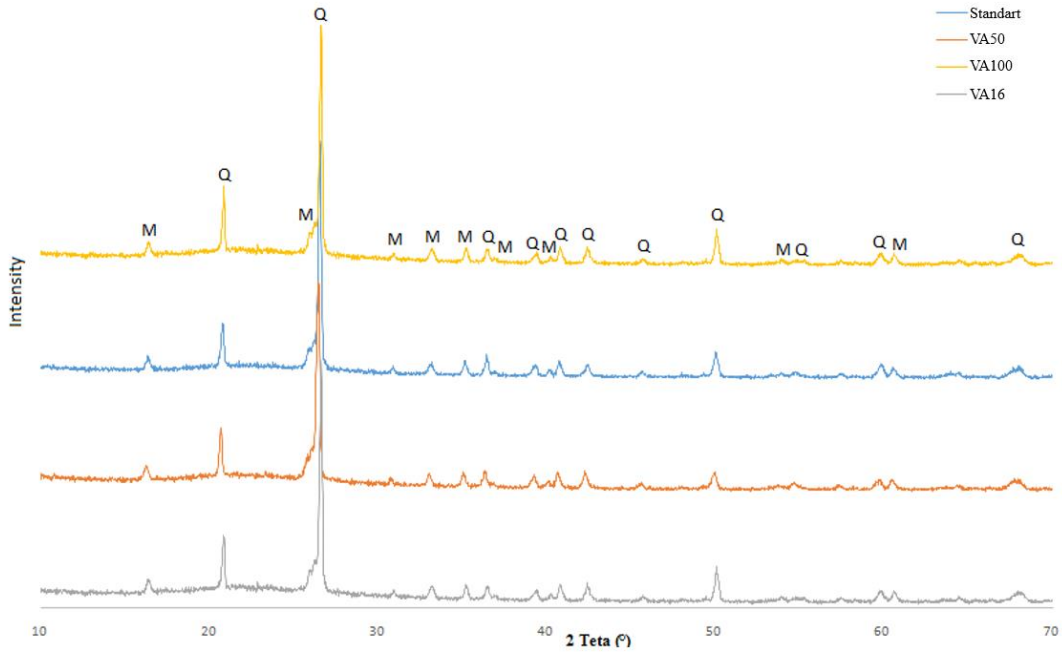
Seramik bünyelerde ısıl genişleme katsayısı sinterleme süreci sonrasında bünye üzerinde en büyük etkisi olan kristallerden biri mikroyapılarında ergimeden kalan kalıntı

kuvarstır. Bünyelerde kalıntı kuvarsın artmasıyla birlikte bünyelerin ısıl genleşme katsayısı da artmaktadır. Çünkü kristal yapıdaki kuvarsın ısıl genleşme katsayısı amorf yapıdaki kuvarstan oldukça yüksektir. Bundan dolayı seramik bünyelerde kullanılan hammaddelerin ihtiva ettiği kuvars miktarı çok büyük önem taşımaktadır (Kingery vd., 1976, Eppler ve Eppler, 2000). Geliştirilen bünyeler bu açıdan değerlendirildiğinde; ısıl genleşme katsayısı değerlerinin yerel alkali kaynağı kullanımı ile birlikte artması beklenir. Çünkü yerel alkali kaynağını sodyum feldispata göre daha yüksek oranda kuvars içermektedir. Ancak amorf faz yapısındaki alkali oksit miktarının ve özellikle Na_2O oranının azalmasının 400°C deki ısıl genleşme katsayısı üzerinde daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Bünyelerin 600°C deki ısıl genleşme katsayısı değerleri incelendiğinde ise bünyelerde yerel alkali kaynağı kullanılmasıyla ısıl genleşme katsayısı değerinin arttığı görülmektedir. Seramik bünyelerde 573°C de α -kuvarsın β -kuvarsa olan dönüşümü gerçekleşir. Bu sıcaklıktaki ısıl genleşme katsayısı değerinde bünyede bulunan kalıntı kuvars etkilidir (Kingery vd., 1976). Şekil 1 üzerinde kırmızı ok ile gösterilen alanda geliştirilen bünyelerin yerel alkali kaynağı kullanımı ile yapılarında daha fazla kalıntı kuvars içerdiğini göstermektedir.

XRD Analizi

Vitrifiye seramik bünye kompozisyonlarında kil, kaolen, sodyum feldispat ve kuvars gibi

hammadeler kullanılmaktadır. Standart vitrifiye bünye ile geliştirilen bünyelere ait XRD grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Pişirilmiş ürünlere yapılan X-ışınları difraktometresi analizlerine göre bütün kompozisyonlarda ana faz olarak kuvars ve müllit fazları vardır. Analiz sonuçlarına göre bünyelerin hepsinde önemli miktarda kalıntı kuvars görülmektedir. Bünyelerde yerel alkali kaynağının artmasıyla birlikte kuvars fazında belirgin bir artış görülmüştür. Özellikle yerel alkali kaynağının en yüksek olduğu VA100 bünyesinin standartla kıyaslamalı XRD si incelendiğinde kuvars fazının pik şiddetindeki artış net olarak görülmektedir. Bünyelerde kullanılan sodyum feldispat ve yerel alkali kaynağının kimyasal ve XRD analizlerine (Tablo 1 – Şekil 1) göre yerel alkali kaynağı sodyum feldispata göre daha yüksek oranda kuvars fazı içermektedir. Bu nedenle yerel alkali kaynağının kullanıldığı bünyelerde sinterleme sonrasında bünyede bulunan kuvars fazının standart bünyeye göre daha fazla olduğu söylenilebilir. Müllit fazı pişirim sürecinde bünyelerin başlangıç kompozisyonunda bulunan kil ve kaolen minerallerinden gelişmektedir. Öncelikle birincil müllit kristalleri iyi kristallenmiş kaolinden müllit çekirdeklerinin birikmesiyle oluşur. 1200°C ’nin üzerinde ikincil müllit kristalleri kalan düzensiz kaolinitten oluşarak eriyik içinde çözünüp tekrar prizmatik kristaller olarak büyür (Reed 1995, Villegas-Palacio ve Dinger, 1996, Carty ve Senapati, 1998).

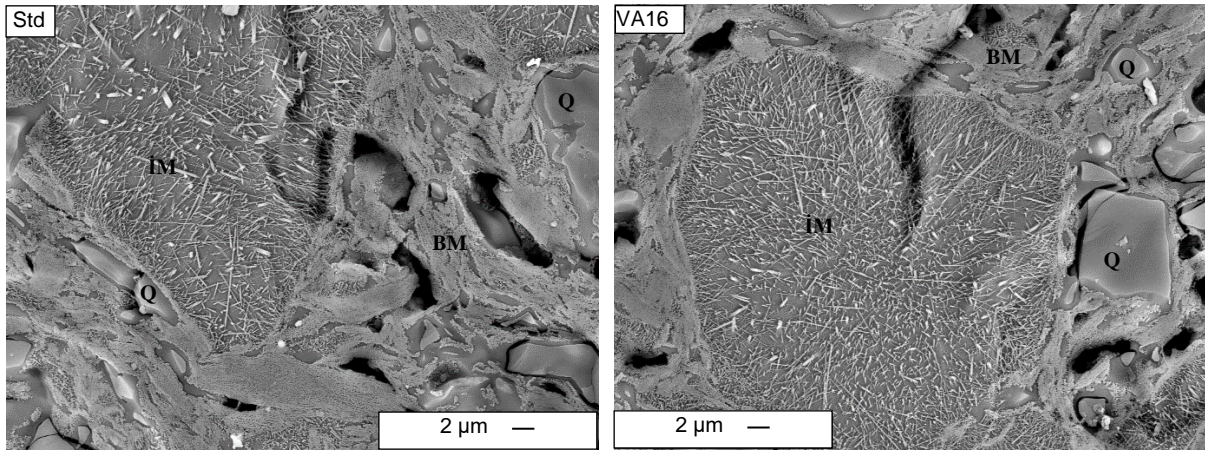


Şekil 3. Vitrikiye bünyelere ait XRD analizleri (Q: Kuvars, M: Müllit)

Mikroyapı Analizi

Standart vitrikiye bünye ile teknik özellikleri standart bünyeye en yakın olan VA16 kodlu bünyenin dağlanmış kırık yüzeylerinden elde edilen ikincil elektron görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Standart bünye ve VA16 kodlu bünyenin mikroyapılarının birbirine benzer şekilde ince taneli birincil ve ikinci iğnesel müllit

kristalleri, düzensiz şekilli kalıntı kuvars kristalleri, camsı faz ve porları içerdiği görülmektedir. Kuvars kalıntı bir faz olarak bünye mikroyapılarında bulunurken, eş eksenli birincil ve iğnesel müllit kristalleri sinterleme sürecinde bünye kompozisyonlarında bulunan kil ve kaolen minerallerinden gelişir (Carty ve Senapati, 1998).



Şekil 4. Standart ve VA16 vitrikiye bünyelerine ait SEM görüntüleri (Q: Kuvars, BM: Birincil müllit, İM: ikincil müllit)

Genel Sonuçlar

Bu çalışmada seramik sağlık gereçleri bünyelerinde standart olarak kullanılmakta olan sodyum feldispat yerine Çan/Çanakkale bölgesi yerel alkali kaynağının kullanılabilirliği ve vitrifiye bünyenin ısı ve mikroyapı özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Vitrifiye bünyelerinde sodyum feldispat yerine yerel alkali kaynağının kullanılması bünyelerdeki toplam alkali oranını düşürdüğü için genel olarak bünyelerin sinterlenmesini zorlaştırmaktadır. Buna paralel olarak bünyelerin su emme değerinde artış gözlenmiştir. Bunun yanı sıra bünyeye yapılan yerel alkali kaynağı ilavesi bünye kompozisyonunda K₂O artışına neden olarak vitrifiye ürünlerin üretimi için önemli bir parametre olan bünye deformasyon değerini düşürmektedir.

Sırlı olarak üretilen seramik sağlık gereçleri ürünlerinin fırın çıkışı yüzey ve deformasyon özellikleri bünye ve sırnın ısı genleşme değerleri ile kontrol edilmektedir. Geliştirilen bünyelerde yerel alkali kaynağının artmasıyla bünye ısı değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu da ürünlerde çatlak ve deformasyon riskini azaltacaktır.

Yapılan çalışmada, vitrifiye bünyelerde yerel alkali kaynağının kullanılması ve bünye kompozisyonunda yapılacak optimizasyonla, standart bünye özelliklerine ve işletme standartlarına uygun teknik özelliklerde, üretilebilir seramik sağlık gereçleri bünyesi geliştirilmiştir. Tüm bu ısı ve mikroyapısal özellikler göz önünde bulundurulduğunda seramik sağlık gereçleri bünyelerinde sodyum feldispat oranının azaltılarak yerel alkali kaynağı kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Becker, C. R., Carty, W.M. ve Schillinger, E., (1999). The effect of sodium/potassium ratio on melting

- in triaxial porcelains, *Ceramic Engineering Science Proceedings*, 20 [2].
- Carty, W.M. ve Senapati, U. (1998), Porcelain-raw materials, processing, phase evolution, and mechanical behaviour, *Journal of American Ceramic Society*, 81(1), 3-20.
- Das, S.,Kr. ve Dana, K. (2003), Differences in densification behaviour of K- and Na-feldspar containing porcelain bodies, *Thermochimica Acta*, 406,199-206.
- Dondi M., (2018). Feldspathic Fluxes for Ceramics: Sources, Production Trends and Technological Value, Resources, *Conservation & Recycling*, 133 191–205.
- Eppler, R. A. ve Eppler, D. R. (2000), Glazes and glass coatings, *The American Ceramic Society*, Westerville, Ohio.
- Gil, C., Peiro, M.C., Gomez, J.J., Chiva, L., Cersueleo, E. ve Carda, J.B. (2006), Study of porosity in porcelain tile bodies, *Qualicer 2006*, Castellon, Spain, Pos 43-48.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R. (1976), Introduction to Ceramics, John Wiley & Sons., Inc., Canada.
- Kunduraci, N., Aydın, T. ve Akbay, A., (2016). The Effect of Nepheline Syenite Addition on the Sintering Behaviour of Sanitaryware Bodies, *Journal of The Australian Ceramic Society*, Volume 52 [2], 82 – 86.
- Kunduraci, N. ve Aydın, T., (2015). The Effect of Nepheline Syenite Addition on Sanitaryware Body, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.7, No.2.
- Leonelli, C., Bondioli, F., Veronesi, P., Romagnoli, M., Manfredini, T., Pellacani, G.C. ve Cannillo, V. (2001), Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: as a microstructural approach, *Journal of European Ceramic Society*, 21, 785-793.
- Mecs-Acimac research department, (2016). *World Sanitaryware Production and Exports Tile International*, (1) 68-75.
- Porte, F., Brydson, R., Rand, B. ve Riley, F.L., (2004). Creep viscosity of vitreous China, *Journal of American Ceramic Society*. doi:10.1111/j.1551-2916.2004.00923.x.
- Reed, J. S. (1995), Principles of Ceramics Processing, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sanchez, E., Orts, M.J., Garcia-Ten, K. ve Cantavella, V., (2001). Porcelain tile composition effect on phase formation and end product, *American Ceramic Society Bulletin*, 80 (6), 43-49.

- Sivaldo, L.C., Hotza, D. ve Segadaes, A.M. (2008), Predicting porosity content in triaxial porcelain bodies as a function of raw materials contents, *Journal of Material Science*, 43, 696-701.
- Stathis, G., Ekonomakou, A., Stournaras, C.J. ve Ftikosa, C. (2004), Effect of firing conditions, filler grain size and quartz content on bending strength and physical properties of sanitaryware porcelain, *Journal of European Ceramic Society*, 24, 2357-2366
- Swapan, D. ve Kausik, D., (2003). Differences in densification behaviour of K and Na-feldspar-containing porcelain bodies, *Thermochimica Acta*, 406 (1-2), 199.
- Tarhan, M., (2010). Porselen Karo Bünyelerinde Sinterleme Hızı-Kompozisyon İlişkileri, *Doktora tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tarhan, B., Tarhan, M. ve Aydın, T., (2017). Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production, *Ceramic International*, 43 doi:10.1016/j.ceramint.2016.11.123
- Tarhan, B.,(2019). Usage of fired wall tile wastes into fireclay sanitaryware products *J Aust Ceram Soc* <https://doi.org/10.1007/s41779-018-0285-1>
- Tuna A., Nazım K., Atamer A. (2018) The Effect of Nepheline Syenite Addition on Pyroplastic Deformation of Sanitarywares, *Science of Sintering*, 50 (2018) 85-94, : <https://doi.org/10.2298/SOS1801085A>
- Tuna A.,(2018) Investigation of The Effects of Blast Furnace Slag on Ceramic Sanitaryware Bodies *International Journal of Engineering Research and Development*, <https://doi.org/10.29137/umagd.416913>
- Tunçel, D.Y. ve Özel, E., (2012). Evaluation of pyroplastic deformation in sanitaryware porcelain bodies, *Ceramic International*, 38 doi:10.1016/j.ceramint.2011.09.019.
- Villegas-Palacio, S. ve Dinger, D.R. (1996), PSD effects on firing properties of porcelains I-II, *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 75, n. 7, 71-83.
- Viola, C., ve Kovic, B.T., (1994). Vitrified stoneware or porcelain? Development and improvements in the ceramic technology of the high sintering floor tiles, *Fine porcelain stoneware tiles technology, production, marketing*,
-
- Kafalı, M.A. (2005), Sektörel Araştırmalar-Seramik Sağlık Gereçleri. http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/ESA/SA/2005-SA/SA-05-08-25_Seramik_Saglik_Gerecleri_Sektoru.pdf

The effect of alkaline source of Canakkale region on thermal and microstructural properties of ceramic sanitaryware body

Extended abstract

Sanitaryware products, some of which are toilets, washbasins, pedestals, bidet, urinals, Sinks and bath tubs. are made up of ceramic ware that used in bathrooms and kitchens. Most of the raw materials used in the production of ceramic sanitary wares are supplied from European countries, thus increasing the costs of ceramic sanitary ware production. It is important to use local raw material resources in production, to reduce the costs and to bring local resources into the economy.

Feldspar group raw materials (sodium feldspars) with high alkaline content are mostly used. in ceramic sanitary ware products. These alkaline sources are generally supplied from Çine/Aydın region in Turkey. In this study, the possibilities of using alkaline sources of Çan/Çanakkale region were investigated instead of sodium feldspar sources used in Kaleseramik ceramic sanitaryware factory. The effects of the local alkaline source used as an alternative to sodium feldspar, especially on the thermal properties and microstructure of the sanitary ware body were examined.

All technical characteristics of the sanitaryware body compositions developed by the use of the local alkaline source were analyzed (% water absorption, firing shrinkage, deformation value). The thermal expansion coefficient value of the bodies was determined by the dilatometer. The phases analysis of the fired bodies were analyzed by using XRD and the microstructure developments were examined by scanning screen electron microscope (SEM).

The use of local alkaline source instead of sodium feldspar in vitrified bodies decreases the total alkaline content and makes the sintering of the bodies more difficult. Therefore, the water absorption value of the bodies increased. Besides, the addition of the local alkaline source to the body causes the K_2O increase in the body composition and decreases the deformation value, which is an important parameter for the production of vitrified products.

The surface and deformation properties of the glazed sanitaryware products are controlled with the

thermal expansion values of the body and the glaze. It has been determined that the thermal expansion coefficient value of the body decreased when the amount of local alkaline source increased. This will reduce the risk of cracks and deformation in the products.

In the study, the use of local alkaline source in vitrified bodies and the optimization of the composition of the body, the technical characteristics of the standard structure and operating standards have been developed. Considering all these thermal and microstructural properties, it was concluded that the use of local alkaline source is appropriate by decreasing sodium feldspar ratio in ceramic sanitaryware.

Keywords: *Sanitaryware, vitreous china, local alkaline source, sodium feldspar*



Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları

Mehmet Fırat BARAN*

1.Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler bölümü
mfiratbaran@gmail.com Orcid: 0000-0001-8133-6670 Tel:05443204421

Abdurrahman SAYDUT

2.Dicle Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Maden Müh.Bölümü
saydut@dicle.edu.tr.Orcid: 0000-0002-6112-9209 Tel:05327727563

Adil UMAZ*

3.Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler bölümü
adilumaz@gmail.com. Orcid: 0000-0003-2438-5454 Tel:05464922930

Geliş: 29.01.2019, Kabul Tarihi: 15.02.2019

Öz

Çevre dostu sentez yöntemlerinin her geçen gün daha etkin olması ve nanopartiküllerin (NP'lerin) kullanım alanlarının yaygınlığı bu yöntemlere olan ilginin oldukça artmasına neden olmaktadır. Biz atık durumunda ki zeytin yapraklarından elde ettiğimiz özüt ile gümüş nano partikülleri (AgNP'leri) basit, ucuz ve çevre dostu bir yöntemle sentezledik. Bu partiküllerin Ultraviyole ve Görünür Işık Absorpsiyon Spektroskopisi (UV-Vis.), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), X-Işınları Kırınım Cihazı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu- Enerji Yayılımlı X-ışını (SEM-EDX) ve Termo Gravimetrik (TGA-DTA) analizleri kullanılarak karakterizasyon işlemi yapılmıştır. Antibiyotik dirençliliği günümüz dünyasının ciddi sorunlarından biri bu sebeple elde edilen partiküllerin patojen gram pozitif *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, gram negatif *Escherichia coli* ATCC 25922 suşları ve *Candida albicans* mayası üzerinde etkili bir anti-mikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. AgNP'lerin MİK (Minimum İnhibisyon Konsantrasyon) değerleri sırası 0.112, 0.028, ve 0.007 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevre Dostu, Gümüş nanopartikül, SEM-EDX, XRD, TGA-DTA

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Nano partiküller geniş yüzey alanları ve iyi bir iletkenlik özelliği gösterirler (Sreekanth vd., 2016). Nanopartiküller biomedikal, farmakoloji, bioremidasyon, gıda, kozmetik, tarımsal uygulamalar gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılırlar (El-Batal vd., 2018), (Umamaheswari vd., 2018). Kimyasal fiziksel ve biyolojik yöntemler gibi çeşitli yöntemler ile sentezlenirler. Ancak çevre dostu ve kolay olması gibi avantajlarından dolayı biyolojik yöntemler daha fazla tercih ediliyor (Swamy vd., 2015), (Singh vd., 2017). Biyolojik yöntemler ile sentezde bakteri, alg, fungus ve bitkisel kaynaklar kullanılmaktadır (Owaid vd., 2015).

Biz bu bilgiler ışığında mardin derik bölgesine ait yeşil zeytin yapraklarından elde ettiğimiz özüt ile AgNP'leri çevre dostu, basit ve ucuz bir yöntemle sentezledik. Elde ettiğimiz bu partiküllerin anti-mikrobiyal aktivitesini inceledik.

Materyal ve Yöntem

Mardin bölgesine ait zeytin yaprakları toplandı. Musluk suyu ve ardından distile su ile yıkama işlemi yapıldı. Oda ısısında kurutuldu. Özüt için partikül boyutu küçültüldü. 20 gr yaprak 500 ml distile su ile karıştırıldı ve kaynatıldı. Oda ısısında soğutuldu ardından süzme işlemine tabi tutuldu. 1 mM AgNO₃ (gümüş nitrat) çözeltisi hazırlandı. 1:3 oranında gümüş nitrat çözeltisi ve özüt karıştırıldı oda koşullarında herhangi bir fiziksel etkiye maruz



Şekil 1. Yeşil Zeytin yaprağının görüntüsü

kalmadan renk değişimi incelendi. Buna bağlı olarak nanopartiküllerin oluşumu ve varlığını izlemek için Agilent Cary 60 model UV- Vis. Spektrofotometre belirli aralıklarla ölçümler alındı. Aynı zamandan indirgemede rol oynayan fonksiyonel grupları değerlendirmek için Agilent Cary 360 model cihazı kullanılarak FTIR analizi yapıldı. Karakterizasyon işlemlerinin devamı için sulu örnek 9000 rpm de 20 dk santrifüj edildi. Alta meydana gelen çökelti bir seri distile su ile yıkama işleminin ardından 70 0C de kurutuldu. Bu numuneden SEM-EDX ve XRD analizleri incelendi. Bu nanopartiküllerin bozunma sıcaklıklarını değerlendirmek için Shimadzu DTG-60 H marka model cihaz ile AgNP'lerin 30-900 °C de TGA ve DTA verileri 10 °C dak⁻¹ ısıtma hızıyla N₂ (g) atmosferinde 20 mL dak⁻¹ akış hızı ile analiz edildi.

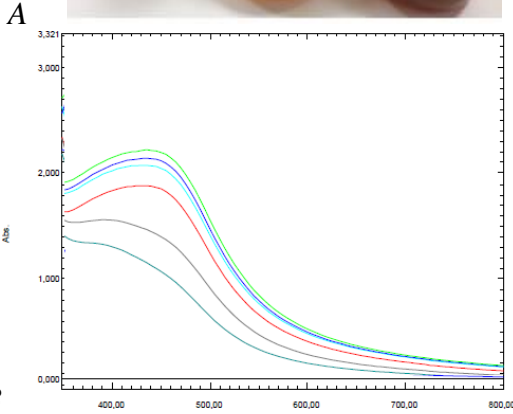
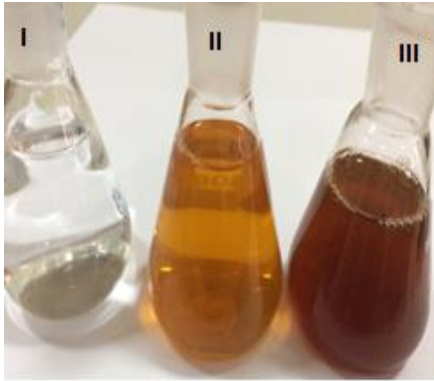
Bu partiküllerin antimikrobiyal etkisi MİK (Minimum İnhibisyon Konsantrasyon) Mikro dilusyon yöntemi ile incelendi. Mikro plaklara müller Hilton besiyeri ve AgNP'ler içeren konsantrasyonu belirlenmiş çözeltiden eklendi. Üzerine Mac Farland standardına göre bulanıklığı 0.5 ayarlanmış bakteri (S.aureus ATCC 29213 ve E.coli ATCC 25922) ve maya (C. albicans) çözeltilerinden konuldu. Karşılaştırma ve kontrol için ticari antibiyotikler olan Vankomisin, Colistin ve flukanazol ve 1 mM AgNO₃ çözeltisi kullanıldı.

Bulgular ve Tartışma

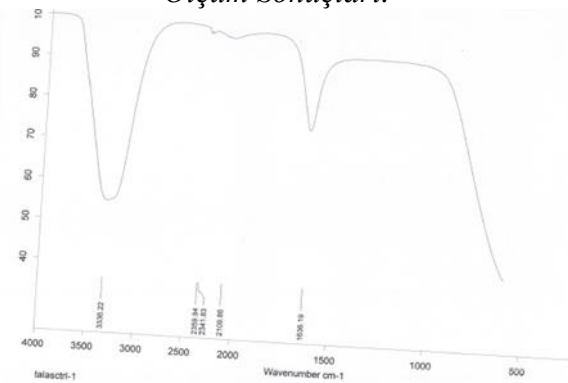
Karakterizasyon Verilerinin İncelemesi

1:3 oranında karıştırılan yaprak özütü ve 1 mM AgNO₃ çözeltisinin 5-30 dakika arasında yapılan gözlemlerde plazma yüzeyindeki titreşimlerden kaynaklı AgNP'lerin oluştuğu ve buna bağlı olarak periyodik UV-Vis. ölçümlerinde AgNP'lerin oluşumu gösteren ve 468 nm maksimum absorbanansa sahip pikler incelenmiştir (Şekil 2). Bazı araştırmacılar benzer bulguları değerlendirmişlerdir (Kumar vd., 2017), (Saravanakumar vd., 2018).

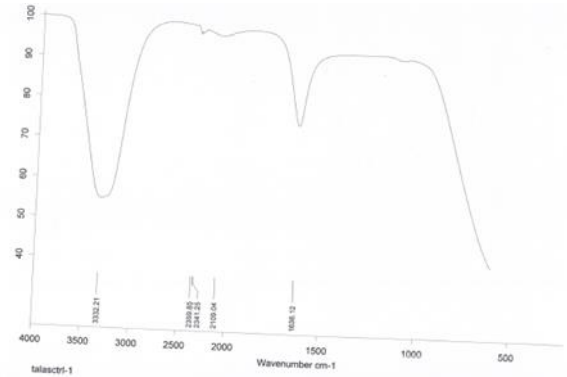
FTIR sonucunda görüldüğü gibi bitki özütü ve AgNP'lerin sonucu karşılaştırıldığında bağlanmanın 3336 cm^{-1} pikin serbest sudan, alkol ve fenol gruplarına bağlı-OH, 1635-1634 cm^{-1} , 2109 cm^{-1} C≡C alkin veya C-N grubuna ait olabileceği ve 1636 cm^{-1} 'deki pikin ise I amid bandına ait olduğu düşünülmektedir (Şekil 2).



B
Şekil 2. A.I. 1 mM AgNO₃ çözeltisi, II. Yaprak özütü, III. Sentez sonucu renk değişimi. B. UV-Vis. Spektrofotometre Ölçüm Sonuçları.

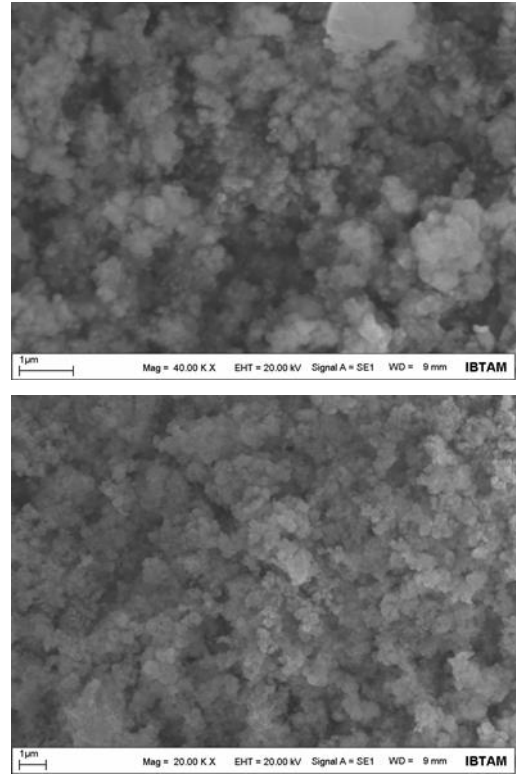


Şekil 3. a. FTIR analizi ile sentez öncesi indirgemede katılan fonksiyonel grupların değerlendirilmesi.



Şekil 3. b. FTIR analizi ile sentez sonrası indirgemede katılan fonksiyonel grupların değerlendirilmesi.

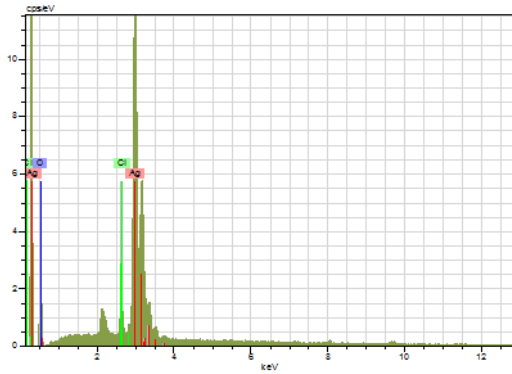
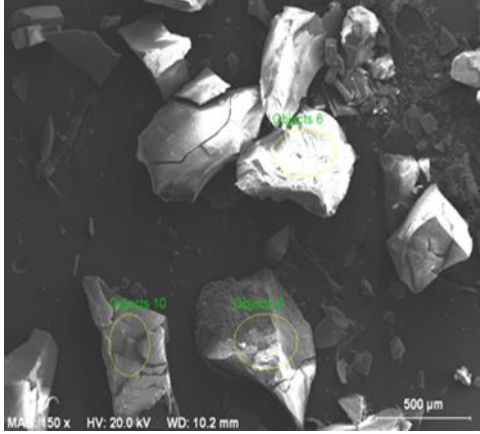
SEM sonuçları bize AgNP'lerin küresel görünümlü olduğunu göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. SEM görüntüleri ile AgNP'lerin morfolojik yapıları.

EDX analiz verileri ise bize elde edilen AgNP'lerin gümüşe ait element kompozisyonunu vermektedir (Şekil 5). Gümüşe ait mevcut pikler bize elde ettiğimiz malzemenin büyük oranda gümüş içerikte olduğunu göstermektedir. Benzer çalışmalarda EDX verileri bu durumu

desteklemektedir (Ali vd., 2015), (Dubey vd., 2010)

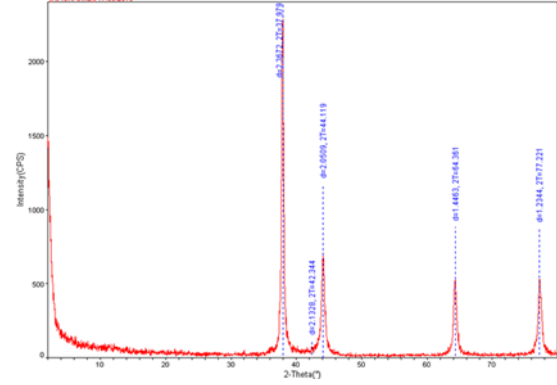


Şekil 5. Bitkisel kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin EDAX ile element kompozisyonu.

XRD sonuçlarında (111), (200), (220) ve (311) de bulunan piklerin 2θ da sırası ile 37.97, 44.11, 64.36, ve 77.22 değerleri ile gümüşe ait olduğu görülmüştür (Şekil 5). Benzer çalışmalar bu piklerin gümüşe ait olduğu değerlendirilmiştir (Swamy vd., 2015), (Yasin vd., 2013). Bu bilgiler ışığında Debye-Scherrer eşitliği kullanılarak elde edilen AgNP'lerin kristal partikül boyutu hesaplanmış ve 23.73 nm olarak bulunmuştur.

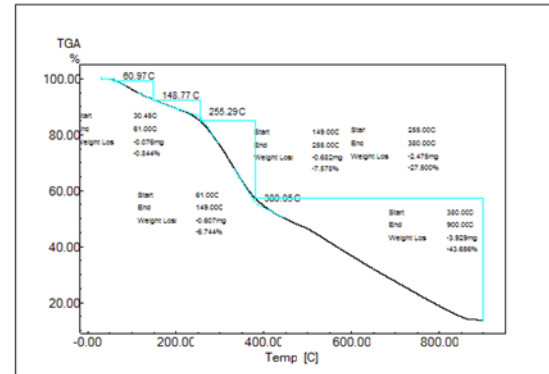
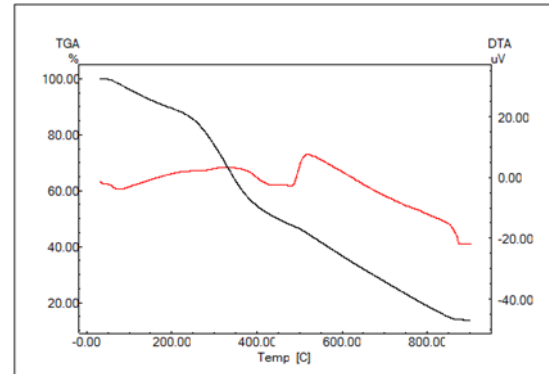
$$D = K\lambda / (\beta \cos\theta)$$

Benzer çalışmada bu eşitlik kullanılarak kristal partikül boyutu 18 nm olarak bulunmuştur (Vastrad, 2016).



Şekil 6. XRD analiz verileri

TGA eğrisi, sıcaklığın karşısında AgNP'ler kütle kaybını belirtir ve DTA eğrisinde de bozunmanın her kademesinde en yüksek ayrışma sıcaklığını belirtir (Şekil 7) (Baran M vd., 2018).



Şekil 7. TGA-DTA Analiz Sonucu Verileri

30-60 °C de kütle kaybının nemden kaynaklandığını, 60-148 °C de ki kütle kaybının hidratlaşmış sudan kaynaklandığını, 148-300 °C yeşil zeytin bitki özütünden gelen fitokimyasallardan meydana geldiğini ve 300-900 °C de ise organik yapının bozulduğunu şekil 5. de ki verilerde görülmektedir.

AgNP'lerin Anti-mikrobiyal Etkilerinin İncelenmesi

Elde edilen AgNP'lerin patojen gram pozitif *S. aureus* ATCC 29213, gram negatif *E. coli* ATCC 25922 suşları ve *C. albicans* mayası üzerinde ticari antibiyotikler ve sentez aşamasında kullanılan gümüş nitrat çözeltisi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunlara nazaran daha düşük konsantrasyonlarda etkili bir anti-mikrobiyal aktivite gösterdiği görülmüştür (Tablo 1). Yapılan benzer bir çalışmada *S. aureus* için $0.03 \cdot \text{g mL}^{-1}$, 0.013g mL^{-1} MİK değerleri olarak bulunmuştur (Ahmed vd., 2018).

Tablo 1. Sentezlenmiş gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) (mg mL^{-1}), gümüş nitrat çözeltisi ve vankomisin, flukonazol, colistin antibiyotiklerinin *S.aures*, *S. Albicans* ve *E. coli* mikroorganizmaları üzerinde ki MIC değerleri.

Organizma	AgNP ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Antibiyotik ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Gümüş Nitrat ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
-----------	-----------------------------------	--	--

<i>S. Aureus</i> (ATCC29213)	0,1125	0,5	0,5
<i>E. coli</i> ATCC25922	0,0281	0,125	1
<i>C. albicans</i>	0,0281	0,125	1

Sonuç ve Öneriler

Çevre dostu, ucuz ve kolay bir yöntemle başarılı bir şekilde AgNP'ler sentezlenmiştir. Elde Edilen bu partiküllerin 468 nm maksimum absorbansa sahip, 23.73 nm kristal boyuta sahip ve küresel görünümde olduğu tespit edilmiştir. Bu nano partiküllerin güçlü bir anti-mikrobiyal aktivite gösterdiği incelenmiş olup, anti mikrobiyal ajan arayışına geliştirilerek büyük katkı sağlayabilir. Aynı zamanda AgNP'lerin geniş kullanım yelpazesi düşünüldüğünde kozmetik, gıda endüstrisi, kataliz çalışmaları, bioremidasyon gibi birçok alanda bu ürünler kullanılabilir.

Kaynaklar

- Ahmed, S.W., Anwar, H., Shama, Siddiqui, A., Shah, M.R., Ahmed, A., Ali, S.A., 2018. Synthesis and chemosensing of nitrofurazone using olive oil based silver nanoparticles (O-AgNPs). *Sensors Actuators, B Chem.*
- Ali, K., Ahmed, B., Dwivedi, S., Saquib, Q., Al-Khedhairi, A.A., Musarrat, J., 2015. Microwave accelerated green synthesis of stable silver nanoparticles with Eucalyptus globulus leaf extract and their antibacterial and antibiofilm activity on clinical isolates. *PLoS One* 10, 1–20.
- Baran M, F., Duz M, Z., Uzan, S., Dolak, brahim, Celik K, S., Kilinc, E., 2018. Removal of Hg(II) from Aqueous Solution by *Bacillus subtilis* ATCC 6051 (B1). *J. Bioprocess. Biotech.* 08, 1–7.
- Dubey, S.P., Lahtinen, M., Sillanpaa, M., 2010. Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of *Rosa rugosa*. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 364, 34–41.
- El-Batal, A.I., Al-Hazmi, N.E., Mosallam, F.M., El-Sayyad, G.S., 2018. Biogenic synthesis of copper nanoparticles by natural polysaccharides and *Pleurotus ostreatus* fermented fenugreek using gamma rays with antioxidant and antimicrobial potential towards some wound pathogens. *Microb. Pathog.* 118, 159–169.
- Kumar, V., Singh, D.K., Mohan, S., Gundampati, R.K., Hasan, S.H., 2017. Photoinduced green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Physalis angulata* and its antibacterial and antioxidant activity. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 744–756.
- Owaid, M.N., Raman, J., Lakshmanan, H., Al-Saedi, S.S.S., Sabaratnam, V., Ali Abed, I., 2015. Mycosynthesis of silver nanoparticles by *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* and its inhibitory effects against *Candida* sp. *Mater. Lett.* 153, 186–190.
- Saravanakumar, K., Chelliah, R., Shanmugam, S., Varukattu, N.B., Oh, D.H., Kathiresan, K., Wang, M.H., 2018. Green synthesis and characterization of biologically active nanosilver from seed extract of *Gardenia jasminoides* Ellis. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*

- Singh, A.K., Tiwari, R., Kumar, V., Singh, P., Riyazat Khadim, S.K., Tiwari, A., Srivastava, V., Hasan, S.H., Asthana, R.K., 2017. Photo-induced biosynthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of *Dunaliella salina* and their anticancer potential. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 166, 202–211.
- Sreekanth, T.V.M., Jung, M.-J., Eom, I.-Y., 2016. Green synthesis of silver nanoparticles, decorated on graphene oxide nanosheets and their catalytic activity. *Appl. Surf. Sci.*
- Swamy, M.K., Akhtar, M.S., Mohanty, S.K., Sinniah, U.R., 2015. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 151, 939–944.
- Umamaheswari, C., Lakshmanan, A., Nagarajan, N.S., 2018. Green synthesis, characterization and catalytic degradation studies of gold nanoparticles against congo red and methyl orange. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 178, 33–39.
- Vastrad, J., 2016. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using Leaf Extract of *Tridax Procumbens* 7, 2–6.
- Yasin, S., Liu, L., Yao, J., 2013. Biosynthesis of Silver Nanoparticles by Bamboo Leaves Extract and Their Antimicrobial Activity. *J. Fiber Bioeng. Informatics* 1, 77–84.

Teşekkür

Mardin artuklu üniversitesi bilimsel araştırma projesi (BAP) birimine MAÜ.BAP.18.SHMYO.032 nolu projeye desteğinden dolayı teşekkür ederiz.

Silver nanomaterial synthesis and antimicrobial applications

Extended abstract

The increasing use of nanoparticles is increasing the importance of synthesis of these particles. There are different synthesis methods. Methods of synthesis with biological sources are advantageous against other methods. Ease of operation, cheapness and lack of toxic chemicals are the main reasons for this. In this study, we successfully synthesized silver nanoparticles (AgNPs) using green olive leaf extract from Mardin Derik region. UV-Vis for monitoring the formation and presence of AgNPs. Spectrophotometer. We have values with a maximum peak of 468 nm. This data shows us the formation of the AgNPs with the resonances that are caused by the vibrations on the plasma surface. In this case, FTIR analysis of the liquid medium was performed. The groups participating in the reduction were evaluated. The AgNPs in the liquid medium were then precipitated using an ultra centrifuge. After a series of washes, dried for further characterization data. In the data obtained by XRD analysis, values of 37.97, 44.11, 64.36, and 77.22, respectively, of the peaks found in (111), (200), (220) and (311) show the elemental silver. In the SEM results, AgNPs were examined globally. In the EDX results, the peaks of the silver element show us a high percentage of silver. In TGA-DTA analysis, the decay temperature values of AgNPs were investigated.

The anti-microbial effects of the obtained AgNPs were evaluated by MIC (Minimum Inhibition Concentration) method. In this study, the inhibitory effect on the pathogen gram positive *S. aureus* ATCC 29213, gram negative *E. coli* ATCC 25922 strains and *C. albicans* yeast are significant. The antimicrobial effect of silver nitrate solution used in antibiotic and synthesis stages was compared with the same method. Compared to these, the anti-microbial effect of AgNPs showed lower concentrations.

As a result, AgNPs have been successfully synthesized in a short time with an environmentally friendly, cheap and simple method. In today's world, many people lose their lives due to hospital pathogens, and it can shed light on the search for anti-microbial agents to break the resistance they gain for these pathogens. Considering the use of AgNPs in many other areas, it is an important issue to consider in such a cheap, easy and environmentally friendly way. It is also possible to improve the method by varying concentration, temperature, pH and physical properties. Another important problem in today's world is waste. Wastewater can be treated with such a cheap method. It may increase the retention times by delaying the degradation of foods.

Keywords: *Eco-friendly, Silver nanoparticle, SEM-EDX, XRD, TGA-DTA*



Diyarbakır il merkezi ve çevresinin depremselliği ve zemin özellikleri

M.Şefik İMAMOĞLU*

*Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Genel Jeoloji Anabilim Dalı – Diyarbakır
sefikimamoglu@gmail.com , imamoglu@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0003-0381-3587, Tel: (412) 241 10 00 (3576)

Geliş: 28.02.2017, Kabul Tarihi: 01.10.2018

Öz

Bu çalışmada Diyarbakır il merkezi ve çevresinin depremselliği ve zemin özelliklerinin incelenerek açığa kavuşturulması amaçlanmıştır. Diyarbakır kent merkezi ve yakın yöresi Arabistan Levhası üzerinde yer almaktadır. Afrika Plakası ve 10 milyon yıldan fazla bir süreden beri Kızıldeniz boyunca açılan iraksayan karakterdeki levha sınırı nedeniyle ondan ayrılan Arabistan Levhasının kuzeye doğru hareketi sonucu Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuzeyini sınırlayan bir zon boyunca, Arabistan ve Avrasya Plakaları çarpışmaktadır. Bu çarpışmayla ilişkili olarak bölgede ortaya çıkan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışma sonucu Diyarbakır'ın içinde bulunduğu alan ve yakın kuzeyinde doğu-batı eksenli kıvrımlar ve kuzeyden bindirmeli fayların etkin olduğu Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı gelişirken, daha kuzeyde ise makaslama kırıkları şeklinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Doğu Anadolu Fay Sistemi oluşmuştur. Günümüzde hareketliliği devam eden bu aktif faylar boyunca son birkaç yüz yıl içinde magnitüdü 7'yi aşan ve büyük can ve mal kayıplarına neden olan pek çok deprem meydana gelmiştir.

Bu depremlerin en yıkıcı olanları, 1513 Pazarcık depremi, 1822 Kahramanmaraş depremi, 1866 Karlıova depremi, 1866 Kulp depremi, 1872 Antakya depremi, 1874 Gezin depremi, 1875 Sivrice depremi, 1893 Çelikhan depremi, 1905 Pötürge depremi, 1971 Bingöl depremi, 1975 Lice Depremi, 1977 Palu depremi, Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleri, 2003 Bingöl depremi, 2005 Karlıova depremi ve 2010 Elazığ-Kovancılar depremleridir. Bunlardan yakın olanlar Diyarbakır ve yöresini ciddi bir biçimde etkilemiştir.

Diyarbakır il merkezi ve yakın yöresinde Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonuna ait kireçtaşları ve Lice Formasyonuna ait kilttaşları, Üst Pliyosen- Pleistosen yaşlı ikinci evreye ait Karacadağ Grubu bazaltları, Üst Pleistosen yaşlı 3. Evreye ait Ovabağ Grubu Bazaltları ve bu bazaltlar üzerinde meydana gelen jeoteknik açıdan kil karakterli toprak örtü, bazaltların üzerine aktığı akarsu ortamında meydana gelen kum ve çakıltaşı mercikleri içeren çamurtaşı-silttaşı ardalanması (Yeniköy Formasyonu), gevşek çimentolu çakıltaşı (Gölpınar Formasyonu) ve Kilttaşı silttaşı ardalanması (Gediktepe Formasyonu) gibi birimler değişik alanlarda yüzeylenmektedirler. Bunlardan taşıma gücü yüksek olduğu için deprem etkisini azaltma açısından en iyi olan birimler kireçtaşları ve bazaltlardır. Özelliklerinin yanal olarak sıkça değişmesinden dolayı bazaltların taşıma güçleri yersel olarak değişmektedir.

Diyarbakır il merkezinin içinde bu birimler üzerinde yapılan mikrotremör çalışmalarında genç alüvyonlar ve konsolide olmuş birimler 0.7- 0.8 frekans değerinde deprem dalgası büyütme etkisi gösterirken, şehrin batı yakasında ise, belirgin bir büyütme değeri göze çarpmamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır depremselliği, Diyarbakır zemin durumu, mikrotremör

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Diyarbakır il merkezi ve yakın yöresinin deprenselliğini belirtmeden önce bölgeye etkiyen ve deprenselliğin kaynağı olan fayları oluşturan ana kuvvetlerin ne olduğu ve etkime yönleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kuvvetler sonucu bölgede oluşan fayların, karakterleri ve deprem üretebilme potansiyelleri yorumlanarak, bölge deprenselliği içindeki etkileri belirtilmiştir (Mc Kenzie 1972, 1976; Şengör 1980, Nalbant vd 2002). Deprensellik kadar zemin yapısı da önemli olduğundan, inceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimler kısaca tanımlanmış ve bunlardan şehir merkezinde de yüzeyleyenler üzerinde yapılan mikrotremör çalışmaları ile deprem dalgası büyütme özelliği ortaya konulmuştur (İmamoğlu ve Kavak, 2007, 2008).

Bölgeye etkiyen kuvvetler ve oluşan fay sistemleri

Bölgenin üzerinde yer aldığı Arabistan Levhası 10 milyon yıldan fazla bir süreden beri Kızıldeniz boyunca açılan ıraksayan karakterdeki levha sınırı nedeniyle kuzeybatıya doğru yılda 20 mm.'ye varan bir hızla hareket etmektedir (Perinçek vd 1987; İmamoğlu ve Kavak 2008), (Şekil 1). Bu hareketin sonucu olarak, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuzeyini sınırlayan bir zon boyunca, Arabistan ve Avrasya Plakaları, Avrasya Plakasının kuzeyden Arabistan Plakasına bindirmesi şeklinde çarpışmıştır (Şengör 1980). Bu çarpışmaya bağlı olarak ortaya çıkan Kuzey-Güney doğrultulu sıkışma günümüzde halen aktif olup, 6-7 magnitüd değerinde depremler üretebilmektedir (Eyidoğan 1983, Özmen 1999, Akbaş 1999, İmamoğlu ve Çetin 2007).

Özetle, Diyarbakır kent merkezi ve yakın yöresine etkiyen kuvvetler Arabistan Plakasının

kuzeye doğru hareketi ve Avrasya Plakası ile çarpışması sonucu oluşan kuvvetlerdir (Şengör 1980, Şengör ve Yılmaz 1981, Taymaz vd.1991).

Burada ana kuvvet (basınç gerilmesi) kuzey güney doğrultulu kuvvettir. Buna dik yönde olan çekme gerilmesi ise, doğu batı doğrultusunda gelişmiştir. Makaslama fayları bu iki sistemin arasında, bunlarla yaklaşık 45 derecelik açılar yaparak yer alır. Bindirme fayları ve ters faylar basınç gerilmesine dik yönde gelişmiştir (Seymen ve Aydın 1972, Şaroğlu vd. 1987, 1992a,1992b, İmamoğlu 1996, 2006, İmamoğlu ve Çetin 2007),(Şekil 2). Levha hareketlerine bağlı olarak Diyarbakır ve çevresinde ortaya çıkan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bu sıkıştırmayla ilişkili olarak Diyarbakır'ın içinde bulunduğu alan ve kuzeyinde doğu batı eksenli kıvrımlar, kuzeyden bindirmeli fayların etkin olduğu Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı, Diyarbakır – Batman arası bölgede küçük çaplı makaslama kırıkları ve kenet kuşağının kuzeyinde ise makaslama kırıkları şeklinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Doğu Anadolu Fay Sistemi oluşmuştur (Arpat ve Şaroğlu 1972, 1975). Günümüzde aktif bir şekilde hareketliliği devam eden bu faylar boyunca magnitüdü 7'yi aşan ve büyük can ve mal kayıplarına neden olan pek çok deprem meydana gelmiştir (Hempton 1983, Herece ve Akay 1992, İmamoğlu 1993,1996, Nazlı Anadolu ve Kalyoncuoğlu 2014).

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuzeyini sınırlayan kuşak boyunca, Arabistan ve Avrasya plakaları çarpışmaktadır.

Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı adı verilen bu kuşak, deprem üretme potansiyeline sahip bindirme karakterli fayların etkin olduğu, Türkiye'nin önemli tektonik yapılarından biri durumundadır

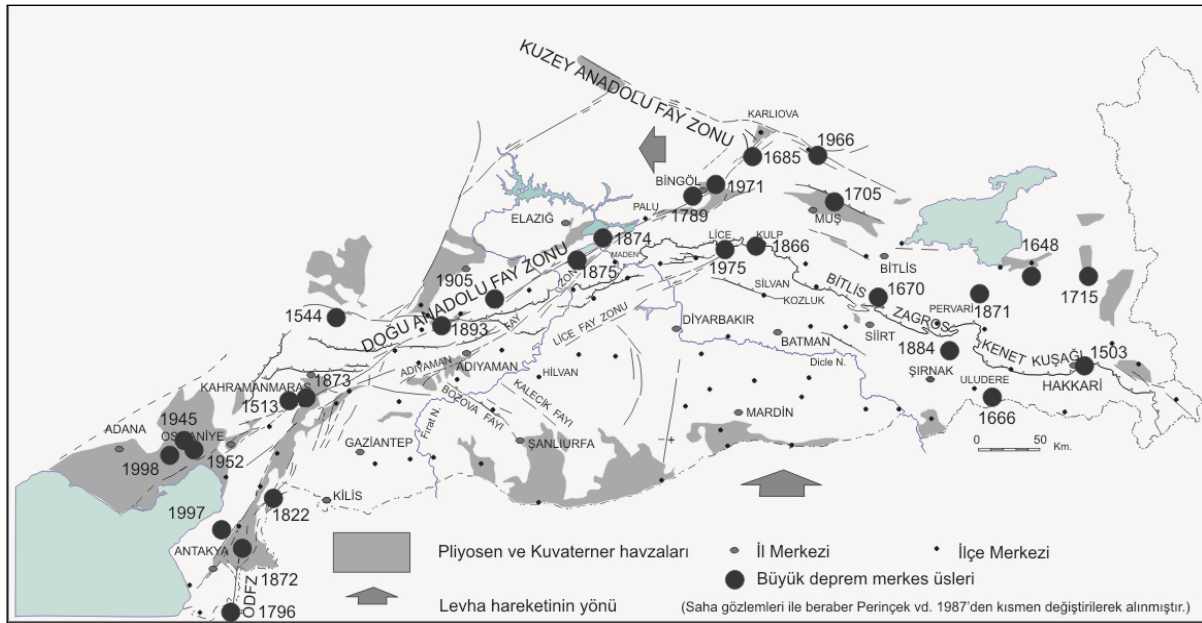
Kahramanmaraş ve Antakya il merkezleri de bu Sistem üzerinde oluşacak depremlerden ciddi bir şekilde etkilenebilmektedirler. Diyarbakır kent merkezi, Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne 77 Km , Bitlis Zagros Kenet Kuşağına 45 Km uzakta bulunmaktadır. Ancak bu sisteme bağlı olarak oluşan fay zonları ve tekil faylar ise kent merkezine daha yakın bir konumda yer almaktadırlar (Şekil 2).

Bölgede meydana gelen depremler

Gerek Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı'nın oluşumundan günümüze kadar, bu kuşaktaki bindirme fayları, gerekse Doğu Anadolu Fay Sistemi ve bu Sistem içinde yer alan faylar boyunca meydana gelen hareketler sonucu, Diyarbakır ve çevresini de ciddi olarak etkileyen, değişik şiddetlerde yüzlerce büyük deprem meydana gelmiştir .

Tarihi deprem katalogları incelendiğinde (Özmen, 1999) şiddetleri VIII-IX'a varan pek çok büyük depremin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni etkilediği görülmektedir. Son

birkaç yüz yıl içinde Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde meydana gelen en önemli depremler, 1513 Pazarcık depremi, 1822 Kahramanmaraş depremi, 1866 Karlıova depremi, 1872 Antakya depremi, 1874 Gezin depremi, 1875 Sivrice depremi, 1893 Çelikhan depremi, 1905 Pötürge depremi, 1971 Bingöl depremi, 1977 Palu depremi, Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleri ve 08.03.2010 Karakoçan depremleridir (İmamoğlu ve Çetin 2007), (Şekil 1). 2003 Bingöl ve 2005 Karlıova depremleri, Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde meydana gelmişlerdir. 1866 Kulp depremi ve 1975 Lice Depremi Diyarbakır ve yöresini ciddi bir biçimde etkilemiş önemli depremlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinde meydana gelen tarihsel depremler (Deprem kayıtları Akbaş 1999 'dan alınmıştır.) (İmamoğlu ve Çetin 2007)

Bütün bu etkinliğe rağmen, geçen yüz yıl boyunca özellikle Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde 1971 Bingöl ve 2010 Elazığ Kovancılar depremleri dışında ciddi bir deprem meydana gelmemiştir. Bu nedenle üzerinde birkaç sismik boşluk bulunan bu zon

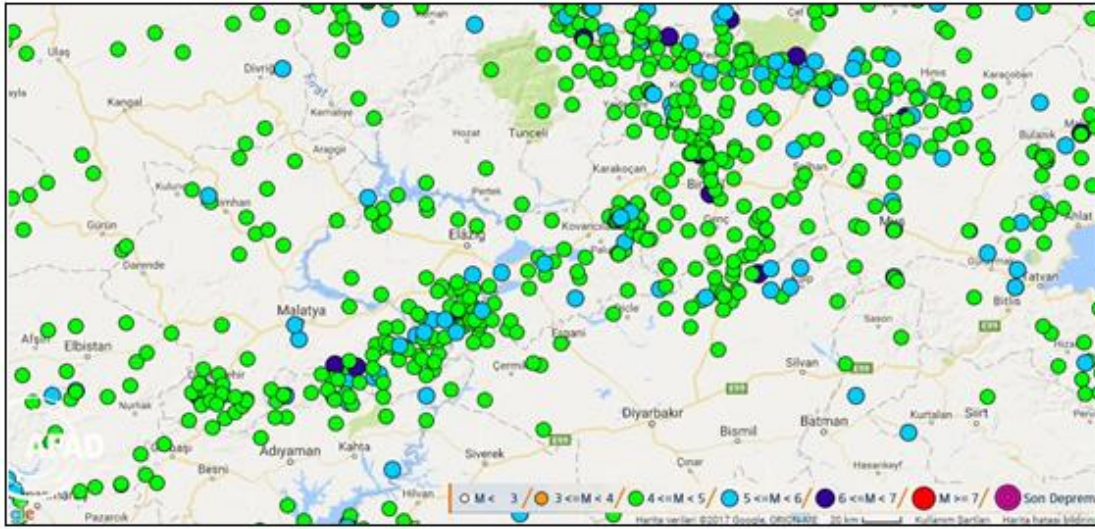
Türkiye'nin en ciddiye alınması gereken fay zonlarından biridir (Şekil 4). Bu zon üzerinde meydana gelen depremler Diyarbakır il merkezinde ciddi hasar yapabilecek niteliktedirler.

Diyarbakır ve yakın yöresinde yüzeyleyen birimler

Diyarbakır İl Merkezi ve yakın yöresinde ilk evresi Üst Miyosen - Alt Pliyosen, ikinci evresi Üst Pliyosen - Alt Pleistosen ve üçüncü evresi de Üst Pleistosen'de olmak üzere üç evre halinde ortaya çıkan Karacadağ Bazaltları, bu bazaltlar üzerinde meydana gelen Pliyo-Kuvaterner yaşlı kil karakterli toprak örtü, bazaltların üzerine aktığı akarsu ortamında meydana gelen Pleistosen yaşlı kum ve çakıltaşı

mercekleri içeren çamurtaşı-silttaşı ardalanması (Yeniköy Formasyonu), gevşek çimentolu çakıltaşı (Gölpınar Formasyonu) ve kıltaşı silttaşı ardalanması (Gediktepe Formasyonu) gibi birimler değişik oranlarda yüzeylenmektedirler (Şekil 5).

Bunlardan taşıma gücü yüksek olduğu için deprem etkisini azaltma açısından en iyi olan birim bazaltlardır. Ancak lav akıntılarının her yerde değişik karakter göstermelerinden dolayı bunlar da farklı taşıma güçleri gösterebilmektedirler.



Şekil 4. 01.01.1900-02.02.2017 tarihleri arasında magnitüdü > 4 olan depremler (AFAD)

Bunun yanısıra lav akıntısı sırasında bazaltların hiç örtmediği alanlar da oluşabilmektedir. Bazaltların farklı zaman aralığında yerleşmelerinden dolayı yer yer aralarında kalın toprak örtü oluşmuştur. Ayrıca bazaltlar üzerinde oluşan toprak örtünün yer yer taşınarak biriktiği ve kalın bir örtü oluşturduğu bazı kesimler de bulunmaktadır. Bu birimlerin her biri farklı mühendislik özelliği ve farklı taşıma gücü göstermektedir. Bu nedenle yapıların ve binaların oturacağı alanların çok detaylı etüt edilmeleri gerekmektedir. Farklı karakterdeki zeminlere oturtulan binalarda farklı oturmalar ve zeminin sudan farklı etkilenmesi sonucu oluşan şişme ve büzüşmelere bağlı olumsuzluklar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle binalar mümkün olduğunca aynı karakterdeki zeminlere oturtulmalıdır.

Diyarbakır'da yüzeyleyen zeminlerde yapılan mikrotremör çalışması: Zemin büyütme ve hakim frekans belirleme ölçümleri ve değerlendirmeleri

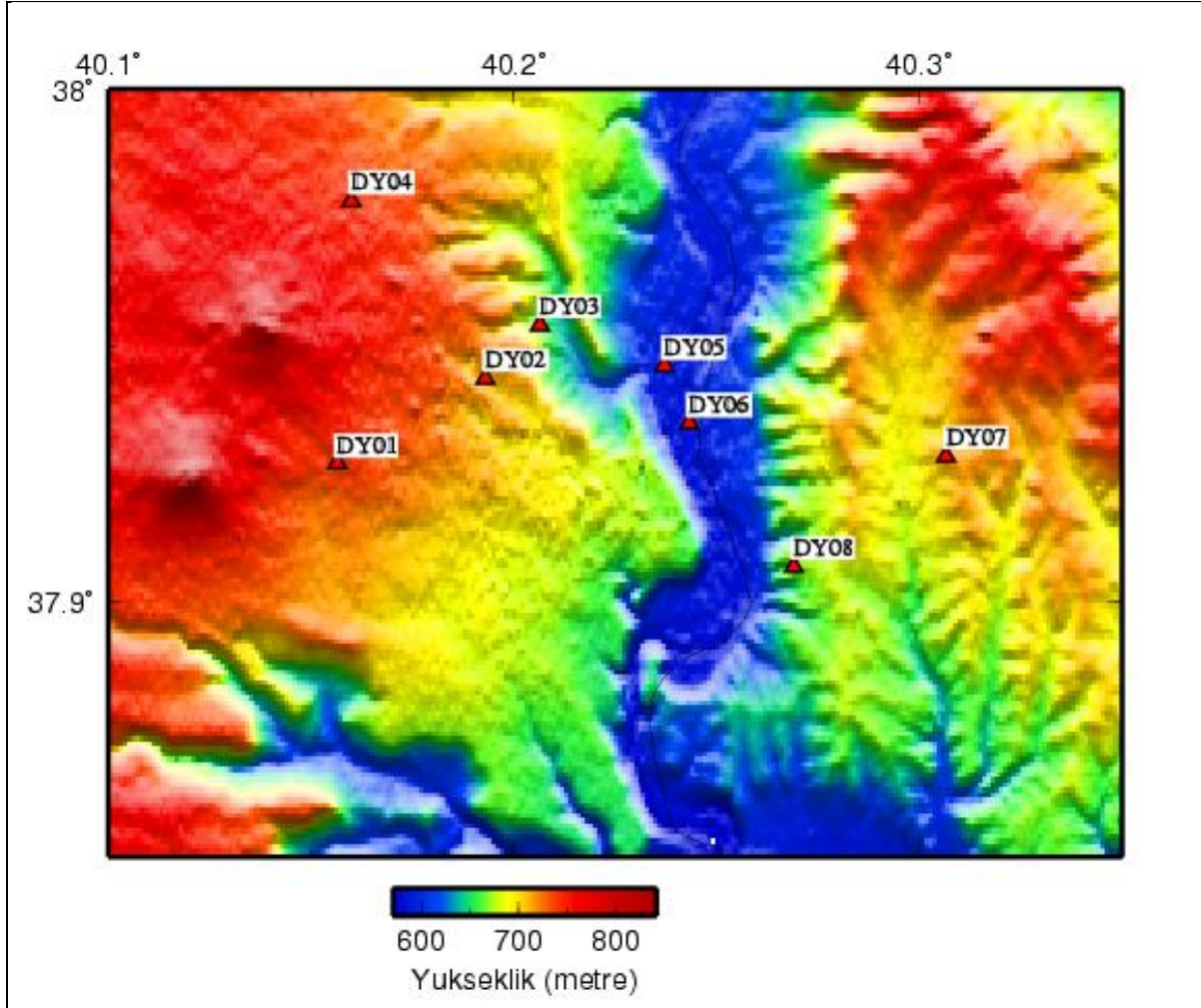
TÜBİTAK tarafından desteklenen ve Tübitak Marmara Araştırma Merkezi öncülüğünde aralarında Dicle Üniversitesi'nin de bulunduğu bazı üniversitelerin katılımıyla yürütülen "Türkiye'nin deprem riski yüksek jeo-stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-bölgelerinde deprem davranışının çok disiplinli yaklaşımlarla araştırılması projesi" kapsamında yapılan çalışmalar sırasında, Mikrotremör Spektral Oran (H/V) yöntemi kullanılarak zeminlerin deprem dalgalarını büyütme etkisi ve hakim frekansları belirlenmeye çalışılmıştır.

Diyarbakır il merkezi içinde yüzeyleyen birimlerden ikişer üçer olmak üzere 8

birlikte daha yüksek frekansta yaklaşık 18 Hz'de daha büyük bir büyütme vermektedir. Yine aynı birim üzerinde bu noktanın 5.5 km

kuzeyindeki Ergani yolu üzerinde şehirden uzak oldukça sakin ortamda DY4 ölçüm noktasında da elde edilen genlik oranı eğrisi benzer

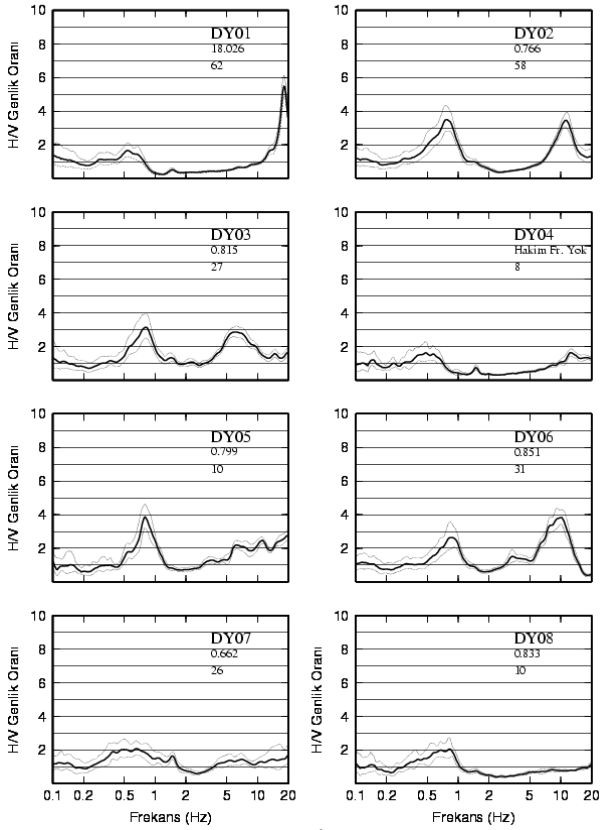
görüntüde 0.6 Hz seviyesinde düşük bir büyütme vermektedir. Buda benzer birimdeki devamlılığın göstergesi olmaktadır (İmamoğlu ve Kavak, 2007).



Şekil 6. Diyarbakır İl merkezinde ölçüm yapılan mikrotremör noktalarının topografik konumları

Şehir merkezinde yüzeyleyen, Miyosen-Pliyosen yaşlı bazaltlar ve Miyosen-Üst Pleistosen yaşlı çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı alüvyon birim üzerinde özellikle DY2 noktasında alınan ölçümlerde 0.76 Hz frekansında belirgin bir büyütme gözlenmektedir, yine bu eğride daha yüksek

frekans değerinde 10 Hz'de benzer büyütme oranı vermektedir, Bu noktanın 1.5 km kuzeydoğusunda yine benzer birim üzerinde daha sakin bir ortamda DY3 noktasında alınan ölçümlerde elde edilen yatay/düşey genlik oranı eğrisi benzer şekilde 0.81 ve 0.8 Hz civarında aynı miktarlarda büyütme vermektedir.



Şekil 7. Diyarbakır İl merkezinde ölçüm yapılan mikrotremör noktalarının H/V eğrileri

Şehir merkezinde yüzeyleyen, Miyosen-Pliyosen yaşlı bazaltlar ve Miyosen-Üst Pleistosen yaşlı çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı alüvyon birim üzerinde özellikle DY2 noktasında alınan ölçümlerde 0.76 Hz frekansında belirgin bir büyütme gözlenmektedir, yine bu egride daha yüksek frekans değerinde 10 Hz'de benzer büyütme oranı vermektedir, Bu noktanın 1.5 km kuzeydoğusunda yine benzer birim üzerinde daha sakin bir ortamda DY3 noktasında alınan ölçümlerde elde edilen yatay/düşey genlik oranı eğrisi benzer şekilde 0.81 ve 0.8 Hz civarında aynı miktarlarda büyütme vermektedir. Benzer şekilde Silvan yolu güzergahında şehre yakın bölgelerde genç alüvyon birimler üzerinde alınan DY5 ve DY6 ölçüm noktalarında elde edilen yatay/düşey genlik oran eğrileri 0.7 ve 0.8 Hz değerinde hakim frekanslar göstermektedir. Her iki noktada daha yüksek frekanslarda da ikincil bir büyütme oranları

göze çarpmaktadır. Bu ölçüm noktalarında ortak gözlenen yüksek frekanslı büyütme yüzeye yakın ve altındaki tabaka ile belirgin bir hız kontrastı yaratan sığ bir arayüzeyin varlığını işaret etmektedirler. Düşük frekans değerlerindeki büyütme ise, bu katmandan daha derinde ve altındaki ana kaya ile belirgin bir hız kontrastına sahip ikinci bir arayüzeyin varlığını göstermektedir.

Diyarbakır il merkezinin doğu yakasında ise, şehir gürültüsünden uzakta Pleistosen killi ve çakıltaşı alüvyal zeminler üzerinde DY7 ve DY8 noktalarında ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen genlik büyütme eğrileri birbirlerine oldukça benzemektedirler. Her iki egride belirgin bir büyütme değeri göze çarpmamaktadır. Bu ölçümlerin alındığı yerlerde depreme bağlı olarak üreyebilecek hiçbir frekans değerinde zemin belirgin bir büyütme yaratmayacaktır. Ayrıca, bu ölçüm sonuçlarına bakarak bu bölgede yüzeyde gözlenen alüvyal zeminden anakaya geçişin kesme dalga hızı açısından yumuşak olduğu söylenebilir.

Sonuç

Diyarbakır il merkezi ve yakın çevresi Güneydoğu ve Doğu Anadolu Bölgelerinin depremselliğinde aktif rolü olan fay sistemlerinin etkisi altındadır. Arabistan Plakasının kuzeye doğru hareketi sonucu Arabistan Plakası ile Avrasya Plakası arasında oluşan Bitlis Zagros Kenet Kuşağı, Doğu Anadolu Fay Sistemi ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi içinde bulunan bazı faylar üzerinde meydana gelen depremler büyüklük ve uzaklıklarına göre inceleme alanında ciddi etki yapabilecek güçtedirler.

Diyarbakır il merkezinin üzerinde bulunduğu alanda, bazaltik lav akıntıları, nispeten pekişmiş kum ve çakıltaşı mercerleri içeren kıltaşı-silttaşı ardalanmalı birimler ve Dicle Vadisi içinde kum ve çakıl serileri yüzeylenmektedir. Kuvaterner-Günümüz yaşlı bu birim, birbirine yanal ve düşey yönde sıkça geçiş yapan, tamamen serbest, polijenik tanelerden oluşmaktadır.

Bazaltlar üzerinde yapılan mikrotremör ölçümlerinde 0.6 Hz değerinde düşük büyütme, Şehir içinde bazaltların altına gelen birimlerde yapılan ölçümlerde 0.76, 0.81 Hz frekansında belirgin bir büyütme, Dicle vadisindeki pekişmemiş alüvyon malzeme üzerinde yapılan ölçümlerde 0.7-0.8 Hz değerinde hakim frekanslar göstermekte, daha yüksek frekanslarda da ikincil bir büyütme görülmesine rağmen Dicle Üniversitesinin üzerinde yer aldığı çimentolanmış çakıltaşları ve daha üstte yer alan killer üzerinde yapılan ölçümlerde belirgin bir büyütme göze çarpmamıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada, Dicle Üniversitesi'nin de paydaş olduğu Tübitak MAM tarafından koordine edilen "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik -Ancak Tektonik Rejimleri Farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi" kapsamında hazırlanan proje verilerinin bir kısmından yararlanmıştıdır. Teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar

Akbaş, Ö. (1999) 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi fay mekanizması, *Deprem Araştırma Bülteni*, 80, 5-108.

Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972) Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler, *MTA dergisi*, 78, 44-50.

Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975) Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 1, 91-101.

Eyidoğan, H. (1983). Bitlis-Zagros kıtasal çarpışma kuşağı boyunca etkin sığ deformasyonlar ve depremler arasındaki ilişkiler, *Deprem Araştırma Bülteni*, 43, 63-99.

Herece, E. ve Akay, E. (1992) Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, *Türkiye 9.Petrol Kongresi*, 361-372.

Hempton, M.R. (1983). Earthquake-Induced deformational structures in young lacustrine sediments, East Anatolian Fault, southeast Turkey. *Tectonophysics*, 98, T7-T14.

İmamoğlu, M. Ş. (1993). "Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı(K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi."Yayımlanmamış doktora tezi", Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

İmamoğlu, M.Ş. 1996. Doğu Anadolu Fay Zonu Gölbaşı Kesimi Neotektonik Özellikleri ve Gölbaşı-Saray Fay Kaması Havzası, *Türkiye Jeoloji Kurultay Bülteni*, 11, 176-184.

İmamoğlu, M.Ş. (2006) Diyarbakır Lice'de aktif faylanma, *ATAG 10*,s 41.

İmamoğlu, M.Ş., Çetin, E. 2007. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Yöresinin Depremselliği, *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi* 9, 93-103.

İmamoğlu, M.Ş. ve Kavak, O.2007 Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik -Ancak Tektonik Rejimleri Farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi Dicle Üniversitesi 2007 yılı nihai raporu (Yayımlanmamış)

İmamoğlu, M.Ş. ve Kavak, O.2008 Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik -Ancak Tektonik Rejimleri Farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi Dicle Üniversitesi 2008 yılı nihai raporu (Yayımlanmamış)

Mc Kenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysics J. R. Asr.Soc.*, 30, 109-185.

- Mc Kenzie, D. P. (1976). The East Anatolian Fault, a major structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Sciences*, 29, 189-193.
- Nalbant, S., McCloskey, J., Steacy, S. & Barka A. (2002). Stree accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 291-298.
- Nazlı Anadolu, N. ve Kalyoncuoğlu, Ü., (2014). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği ve Deprem Tehlike Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , Cilt 14 Sayı 1, s.84-94
- Özmen, (1999) Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katalogunun Bölgesel Düzenlemesi, *Deprem Araştırma Bülteni, Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Sayı 82, 5-83.
- Perinçek, D., Günay, Y. ve Kozlu, H. (1987) Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, *Türkiye 7. Petrol Kongresi*, 89-103.
- Seymen , İ. ve Aydın, A. (1972) Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi, *MTA Dergisi*, 79, 1-8.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987) Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, *MTA Derleme No:8174*, 394.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992a) *Türkiye Diri Fay Haritası*, MTA yayını, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992b). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annal.Tecn.*, 6, 99-125.
- Şengör, A. M. C. (1980) Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye Jeoloji Kurumu*, 40, Ankara.
- Şengör, A. M. C. (1980) Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye Jeoloji Kurumu*, 40, Ankara.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981) Tethyan evolution of Turkey a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taymaz, T. Eyidogan, H. & Jackson, J.A. (1991). Source Parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International-Oxford*, 106, 537-550.

Seismicity and soil properties of Diyarbakır citycenter and its surroundings

Extended abstract

Diyarbakir city center and its vicinity are located on the Arabian Plate. Arabian and Eurasian Plates collide along a zone bounding the Northern part of the Southeast Anatolian Region, resulting in the northward movement of the African Plate and Arabian Plate which has been separated from it due to diaphragmatic plate boundaries that have opened along Red Sea since more than 10 million years ago. As a result of this compression in the North-South direction, folds in East-West direction in the zone that Diyarbakir lies and its North, Bitlis-Zagros Suture Zone where faults in North-South direction are affective along its Northern boundaries, and further North, the North Anatolian Fault System and the East Anatolian Fault System in the form of shear fractures occurred. Today, there are many earthquakes which has exceeded magnitude 7 and caused great loss of human life and property along these faults.

Among hundreds of major earthquakes that have occurred on these faults in the last few centuries, the most important ones are 1513 Pazarcik Earthquake, 1822 Kahramanmaras Earthquake, 1866 Kulp Earthquake, 1872 Antakya Earthquake, 1874 Gezin Earthquake, 1875 Sivrice Earthquake, 1893 Celikhan Earthquake, 1905 Poturge Earthquake, 1971

Bingol Earthquake, 1975 Lice Earthquake, 1977 Palu Earthquake, June-July 1986 Surgu Earthquakes, 2003 Bingol Earthquake, 2005 Karliova Earthquake and 2010 Elazig-Kovancilar Earthquake. Among them, the ones close to Diyarbakir are major Earthquakes that seriously affected Diyarbakir and its surroundings.

The formations like limestones that are belonging to the Euphrates Formation, claystones of Lice formation, Karacadag Basalts and clay-like earth cover on these basalts and mudstone-siltstone alteration that contains sand and conglomerate lenses formed in the stream environment that flows on these basalts (Yenikoy Formation), loosely cemented conglomerate (Golpinar Formation), and claystone-siltstone alteration (Gediktepe Formation) are exposed in different areas of Diyarbakir city center and its vicinity.

While the microtremor studies on these units within the city center of Diyarbakir show that the young alluvium and consolidated units make an effect of magnification of earthquake waves at 0.7-0.8 frequency values, there is no any significant value change to the West of the city. Among them, limestones and basalts are the best sources of earthquake risk because of high carrying capacity. However, since the lava flows have different characteristics everywhere, they can also exhibit different carrying powers.

Keywords: *Diyarbakırseismicity, Diyarbakır ground, microtremor*



Fatih Paşa Cami (Diyarbakır) Sıva ve Harç Örneklerinin Arkeometrik Karakterizasyonu

Murat BAYAZIT*

Batman Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Batman
m.bayazit@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-1453-249X, Tel: (0488) 2173500

Dursun YILDIZ

Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arkeometri Ana Bilim Dalı (Yüksek Lisans)
dyldz3112@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0054-0595>

Geliş: 22.03.2018 , Kabul Tarihi: 02.11.2018

Öz

Tarihi mimari yapıların koruma ve onarım işlemlerinde kullanılacak uygun malzemelerin saptanması kültürel mirasın korunarak gelecek nesillere sağlıklı bir şekilde aktarılması bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, özellikle son yıllarda ön plana çıkan arkeometrik çalışmalar sayesinde yapıların zarar görmüş malzemeleri (harç, sıva, çini, taş vb.) analitik analiz yöntemleri ile karakterize edilmekte ve elde edilen sonuçlar ışığında en uygun müdahale yapılabilmektedir. Buna paralel olarak, mevcut çalışma Kurşunlu Cami veya Bıyıklı Mehmet Paşa Cami olarak da bilinen Fatih Paşa Cami'sinden (Diyarbakır) temin edilen sıva ve harç örneklerinin arkeometrik karakterizasyonunu içermektedir. Yapıdan alınan örneklerin karakterize edilmesi amacıyla arkeometride sıklıkla kullanılan petrografi analizi uygulanmıştır. Buna ek olarak temsili bazı örnekler elektron mikroskopu/enerji saçınımlı X-ışını spektroskopisi (SEM/EDX) ile incelenmiştir. Bu analizler ile sıva ve harç örneklerinin sırasıyla hamur özellikleri ve mikro yapısal/kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Numuneler için bazı spot ve temel testler de gerçekleştirilerek örneklerin suda çözünebilir tuz ihtivaları ile protein ve yağ içerikleri araştırılmıştır. Ayrıca, örnekler için asitle muamele (akabinde stereo mikroskop), kızdırma kaybı ve elek analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar her bir örnek için ele alınmış ve nihai bir değerlendirme yapılmıştır. Bu bağlamda, mevcut çalışmada yer alan arkeometrik sonuçların yapıya uygulanacak müdahaleler ve/veya koruma önlemleri için somut bir arkeometrik veri tabanı oluşturacağı ve böylelikle yapının özgün görünümünü koruyacak malzemelerin seçiminde yol gösterici ve belirleyici olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fatih Paşa Cami (Diyarbakır); Arkeometri; SEM/EDX; Petrografi; Karakterizasyon.

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Kültür Varlıkları Daire başkanlığı (KUDEB) tarafından hazırlanan "Diyarbakır Sur İlçesi 204 ada 1-2-3-4-5-6-7-8-16 Parseller Fatih Paşa Kurşunlu Camii Restorasyon Konservasyon Raporları"ndan faydalanılmıştır (2017).

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Somut kültürel miras olarak karşımıza çıkan tarihi mimari yapılar ait oldukları dönem ve medeniyetler hakkında önemli bilgiler vermektedir. Kültürel içeriklerinin yanı sıra içerdikleri yapı malzemeleri (harç, sıva, tuğla, çini, taş vb.) ve bunların uygulama biçimleri de mimari yapıların dikkat çekici ve ayırıcı özellikleri olmuştur. Bu tür yapıların ayakta kalabilmesi ve gelecek nesillere birer miras olarak taşınması kültürel ve sanatsal açıdan büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, geçmişten günümüze kadar ayakta kalabilmeyi başaran fakat zarar görmüş ve bu nedenle müdahale ihtiyacı duyan tarihi yapıların koruma ve onarım işlemleri kültürel mirasın korunması bakımından çok önemlidir. Günümüzde koruma ve onarım işlemleri için uygun malzeme seçimi yapılması ve bu malzemelerin doğru bir şekilde yapıya uygulanması göreceli bir kavram olmaktan çıkmış ve artık analitik analiz yöntemleriyle elde edilen somut verilerin kullanılmasıyla daha özel bir hal almıştır. Böylelikle her yapı kendine has mimari yönleri ile ele alınmakta ve malzeme analizi ile uygun müdahaleler yapılabilmektedir (Güleç, 2013; Koralay vd., 2016; Sayın, 2016).

Tarihi yapılara ait malzemelerin analiz edilmesinde kullanılan cihazlar hali hazırdaki teknikleri içerse de, artık günümüzde bu tür araştırmalar arkeometri olarak isimlendirilen çok disiplinli bir bilim dalı kapsamında yürütülmektedir. Mimari yapı elemanlarının yanı sıra arkeolojik buluntuların da karakterize edilerek tarihe ışık tutulduğu arkeometrik incelemeler sayesinde örneklerin hammadde içerikleri ve sonradan katılan ilave malzemeler (temper, organik veya renklendiriciler gibi) belirlenebilmektedir. Gerek arkeolojik buluntu gerekse mimari yapı malzemesi olsun, karakterizasyon aşaması neticesinde elde edilecek sonuçlar yol gösterici ve belirleyici olmaktadır. Koruma-onarım penceresinden bakıldığında, arkeometrik yönden tanımlanan yapısal unsurların güçlendirilmesi, yeniden üretimi ve uygulanması işlemlerinde büyük oranda özgüne yakın onarım malzemeleriyle çalışmak mümkün olabilecektir. Böylelikle,

yapıların kendilerine has karakterlerinin ve kültürel değerlerinin korunması sağlanarak gelecek kuşaklara aktarılması daha sağlıklı olacaktır (Sayın, 2016; Bayazit vd., 2016; Semiz ve Duman, 2017; Trojanowicz, 2008).

Arkeometriye yakından bakıldığında, özellikle toprak esaslı malzeme ve buluntuların tanımlanmasında genellikle kimyasal ve mineralojik analiz metodlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu metodlardan sıklıkla kullanılanları sıralanacak olursa; X-ışını kırınımı (XRD), petrografi (optik mikroskop; OM), X-ışını floresansı (XRF) gibi teknikler öne çıkmaktadır. Bunların dışında tamamlayıcı analizler olabilecek Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Raman spektroskopisi, termogravimetrik analiz (TGA)/diferansiyel ısı analiz (DTA) ve X-ışını analizörlü taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX) da arkeometride tercih edilenler metodlar arasındadır (Loehman, 1993; Palanivel ve Kumar, 2011).

Arkeometrik incelemelerde yer alan hassas analiz tekniklerinin yanı sıra özellikle mimari yapılardan temin edilen harç ve sıva örneklerinin analizinde bazı basit testler de uygulanmaktadır. Bunların bazıları; asitle muamele/stereo mikroskop ile inceleme, suda çözünebilir tuz ihtivasi, kızdırma kaybı, protein/yağ içeriği ve elek analizi şeklinde sıralanabilir. Bu tür testler her ne kadar uygulama açısından basit/sade gözükse de, elde edilen sonuçların uygulamaya aktarılması noktasında oldukça faydalı bilgiler vermektedir. Dolayısıyla, analitik analiz yöntemleri ve testlerin bir arada kullanılmasıyla harç ve sıva örnekleri hakkında daha detaylı bilgiler elde edilerek uygun malzeme seçimi yapılabilmektedir. Mimari yapılarda birçok farklı etkene bağlı olarak (çevre koşulları, iklim şartları, doğal felaket, yıkım vb.) meydana gelebilecek bozunma/zarar görme/ayrışmalar neticesinde yapı yok olmaya kadar gidecek tehditlerle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu tarz olumsuzlukların giderilmesi amacıyla yapılan koruma ve onarım işlemleri arkeometrik veriler ışığında ilerlediğinde daha verimli ve sağlıklı sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla, tarihi yapı ile uyumlu malzemelerin seçimi ve doğru

müdahalenin belirlenmesi kültürel mirasın korunması bakımında hayat kurtarıcı nitelikte olmaktadır (Koralay vd., 2016; Sayın, 2016; Güleç, 2013).

Bahsedilen bu kavramlardan yola çıkarak, bu çalışma Diyarbakır merkezde yer alan Fatih Paşa Cami'sinden alınan harç ve sıva numunelerinin arkeometrik karakterizasyonunu içermektedir. Yapıdan alınan bazı temsili örnekler için elektron mikroskobu/enerji saçınımlı X-ışını spektroskopisi (SEM/EDX) ve örnek setinin tamamı için petrografi teknikleri uygulanmıştır. Bu analizler ile harç ve sıva numunelerinin sırasıyla mikro yapısal/kimyasal ve hamur özellikleri belirlenmiştir. Numuneler için bazı spot testler de gerçekleştirilerek örneklerin suda çözünabilir tuz ihtivaları ile protein ve yağ içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca, örnekler için asitle muamele (akabinde stereo mikroskop), kızdırma kaybı ve elek analizleri uygulanmıştır.

Fatih Paşa Cami

Diyarbakır ve civarında Bıyıklı Mehmet Paşa Cami veya Kurşunlu Cami olarak da bilinen Fatih Paşa Cami'nin mülkiyeti Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü'ndedir. 1819 yılında avlu dış kapısının yıkılmasından dolayı yapının inşa kitabesine ulaşılamamıştır (Tanman, 1995; Yıldız, 2011, 260). Camiye ismini veren Bıyıklı Mehmet Paşa'nın 1516-1520 yılları arasında Diyarbakır'da valilik yaptığı ve camiyi bu dönemde yaptırdığı bilinmektedir (Diyarbakır'ın ilk Osmanlı valisi) (Beysanoğlu, 1963, 193; Baykal, 1938; Yıldız, 2011, 260). Camideki onarım işlemleri sırasıyla 1960, 1975–1976, 1981–1983 ve 2008 yıllarında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır (Sözen 1971; Tuncer, 1996; Yılmazçelik, 1995; Baş, 2006; Aslanapa, 1986; Yıldız, 2011, 260). Yapı 06.06.2001 tarih ve 2589 sayılı Diyarbakır Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu kararıyla tescil edilmiştir. Caminin 1929, 1940, 2010 ve 2016 yıllarına ait fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir.



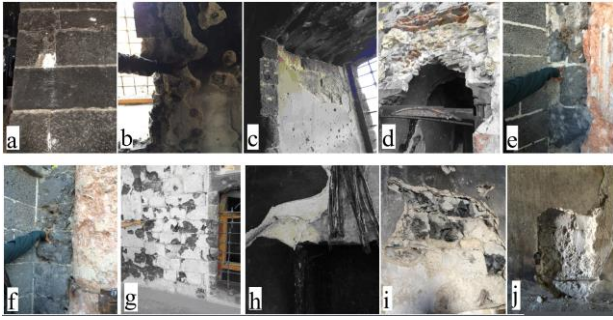
Şekil 1. Fatih Paşa Cami genel görünüm; (a) 1929 yılı (Vakıflar Genel Müdürlüğü; VGM arşivi), (b) 1940 yılı (VGM arşivi), (c) 2010 yılı (İrfan Yıldız tarafından fotoğraflanmıştır), (d) 2016 yılı (İrfan Yıldız tarafından fotoğraflanmıştır).

Materyal ve Yöntem

Numune seçimi esnasında azami hassasiyet gösterilmiş ve buna paralel olarak yapının değişik noktalarından (özgün yapının korunduğu bölgelerden) analiz ve testlerde kullanmak üzere 3 adet sıva ve 7 adet harç numunesi belirlenmiştir. Numune özellikleri Tablo 1'de verilmiş olup, numunelerin temin edildiği yerler Şekil 2'te gösterilmiştir. Alınan örneklerin suda çözünabilir tuz ihtivaları ile protein ve yağ içeriklerini belirlemek amacıyla spot testler uygulanmıştır. Tuz miktarları iletkenlik özelliği (mikrosimens; μs) üzerinden saptanmıştır. Ayrıca örnekler için asitle muamele, kızdırma kaybı ve elek analizleri uygulanmıştır. Asitle yapılan işlem sonucunda tepkimeye girmeyen agrega ihtivaları stereo mikroskop ile incelenmiştir. Spot testlerin ardından numuneler epoksi reçine içerisinde polarizan mikroskop (çift nikol) ve stereo mikroskop ile karakterize edilmiştir. Son olarak bazı temsili numunelerin mikro yapısal ve mikro kimyasal özellikleri SEM-EDX analizi ile belirlenmiştir.

Tablo 1. Numune tanımları.

Numune kodu	Numune tipi	Renk	Numune temin yeri	Açıklama
N1	Harç	Gri	Harim bölümü güney yönündeki ayak	1-2 mm boyutlu agregaya içerikli ve görünümü sağlam olan numunede çok az miktarda beyaz kütleler bulunmaktadır.
N2	Sıva	Beyaza yakın	Harim bölümü güneydoğu duvarı	N2(a): 6-7 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune çok az miktarda beyaz kütleler içermekte. Numune dağılgan yapıya sahip. N2(b): 5-6 mm boyutlu agregaya içerikli numune çok az beyaz kütle içermekte ve sağlam yapıda.
N3	Harç	Krem/gri	Harim bölümü kuzeybatı duvarı pencere nişi hatlı üzeri	6-7 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve sağlam yapıda.
N4	Harç	Beyaza yakın	Kuzeydoğu yönü tabhane giriş kapısı üzeri	4-5 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve sağlam yapıda.
N5	Harç	Griye yakın	Kuzeydoğu yönü tabhane giriş kapısı yanı	4-5 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve oldukça sağlam yapıda.
N6	Harç	Gri	Son cemaat yeri kuzeydoğu köşesindeki sütun yanı	3-4 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve oldukça sağlam yapıda.
N7	Harç	Gri	Harim kuzeybatı duvarı son cemaat yerine bakan yüzey	2-3 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve oldukça sağlam yapıda.
N8	Sıva	Beyaz	Harim kuzeybatı duvarı niş içerisi	2-3 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve sağlam yapıda.
N9	Harç	Gri/krem	Harim kuzeybatı duvarı niş içerisi	1-2 mm boyutlu agregaya ihtivalı numune beyaz kütleler içermekte ve oldukça sağlam yapıda.
N10	Sıva	Gri	Güney cephesi duvarı sol kısım	3-4 mm boyutlu agregaya ihtivalı numunede beyaz kütleler ve siyah cürufklar bulunmaktadır. Numune zayıf yapıda.



Şekil 2. Numunelerin temin edildiği yerler (a-j: sırasıyla N1-N10 kodlu örnekler)

4. Analizler

4.1. Suda çözünebilir tuz, protein ve yağ analizi sonuçları

Yapı malzemelerinin içerisinde doğal olarak bulunabilecek tuzlar aynı zamanda suda çözünerek de malzeme yüzeyi ve/veya gözeneklerine doğru ilerleyebilmekte, böylelikle hem malzemeye hem de temas halinde bulunduğu diğer yapı elemanlarına kimyasal ve/veya fiziksel olarak etki edebilmektedirler (Koralay vd., 2016). Dolayısıyla harç ve sıvaların karakterize edilmesinde tuzların cinsi ve miktarı önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir. Mevcut çalışmadaki harç ve sıva numunelerine uygulanan spot testlere ait sonuçlara bakıldığında

(Tablo 2) toplam tuz içerikleri %0,49 - %3,81 arasında değişen örneklerin hiçbirinde karbonat (CO_3) tuzlarının olmadığı ve yalnızca birinde (N1) sülfat (SO_4) tuzunun az miktarda bulunduğu görülmektedir. Sülfat varlığının diğer numunelerde belirlenmemesi bu örneklerde alçı taşının yer almadığını akla getirmektedir (Sayın, 2016). Alçı taşının N1 numunesinde bulunma şansı da aslında bir bakıma zayıftır, zira sülfat miktarının göreceli olarak az olması bu buluntunun alçı taşından ziyade baca veya egzoz gazı kaynaklı kirlilik sonucu yapıda bir safsızlık olarak oluşabileceği ihtimaline işaret etmektedir (Koralay vd., 2016).

Numunelerin tamamında büyük ihtimalle canlı organizmaların bozunması sonucu oluşabilecek organik kalıntılara bağlı olarak veya tarımsal faaliyet/hava kirliliği kaynaklı olarak görülebilecek nitrat (NO_3) tuzuna (az miktarda) rastlanmıştır (Sayın, 2016; Koralay vd., 2016). N8 kodlu numune haricindeki tüm örneklerde tespit edilen klorürün (Cl) çoğu örnekte az miktarda olduğu ve yalnızca iki örnekte (N9 ve N10) diğerlerine nispeten biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere, daha çok deniz kıyısı veya denize yakın bölgelerde yada atık alanları civarındaki yapılarda gözlemlenmesi

muhtemel olan klorür (Cl), çimento ihtiva eden harçların havadaki nem ile etkileşime girebileceği yerlerde de oluşabilmektedir (Koralay vd., 2016). Buna paralel olarak, çalışmadaki sonuçlar dikkate alındığında klorürün örneklerde çoğunlukla bir safsızlık olarak yer aldığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, yapının daha önce geçirmiş olduğu koruma-onarım aşamaları sırasında onarım malzemelerinde sülfat ve klor tuzlarının bulunabileceği de unutulmamalıdır (özellikle çimento içerikli bağlayıcılardan kaynaklanan) (Güleç, 2013). Numunelerdeki organik esaslı katkıların belirlenmesi için uygulanan protein-yağ testinde örneklerin tamamında az miktarda protein saptanırken hiçbirinde yağ izine ulaşılmamıştır. Mimari yapılarda kullanılan harçların içerisine organik katkıların ilave edilmesi ile malzemenin çalışılabilirliğinin kontrol edilmesi mümkündür (Özgen, 2012). Harçlara eklenen yumurta akı, süt, nişasta, hayvan kılı, deniz yosunu, hayvan yağı, sıvı yağ, kazein, şeker ve daha birçok farklı katkının malzemenin prizlenme (sertleşme) süresi (hızlı-yavaş), dayanım, plastiklik ve su geçirgenliği gibi özelliklerini etkilediği bilinmektedir (Tekin ve Kurugöl, 2012). Mevcut çalışmada tüm numunelerde tespit edilen az miktardaki protein içeriğinin bahsedilen bu karakteristik özelliklerin bir veya birkaçının sağlanması amacıyla harca eklenen organik katkı/katkılar olabileceği öngörülmektedir.

Tablo 2. Numunelere uygulanan suda çözünebilir tuz, protein ve yağ analizi sonuçları.

Kod	TUZ					% T	P	Y
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	I			
N1	●	●	-	●	327	2,06	●	-
N2(a)	●	-	-	●	216	1,36	●	-
N2(b)	●	-	-	●	148	0,93	●	-
N3	●	-	-	●	142	0,89	●	-
N4	●	-	-	●	125	0,79	●	-
N5	●	-	-	●	135	0,85	●	-
N6	●	-	-	●	1290 (pH: 11,47)		●	-
N7	●	-	-	●	131	0,83	●	-
N8	-	-	-	●	77	0,49	●	-
N9	●●	-	-	●	605	3,81	●	-
N10	●●	-	-	●	215	1,35	●	-

I: İletkenlik (µS), T: Tuz miktarı, P: Protein, Y: Yağ.

-: Yok, ●: Az var; ●●: Var; ●●●: Fazla var; ●●●●: Çok fazla var. *: Numunede sönmüş kireç (OH⁻) iyonu bulunduğu için tuz miktarı yerine pH miktarı belirtilmiştir.

4.2. Kızdırma kaybı ve elek analizi sonuçları

Numuneler için uygulanan kızdırma kaybı analizinde örnekler 105±5°C, 550±5°C ve 1050±5°C'de kalsine edilmiş ve soğutma işleminin ardından ağırlık kayıpları esas alınarak Tablo 3'teki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3. Numunelere uygulanan kızdırma kaybı ve asitle muamele testlerine ait sonuçlar.

Numune kodu	Kızdırma Kaybı (%)			Asitle (%)	
	Nem	550°C	CaCO ₃	Kayıp	Kalan
N1	0,94	3,42	65,38	77,50	22,50
N2a	0,73	2,14	50,15	48,86	51,14
N2b	0,35	0,88	50,19	48,50	51,50
N3	0,94	1,28	51,77	48,79	51,21
N4	0,25	1,48	53,71	46,38	53,62
N5	1,85	3,83	32,15	42,27	57,73
N6	4,31	8,87	23,30	76,98	23,02
N7	0,46	1,81	59,81	44,14	55,86
N8	0,35	1,26	49,96	53,31	46,69
N9	1,38	3,64	21,76	26,42	73,58
N10	3,16	4,16	50,26	67,43	32,57
Ortalama	1,33	2,97	46,22	52,78	47,22

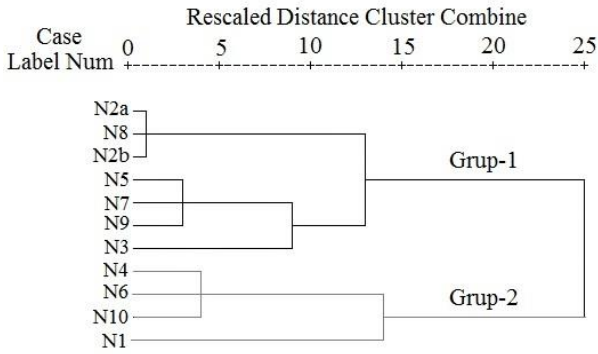
Buna göre; numunelerdeki higroskopik su oranının %0,25-4,31, 550±5°C'deki kaybın %0,88-8,87 ve CaCO₃ miktarının %21,76-65,38 aralıklarında değiştiği saptanmıştır. Akabinde yapılan asitle muamele işlemiyle beraber numunelerde asitle reaksiyona girmeden kalabilen agregaların tane boyut dağılımları belirlenmiştir (Tablo 4). Numuneler içerdikleri tanelerin boyut dağılımlarına göre (SPSS programı kullanılarak hiyerarşik kümeleme analizi ile) sınıflandırıldığında esasen iki farklı grup gözlemlenmiştir (Şekil 3). Grup-1'de yedi örnek yer alırken (N2 örneği a ve b olarak alındığında), Grup-2'de dört örnek bulunmaktadır. Bu gruplandırma sıva ve harç örneklerindeki iri, orta ve ince boyutlu tanelerin miktarını veya dağılımlarını esas aldığından, onarım-güçlendirme işlemlerinde tercih edilecek malzemelerin hazırlanmasında her iki grup ve (var ise) alt gruplarındaki örneklere ait bu verilerin dikkate alınması yapının bünyesel özelliklerini koruması bakımından önem taşımaktadır. Tane boyut aralıklarının

belirlendiği testte ayrıca numune seti içerisindeki iki sıva örneğinde (N8 ve N10) az miktarda kırıntı (lif yapılı katkı malzemesi) izine rastlanmıştır (%0,04). Ağırlıkça çok düşük oranda tespit edilmesinden dolayı kırıntı buluntusunun numune içerisinde bir safsızlık olarak yer aldığı

düşünülebilir. Diğer taraftan, bu tip katkıların lifsi yapıda olmalarından dolayı sıvanın fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmış olabilecekleri unutulmamalıdır.

Tablo 4. Elek analizi sonuçları.

Kod	Kırıntı	Elekte Kalan (%)							
		5000 μ	2500 μ	1000 μ	500 μ	250 μ	125 μ	63 μ	<63 μ
N1	0,00	0,00	0,00	1,77	2,43	8,85	31,86	25,44	29,65
N2a	0,00	7,93	21,03	22,91	20,05	19,07	6,06	1,52	1,43
N2b	0,00	9,21	29,13	22,13	16,93	15,20	4,57	1,26	1,57
N3	0,00	23,89	2,41	4,63	8,06	40,28	13,61	4,35	2,78
N4	0,00	16,01	12,10	12,95	13,29	32,79	9,63	2,13	1,11
N5	0,00	4,59	5,85	13,10	23,32	33,60	11,77	4,22	3,55
N6	0,00	15,05	3,76	9,14	13,44	22,04	17,74	10,75	8,06
N7	0,00	0,00	6,10	13,79	21,81	41,47	11,41	3,50	1,92
N8	0,04	14,15	16,75	25,52	18,84	15,19	6,60	1,91	1,04
N9	0,00	1,41	12,67	18,83	25,40	27,04	8,97	3,11	2,58
N10	0,04	10,86	3,18	9,93	5,43	13,51	26,75	15,63	14,70
Ortalama		9,37	10,27	14,06	15,36	24,45	13,54	6,71	6,21



Şekil 3. Hiyerarşik kümeleme analizi ile yapılan gruplandırmayı gösteren dendrogram.

4.3. Stereo ve Polarizan mikroskop inceleme sonuçları

Numuneler için uygulanan temel testler ile oldukça faydalı bilgiler elde edilmiştir. Bu testlere ek olarak, asitle etkileşimde bulunmayan silikat içerikli agregalar stereo mikroskop ile incelenmiş ve makro özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 5'te özetlenerek sunulmuştur. Buna göre, numunelerde genel olarak mineral ve kil boyutlu malzeme içeriğinin baskın olduğu, bunlara ek olarak değişik örneklerde katkı malzemesi niteliğinde olabileceği düşünülen tuğla tozu/parçacıkları, cüruf tozu/parçacıkları, kayaç

tozu/parçacıkları, topaklar (grog benzeri) ve kırıntı kalıntılarına rastlanmıştır. Elek analizinde gözlemlenen kırıntı varlığı stereo mikroskop ile daha net gözlemlenebilmiş ve daha önce iki örnekte (N8 ve N10) çok az bulunan kırıntı kalıntısı bu kez dört numunede (N2b, N6, N8 ve N10) eser miktarda saptanmıştır. Kırıntı içeriğinin eser miktarda olması elek analizinde elde edilen sonuçlara (%0,04) paralellik göstermektedir. Örneklere ait stereo mikroskop görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Stereo mikroskop ile incelenen numunelerin yapısal özelliklerine yakından göz atmak amacıyla polarizan mikroskop kullanılmıştır. Bu analizde elde edilen veriler Tablo 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar numunelerdeki agrega ihtivasının genel olarak mineral ve kayaç parçalarından oluştuğuna işaret ederken N6 kodlu numunenin genel içerik itibarıyla agregasız olduğu tespit edilmiştir.

Numunelerin tamamında kireç ve/veya kireçtaşı parçası/tozu tespit edilirken, bazı örneklerde (N1 ve N10) cüruf içeriğine de rastlanmıştır. Mineralojik içerik açısından bakıldığında numunelerde genel olarak kuvars ve alkali/toprak alkali feldspat içeriğinin baskın olduğu görülmektedir. Amfibol, biyotit, piroksen ve kalsit de bazı numunelerde tespit edilen diğer minerallerdir.

Tablo 5. Stereo mikroskop inceleme sonuçları.

Kod	Açıklama*
N1	<125µ: Eser miktarda tuğla tozu ve cüruf, %2-3 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Eser miktarda tuğla tozu ve cüruf, %10 mineral, kalanı gri topaklar. >500µ: Eser miktarda cüruf, çok az tuğla kırığı, az gri topaklar, kalanı mineral/kayaç. Agregalar 10 ³ µ elek altı.
N2a	<125µ: ~%30 kil boyutlu malzeme, kalanı mineraller. 125-500µ: ~%20 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: ~%30 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 6x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.
N2b	<125µ: ~%30 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: ~%20 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: Eser miktarda kırıntı, ~%25 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 6x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı
N3	<125µ: ~%20 kil boyutlu malzeme, kalanı mineraller. 125-500µ: ~%40 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: ~%15 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 9x10 ³ -12x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.
N4	<125µ: Eser miktarda tuğla tozu ve cüruf, ~%30 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Az miktarda bej renkli topaklar, ~%30 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: Eser miktarda cüruf, beyaz renkli topaklar, ~%10 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 7x10 ³ -11x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.
N5	<125µ: Eser miktarda mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: ~%10 krem renkli topaklar, ~%15 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: Eser miktarda tuğla kırığı, %3-5 krem renkli topaklar, ~%10 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 7x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.
N6	<125µ: Eser miktarda mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: ~%15 beyaz renkli topaklar, kalanı mineral ve kayaç tozu. >500µ: Eser miktarda kırıntı, ~%10 beyaz renkli topaklar, kalanı mineral/kayaç parçaları. Agregaların eser miktarı 5x10 ³ µ, kalanı 3x10 ³ µ elek altı.
N7	<125µ: %10-15 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Eser miktarda cüruf, az miktarda bej renkli topak, ~%20 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: ~%15 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregalar 4x10 ³ µ elek altı.
N8	<125µ: ~%20 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Eser miktarda cüruf ve kırıntı, %2-3 bej/beyaz renkli topaklar, ~%20 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: Eser miktarda kırıntı, ~%15 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregalar 5x10 ³ µ elek altı.
N9	<125µ: %2-3 mineral, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Az miktarda krem renkli topaklar, ~%30 kayaç tozu, kalanı mineraller. >500µ: ~%15 mineral, kalanı kayaç parçası. Agregaların eser miktarı 7x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.
N10	<125µ: Eser miktarda tuğla tozu, az miktarda mineral, %2-3 cüruf, kalanı kil boyutlu malzeme. 125-500µ: Eser miktarda tuğla tozu ve kırıntı, %2-3 mineral, kalanı cüruf tozu ve gri renkli topaklar. >500µ: Eser miktarda kırıntı, ~%5 tuğla kırığı, ~40 cüruf tozu/parçası içeren gri renkli topaklar, kalanı mineral/kayaç parçaları. Agregalar: eser miktarı 6x10 ³ µ, kalanı 4x10 ³ µ elek altı.

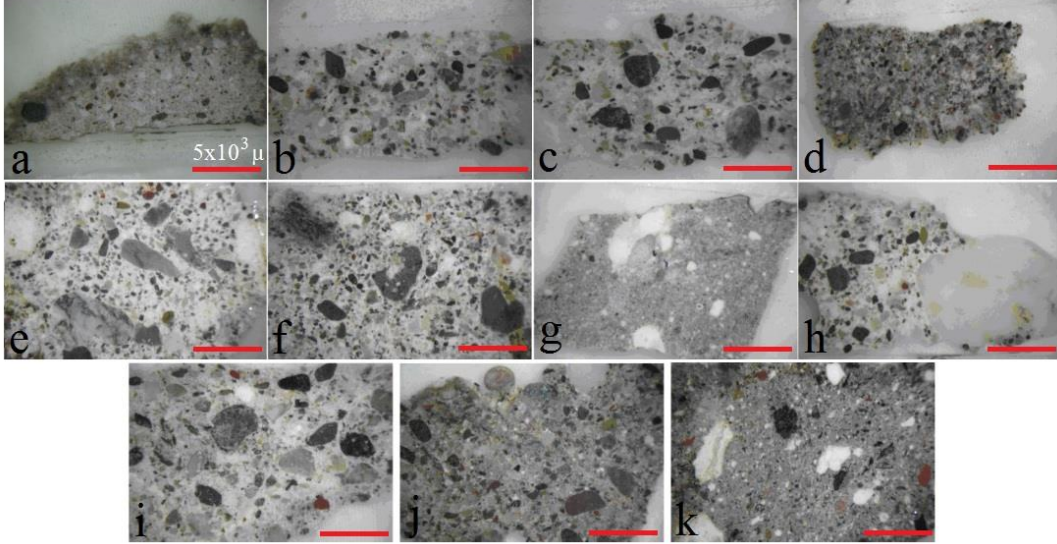
* (az): % 1-2, (çok az): < % 1.

Tablo 6. Polarizan mikroskop inceleme sonuçları.

Kod	Açıklama	A*	B**
N1	Agrega geneli 1000µ elek altı kireçtaşı. Az miktarda siyah cüruf tozu/parçası ve ~%15 kum agregası (yuvarlak). Mineral geneli plajiyoklaz, yer yer kuvars ve amfibol. Kayaç parçaları volkanik türde.	25-30	+
N2a	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak/az yuvarlak). %5-10 kireçtaşı parçası ve eser miktarda kireç topakları. Mineraller feldspat ve kuvars. Kayaç: metaformik (kısmen şistik) ve volkanik.	~30	+
N2b	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak/az yuvarlak). %5-10 kireçtaşı parçası ve %2-3 kireç topakları. Mineraller feldspat ve kuvars. Kayaç parçalarının geneli metaformik ve volkanik türde, eser miktarda serpantin.	~35	+
N3	Agrega geneli kayaç parçası/yer yer mineraller (yuvarlak/az yuvarlak). %3-5 kireçtaşı parçası ve ~%15 kireç topakları. Mineral: alkali feldspat ve kuvars. Kayaç geneli metaformik (kısmen şistik) ve yer yer volkanik türde (demir ihtivalı).	30-35	+/-
N4	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak). %20-25 kireç topakları, çok az miktarda kireçtaşı parçası. Mineraller feldspat ve kuvars. Kayaç parçalarının geneli metaformik ve volkanik türde, eser miktarda serpantin bulunmakta.	20-25	+
N5	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak). %2-3 harç parçası, %5-10 kireç tozağı ve çok az kireçtaşı parçası. Mineraller feldspat ve kuvars (eser miktarda biyotit). Kayaç: metaformik ve volkanik türde.	20-25	+
N6	Genel olarak agregasız. Numunenin fazı iyi. ~%30 kireç topakları, %3-5 kum agregası ve eser miktarda kalsit.	X	X
N7	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak/az yuvarlak). ~%5 kireç tozağı, az miktarda kireçtaşı parçası ve fosil kavkı. Mineraller alkali feldspat, plajiyoklaz ve kuvars. Kayaç parçalarının geneli metaformik, yer yer volkanik kayaç ve serpantin parçaları da mevcut.	~35	+
N8	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak/az yuvarlak). %3-5 kireçtaşı parçası ve az miktarda kireç tozağı. Mineraller alkali feldspat ve kuvars. Kayaç parçaları volkanik, yer yer metaformik.	35-40	+/-
N9	Agrega geneli mineral/kayaç parçası (yuvarlak/az yuvarlak). Az miktarda kireç tozağı ve eser miktarda tuğla parçası. Mineraller genel olarak feldspat ve kuvars, yer yer piroksen. Kayaç parçalarının geneli volkanik ve metamorfik, yer yer serpantin parçaları.	~20	+
N10	~%30 kireç tozağı, ~%20 cüruf tozu/parçası ve %5-10 kireçtaşı parçası.	20-25	-

*A: Bağlayıcı alanı (%).

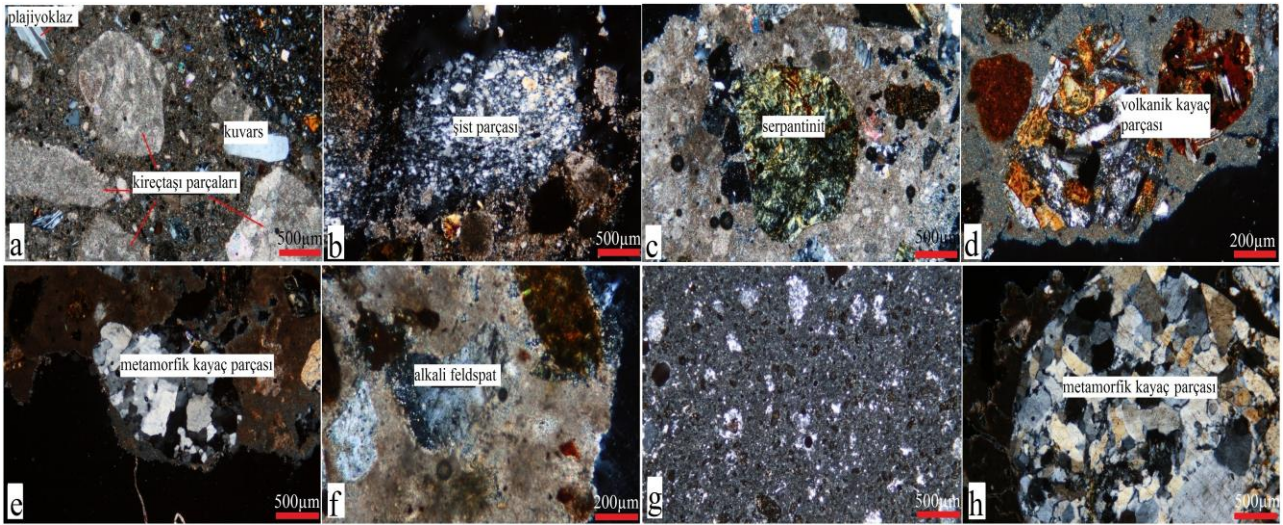
**B: Bağlayıcı-agrega ve bağlayıcının kendi içerisindeki fazı +: iyi, -: zayıf, +/-: yer yer iyi yer yer zayıf, x: tanımlanmadı.



Şekil 4. Örneklere ait stereo mikroskop görüntüleri (a) N1, (b) N2a, (c) N2b, (d-k) N3-N10.

Numune bünyesini oluşturan bileşenlerin ait olduğu kayaç türlerine bakıldığında örneklerde genel olarak kayaç parçalarının volkanik ve/veya metamorfik (kimi zaman kısmen şistik karakterli; N2a ve N3) olduğu ve bazı örneklerde

serpantinit ve demir gibi içeriklerinin yer aldığı görülmüştür. Son olarak, bir numunede (N7) fosil kavkına rastlanmıştır. Örneklere ait polarizan mikroskop görüntüleri Şekil 5-6'da verilmiştir.



Şekil 5. Polarizan mikroskop görüntüleri (a) N1, (b) N2a, (c) N2b, (d-h) N3-N7.

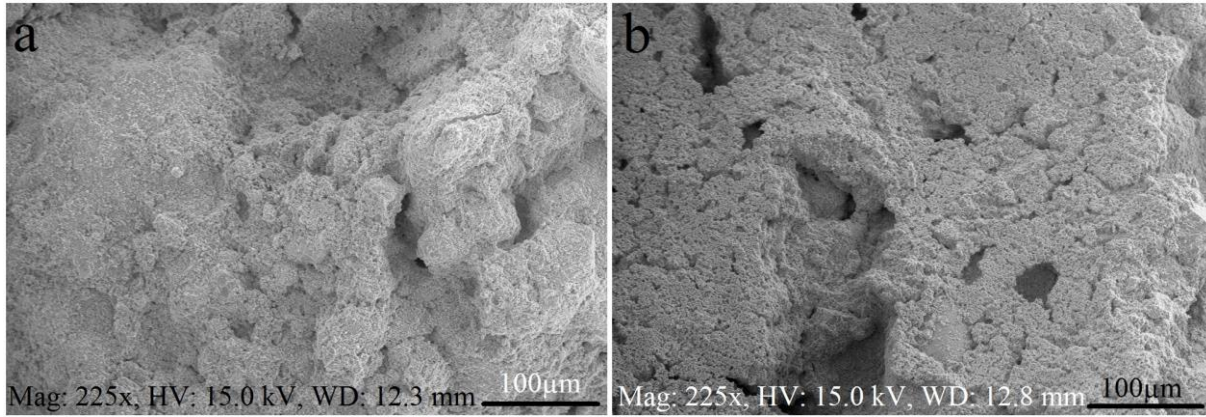


Şekil 6. Polarizan mikroskop görüntüleri (a) N8, (b) N9, (c) N10.

4.4. SEM/EDX sonuçları

Mikro yapısal ve mikro kimyasal özelliklerin belirlenmesinde etkin olarak kullanılan SEM/EDX arkeometrik araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle pişmiş toprak ürünlerine ait buluntuların incelenmesinde vitrifikasyon derecesinin belirlenmesi ve örneklerdeki sinterlenme davranışının ortaya çıkartılmasında bu yöntem oldukça etkilidir (Bayazıt vd., 2016). Bu çalışmada yer alan

numunelerin karakteristik özellikleri genel itibariyle kapsamlı bir şekilde diğer analiz yöntemleri ile ortaya çıkarıldığından dolayı tüm örnekler için elektron mikroskobu tercih edilmemiş olup yalnızca imkânlar dâhilinde temsili iki sıva numunesi (N2a ve N2b) SEM/EDX ile incelemiştir. N2a ve N2b kodlu sıva numunelerine ait SEM görüntüleri ve kimyasal kompozisyonları (EDX) sırasıyla Şekil 7 ve Tablo 7-8'de verilmiştir.



Şekil 7. Sıva numunelerine ait SEM görüntüleri (a) N2a, (b) N2b.

Tablo 7. N2a kodlu numuneye ait EDX sonucu.

Element	Norm. C (wt.%)	Atom. C (wt.%)	Compound norm.	Comp. C [wt.%]
Oksijen	29,13	50,23	-	0,00
Sodyum	0,74	0,89	Na ₂ O	1,00
Magnezyum	0,46	0,52	MgO	0,77
Aluminyum	0,32	0,33	Al ₂ O ₃	0,61
Silisyum	1,08	1,06	SiO ₂	2,31
Klor	0,22	0,17	-	0,22
Kalsiyum	67,35	46,36	CaO	94,23
Fosfor	-	-	P ₂ O ₅	0,00
Potasyum	0,43	0,30	K ₂ O	0,52
Demir	0,25	0,12	FeO	0,33
Titanyum	-	-	TiO ₂	0,00

Tablo 8. N2b kodlu numuneye ait EDX sonucu.

Element	Norm. C (wt.%)	Atom. C (wt.%)	Compound norm.	Comp. C [wt.%]
Oksijen	29,06	50,39	-	0,00
Sodyum	-	-	Na ₂ O	0,00
Magnezyum	0,36	0,41	MgO	0,60
Aluminyum	0,40	0,41	Al ₂ O ₃	0,75
Silisyum	0,77	0,76	SiO ₂	1,64
Klor	-	-	-	0,00
Kalsiyum	68,75	47,59	CaO	96,19
Fosfor	-	-	P ₂ O ₅	0,00
Potasyum	0,54	0,38	K ₂ O	0,65
Demir	0,12	0,06	FeO	0,15
Titanyum	-	-	TiO ₂	0,00

Buna göre, numunelerin ince taneli bir hamur yapısına sahip olduğu ve bünyelerin kısmen gözenekli olduğu görülmektedir. Örneklerin EDX analizinde baskın olarak saptanan CaO (sırasıyla ağırlıkça %94,23 ve %96,19) sıvanın baskın şekilde karbonatlı hammadde (CaCO₃) içerdiğine işaret etmektedir. MgO miktarının sırasıyla ağırlıkça %0,77 ve %0,60 olması karbonatlı hammadde olarak dolomit ihtivasının bulunma olasılığını azaltmaktadır. Bu veriler sıvanın kireçtaşı esaslı kayalardan elde edilen hammaddeler kullanılarak hazırlandığını göstermektedir. Çok az miktarlarda saptanan Al₂O₃ ve FeO içeriklerinin (sırasıyla %0,61-0,75 ve %0,33-0,15) kil minerallerinden, SiO₂ içeriğinin (%2,31-1,64) kuvars ve/veya kil minerallerinden, Na₂O (yalnızca N2a için; %1,0) ve K₂O (%0,52-0,65) içeriklerinin plajiyoklaz/feldspattan kaynaklandığı düşünülmektedir. N2a kodlu numunede tespit edilen ağırlıkça %0,22'lik klor içeriğinin safsızlık olarak bünyede yer aldığı öngörülmektedir. Elde edilen sonuçların diğer

test ve analiz verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu bölümde, çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında her örnek için genel bir değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, N1 kodlu numunenin Portland çimento (dozaj: 250-300) içerikli harç olduğu ve bünyesindeki agregaların ($<2 \times 10^3 \mu\text{m}$) büyük oranda kireçtaşı tozu/kırığı ($\sim\%60-65$) ve kalanının ise dere kumu olduğu saptanmıştır (puzzolanik nitelikli, $\%35-40$ tüfik/bazaltik). Ayrıca numunenin hamurunda cüruf parçacıklarına ($\sim\%1$) rastlanmıştır. N2 kodlu numunenin birbiri üzerine uygulanmış iki farklı katmana sahip (N2a-N2b) sıva örneği olduğu ve bu katmanların büyük oranda benzer içeriklerde olduğu belirlenmiştir. Sıva katmanlarının bağlayıcı alan değerleri sırasıyla $\sim\%30$ ve $\sim\%35$ olan sönmüş kaymak kireç olduğu saptanmıştır. Numune bünyesindeki agregaların ($<7 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%15-20$ 'sinin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu görülmüştür. Ayrıca, N2b kodlu numune içerisinde kıtık (keten) ilavesinin yer aldığı tespit edilmiştir ($\sim 150-200 \text{g/m}^3$).

N3 kodlu numunenin bağlayıcı alan değeri $\%30-35$ olan sönmüş kaymak kireç içerikli harç olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<10 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%15-20$ 'sinin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, numune bünyesinde $\sim\%5-10$ kireç topağına (karbonatlaşmış) rastlanmıştır. N4 kodlu numunenin bağlayıcı alan değeri $\%30-35$ olan sönmüş kaymak kireç içerikli harç olduğu görülmüştür. Numune bünyesindeki agregaların ($<7 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%15-20$ 'sinin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu saptanmıştır. Numune bünyesinde $\sim\%5-10$ kireç topağına (karbonatlaşmış) ve eser miktarda cüruf kalıntısına rastlanmıştır.

N5 kodlu numunenin $\sim\%10-15$ sönmüş kaymak kireç ilaveli portland çimento (100-150 dozaj) içerikli harç olduğu gözlemlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<7 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%10-15$ 'inin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesinde

$\sim\%5-10$ kireç topağına (karbonatlaşmış) rastlanmıştır. N6 kodlu numunenin bağlayıcı olarak beyaz çimento (~ 300 dozaj) içeren harç olduğu ve agregası ($<5 \times 10^3 \mu\text{m}$) içeriğinin $\%35-40$ kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise kara kumu (kuvars ve $\sim\%10-15$ bazaltik karakterli tane) olduğu tespit edilmiştir. Numune bünyesinde $\sim\%5-10$ kireç topağına (karbonatlaşmış) rastlanmıştır.

N7 kodlu numunenin bağlayıcı alan değeri $\%30-35$ olan sönmüş kaymak kireç içerikli harç olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<4 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%10-15$ 'inin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise (bazaltik karakterli) dere kumu olduğu tespit edilmiştir. N8 kodlu numunenin bağlayıcı alan değeri $\%30-35$ olan sönmüş kaymak kireç içerikli sıva olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<5 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%15-20$ 'sinin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu saptanmıştır. Ayrıca, numune içerisinde kıtık (keten) ilavesinin bulunduğu ($\sim 150-200 \text{g/m}^3$) ve eser miktarda cüruf parçacıklarının yer aldığı tespit edilmiştir.

N9 kodlu numunenin $\sim\%10-15$ sönmüş kaymak kireç ilaveli Portland çimento (~ 100 dozaj) içerikli harç olduğu gözlemlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<4 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%10-15$ 'inin kireçtaşı tozu/kırığı, kalanının ise dere kumu olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesinde $\sim\%1$ kireç topağına (karbonatlaşmış) rastlanmıştır. N10 kodlu numunenin bağlayıcı alan değeri $\%30-35$ olan sönmüş kaymak kireç içerikli sıva olduğu belirlenmiştir. Numune bünyesindeki agregaların ($<5 \times 10^3 \mu\text{m}$) $\sim\%45-50$ 'sinin kireçtaşı tozu/kırığı, $\sim\%20-25$ 'inin bazaltik dere kumu, $\sim\%20-25$ 'nin kül ve $\sim\%5-10$ 'unun tuğla tozu/kırığı olduğu tespit edilmiştir. Numune içerisinde kıtık (keten) ilavesinin bulunduğu ($\sim 150-200 \text{g/m}^3$) ve eser miktarda cüruf parçacıklarının yer aldığı tespit edilmiştir.

Yapılan test, analiz ve değerlendirmeler neticesinde; bağlayıcı olarak sönmüş kaymak kireç ve katkı olarak kül içeren N10 kodlu sıva numunesinin yapının en erken malzemelerini temsil ettiği, ayrıca N2, N3, N4, N7 ve N8 kodlu numunelerin bağlayıcı olarak sönmüş kaymak kireç içeren sıva/harç örnekleri olduğu ve son

olarak N1, N5, N6 ve N9 kodlu numunelerin bağlayıcı olarak çimento içerdiği ve büyük olasılıkla yakın dönemde üretilmiş oldukları belirlenmiştir. Sonuç olarak, adı geçen yapının koruma/onarım müdahalelerinde kullanılması planlanan yeni sıva ve harçların özellikle N2, N3, N4, N7, N8 ve N10 kodlu numunelere ait içeriklere paralel olarak hazırlanmasının yapının karakteristik ve yapısal özelliklerinin de gözetilmesi bakımından uygun olacağı öngörülmektedir. Arkeometrik çalışmaların kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılmasındaki önemli rolü bu çalışma ile bir kez daha ortaya konulmuştur. Mevcut çalışmadaki sonuçların/verilerin adı geçen yapının tekrar eski görünümüne dönerek kültürel bir miras olarak sonraki kuşaklara aktarılmasında etkili, yönlendirici ve belirleyici olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Kültür Varlıkları Daire başkanlığı (KUDEB) tarafından hazırlanan "Diyarbakır Sur İlçesi 204 ada 1-2-3-4-5-6-7-8-16 Parseller Fatih Paşa Kurşunlu Camii Restorasyon Konservasyon Raporları"ndan faydalanılmıştır (2017). Çalışmada yer alan analiz/test sonuçlarının (şekil/tablo) ve resim/fotoğrafların kullanımı ile ilgili olarak gerekli izinleri veren T.C. Başbakanlık, Vakıflar Genel Müdürlüğü, Diyarbakır Bölge Müdürlüğü'ne ve (çalışmadaki test/analizlerin gerçekleşmesine de destekte bulunan) Aykaç İnş. Taah. Turz. San. ve Tic. Ltd. Şti. yetkililerine teşekkür ediyoruz. KUDEB yetkililerine/laboratuvar çalışanlarına teşekkür ediyoruz. Ayrıca, yapının 2010 ve 2016 yıllarına ait görünümünü belgeleyen fotoğrafları temin ederek araştırmaya destek veren Prof. Dr. İrfan Yıldız'a (Dicle Üniversitesi) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Aslanpa, O., (1986). Osmanlı Devri Mimarisi, İstanbul.
Baş, G., (2006). Diyarbakır'daki İslam Dönemi Mimari Yapılarında Süsleme, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Van.
Bayazit, M., Isik, I., Issi, A., Genc, E., (2016). Archaeometric investigation of the Late Chalcolithic-Early Bronze Age I and the 1st-2nd

millennium BCE potteries from Kuriki-Turkey, *Applied Clay Science* (126) 180-189.
Baykal, K., (1938). *Fatih Paşa Camii ve Minareler*, Karacadağ I, S.5, Diyarbakır, s.11.
Beysanoğlu, Ş., (1963). *Bütün Cepheleri İle Diyarbakır*, İstanbul.
Güleç, A., (2013). Fatih Camii ve I. Mahmut Kütüphanesi harç ve sıvalarının karakterizasyonu, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, Sayı: 7, 110-118.
Koralay, T., Duman, B., Kadioğlu, Y.K., Akyol, A.A., (2016). "Tarihi harç ve sıva örneklerinin çoklu analitik yöntemler kullanılarak incelenmesi: Tripolis (Yenice/Denizli) Örneği", 31. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 11-15 Mayıs 2015, Erzurum, 1-20.
KUDEB, (2017) Diyarbakır Sur İlçesi 204 Ada 1-2-3-4-5-6-7-8-16 Parseller Fatih Paşa Kurşunlu Camii Restorasyon Konservasyon Raporları.
Loehman, R.E. (1993). *Characterization of Ceramics*, Butterworth-Heinemann, Reed-Elsevier Inc.
Özgen, Ö., (2012). "Horasan harcı üzerine deneysel çalışmalar", *Uzmanlık Tezi*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü.
Palanivel, R., Kumar, U.R., (2011) Thermal and spectroscopic analysis of ancient potteries, *Rom. Journ. Phys.* 56 (1-2) 195-208.
Sayın, B., (2016). Tarihi yığma yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve uygulama önerileri, *Dicle Üniversitesi, Mühendislik Dergisi*, 7(3), 387-398.
Semiz, B., Duman, B., (2017). Tripolis'te bulunan Geç antik Çağ Unguentariumları'nın Arkeometrik yönden değerlendirilmesi, *Tripolis ad Maeandrum I*, Tripolis araştırmaları (Ed.: Duman, B.), Ege Yayınları, 165-180.
Sözen, M., (1971). *Diyarbakır'da Türk Mimarisi*, İstanbul.
Tanman, M.B., (1995). "Fatih Paşa Camii" Maddesi, *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, C. 12, İstanbul, s. 251- 252.
Tekin, Ç., Kurugöl, S., (2012). Çeşitli organik katkıların kirecin karbonizasyonu üzerindeki etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27 (4), 717-728.
Trojanowicz, M., (2008) Modern chemical analysis in archaeometry, *Anal Bioanal Chem* (391) 915-918.
Tuncer, O.C., (1996). *Diyarbakır Camiler*, Ankara.
Vakıflar Genel Müdürlüğü (VGM) arşivi (Diyarbakır).
Yıldız, İ., (2011). *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, Diyarbakır.
Yılmazçelik, İ., (1995). XIX. Yüzyılın İlk Yarısında Diyarbakır, Ankara.

Archaeometric characterization of plaster and mortar samples from Fatih Paşa Mosque (Diyarbakır, Turkey)

Extended abstract

Determination of appropriate materials to be used in conservation and restoration processes of the historic architectures is of a great importance in sense of protecting the cultural heritage and conveying it to the further generations. In this context, especially thanks to the archaeometric researches which comes forward in recent years, the deteriorated materials of the structures (mortar, plaster, art tile, stone etc.) could be characterized by analytic analysis methods and the most suitable intervention can be done in the light of the obtained results.

Being parallel to this information, the present study comprises the archaeometric characterization of plaster and mortar samples supplied from Fatih Paşa Mosque (Diyarbakır, Turkey) which is also known as Kurşunlu Mosque or Bıyıklı Mehmet Paşa Mosque. Petrography, a frequently used technique in archaeometry, was used to characterize the samples. Besides, some of the representative samples were investigated by scanning electron microscope coupled with energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDX). The paste features and micro structural/chemical contents of the samples were respectively identified with these analyses (petrography and SEM/EDX). Some spot and basic tests were also carried out in order to find out the water soluble salt and protein/oil contents of the samples. Additionally, acid treatment (followed by stereo microscope), ignition loss and grain size distribution analyses were applied.

As a result of the tests and analyzes, it was seen that; i: the sample N10, which includes slaked lime putty (as the binder) and ash (as the additive), represents one of the earliest materials of the mosque, ii: the samples of N2, N3, N4, N7 and N8 cover slaked lime putty as the binder, iii: the samples of N1, N5, N6 and N9 consist of cement as the binder and presumably have been produced in the recent period. Consequently, in terms of maintaining the characteristic and structural properties of the structure, it was predicted that it would be appropriate to prepare repair plaster and mortars (planned to be used in interventions; conservation/restoration processes for the mosque) considering the contents of the samples N2, N3, N4,

N7, N8 and N10 in particular. The significant role of archaeometric researches in conserving the cultural heritage and conveying it to the further generations is again represented through this study. It is thought that the results/data of the present work would be effective, directive and decisive in this way.

Keywords: Fatih Paşa Mosque (Diyarbakır, Turkey), Archaeometry, SEM/EDX, Petrography, Characterization.



Ahlat ilçesinde yer alan Bezirhane beden duvarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi

Ercan IŞIK

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
eisik@beu.edu.tr ORCID: 0000-0001-8057-065X

Barış ANTEP

Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
baris.ante@gmail.com

İbrahim Baran KARAŞIN*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
barankarasin@gmail.com ORCID: 0000-0001-5990-1215, Tel: (412) 241 10 00 (3560)

Mehmet Emin ÖNCÜ

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
oncume@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-6434-293X

Geliş: 10.04.2018, Kabul Tarihi: 19.12.2018

Öz

Tarihi yapılar geçmişi geleceğe bağlayan önemli varlıklardır. Bu yapılar ile ilgili çalışmalar günümüzde ayrı bir önem kazanmıştır. Bu tür yapıların zaman içerisinde sağlam bir şekilde ayakta kalması bu yapıların yapım teknolojileri ile doğrudan ilgilidir. Genel olarak yığma tarzında inşa edilen bu yapıların analizleri için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu bağlamda birçok medeniyete ait farklı tarihi yapıların bulunduğu Ahlat ilçesinde yer alan ve zamanında Bezirhane beden duvarı olarak kullanılan yapının analizleri çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Yerinde yapılan inceleme ve ölçümler sonucu yapı boyutları belirlenmiştir. Yapının mevcut hali incelenerek gözleme dayalı yapısal durumu değerlendirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen boyutlar ve literatürde yer alan malzeme özellikleri kullanılarak yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model yazılım programında analiz ettirilerek programda yer alan gerilmeler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bezirhane duvarında zaman içerisinde oluşan hasarların neden ve sonuç ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma ile Ahlat ilçesindeki tarihi eserlerde oluşan hasarlar ve bu eserlerin yapım teknolojileri hakkında bilgiler verilmiştir. Tarihi eserler için oluşturulan gözleme dayalı yapısal analiz formlarının zaman içerisinde tekrarlı bir şekilde doldurulması ile yapı ile ilgili bilgilerin izlenebilirliği kolay olacaktır. Bu da yapıya yapılacak müdahalelere bir anlam katacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ahlat, tarihi beden duvarı, sonlu elemanlar analizi, yığma yapılar

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.414178

Giriş

Kültürel miras; bir topluluk tarafından geliştiren ve nesilden nesile aktarılmış olan gelenek, uygulamalar, yerler, nesnelere, sanatsal ifadeler ve değerlerin dahil olduğu yaşam biçimlerinin bir ifadesi olarak tanımlanmaktadır (ICOMOS, 2002). Kültürel miras ana hatları ile aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Yapısal Çevre (Binalar, şehirler, arkeolojik kalıntılar)
- Doğal Çevre (Kırsal alanlar, kıyı ve kıyı şeritleri, tarımsal miras)
- El Sanatları (Kitaplar ve belgeler, nesnelere, resimler) (Feather, 2006).

Kültür mirasımızın korunarak sonraki nesillere güvenli bir şekilde aktarılması çağımızın önem verdiği mühendislik konularından bir tanesidir. Bu konu değişik disiplin çalışmalarını içermektedir. Özellikle arkeoloji, mimarlık sanat tarihi ve mühendislik bilim alanları bu tür konular ile yakından ilgilenmektedir. Kültürel miras konusunda çalışmaların disiplinler arası yapılması bu çalışmalara ayrı bir değer katmaktadır.

Bu bağlamda Van gölü Havzasında yer alan Ahlat ilçesinde değişik medeniyetlere ait birçok tarihi yapı bulunmaktadır. Bu yapılar için yapılacak yapısal analizler ile kullanılan malzemeler ve özellikleri ile yapım teknolojileri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Özellikler yapım zamanında bilgi teknolojilerinin çok gelişmemiş olması bu tür analizlere ayrı bir önem kazandırmaktadır. Tarihi süreç içerisinde sağlam bir şekilde ayakta durmaları da bu tür yapılara olan ilgiyi bir kat daha arttırmaktadır.

Tarihi yapıların analizler ile ilgili birçok çalışma literatürde yer almaktadır (Işık vd., 2017; Işık vd., 2016; Karaşin ve Işık, 2016; Hadzima-Nyarko et al., 2017; Hadzima-Nyarko et al., 2016; Backer et al., 2018; Uğurlu et al., 2017; Özbek et al., 2017; Erdil et al., 2018; Doğangün ve Sezen, 2012; Mangia et al., 2016). Bu çalışmalarda

genel olarak çalışma bölgesinde yer alan tarihi yapıların modellenmesi yapılmıştır. Modellemeler yapılırken daha sağlıklı sonuç elde edilecek olan sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmalar neticesinde, analizleri gerçekleştirilen yapılar için yorum ve öneriler yapılmıştır.

Ahlat ilçesinde yapılan kazılar sonucu ortaya çıkarılan Bezirhane'ye ait beden duvarı bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Yerinde yapılan röleve çalışmaları ve incelemeler sonucu yapının boyutları belirlenerek yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak gözleme dayalı olarak yapıda meydana gelen hasarlar ile neden sonuç ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra yapı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yazılım programında modellenmiştir. Modellenen yapı için yazılım programında yer alan analiz türleri farklı yüklemeler için tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler getirilmiştir.

Çalışma ile amaçlanan, kültürel mirasın büyük bir bölümünü yapıların oluşturduğu Ahlat ilçesindeki tarihi yapıların yapım teknolojileri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Ayrıca, tarihi eserlerin günümüz mühendislik hizmetlerine benzer bir mühendislik anlayışı ile inşa edildiği görülmüştür.

Bezirhane Beden Duvarının Özellikleri

Zamanın küçük sanayi tesislerinden biri bezirhanelerdir. Bezirhaneler keten, kendir gibi bitki tohumlarının işlendiği işletmelerdir. Bezir, tohum ve hane ise ev anlamında kullanılarak bezirhane terimi ortaya çıkmıştır. Bezirhane, keten kendir ve zeyrek tohumlarından bezi yağının yapıldığı yer anlamına gelmektedir (Parlatır, 2011; Özcan, 2015; Yörük, 2009). Ahlat ilçesinde yapılan kazılar sonucunda çeşitli fonksiyonları olan odalardan oluşan Bezirhane (imalathane, yağhane) ortaya çıkarılmıştır. Kazılar sonucunda elde edilen kalıntılardan yapının beden duvarlarının yöresel olarak Ahlat taşı denen kesme taştan örülü olduğu aralarında

ise moloz taşların dolgu malzemesi olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Bu yapının İki kubbe mahallesinde, kale duvarına benzer şekilde inşa edilen beden duvarının yanı sıra değişik boyutlarda odalardan meydana geldiği anlaşılmaktadır (Kültür Portalı, 2018). Buradan o dönem için Ahlat ilçesinde sanayi tesislerinin varlığını göstermekle birlikte bir ticaret merkezi olduğunu söylemek mümkündür.

Bezirhane'ye ait beden duvarı bir kale duvarı tarzında inşa edilmiştir. 12mx13.70m boyutlarında inşa edilen duvarın ortalama kalınlığı 86 cm olarak ölçülmüştür.

İlçe merkezinin batısında bulunan beden duvarı Harabeşehir mahallesinde bulunmaktadır. 38°44'53.0" enleminde ve 42°27'27.0" boylamında yer almaktadır. Ahlat ilçesinde bulunan Selçuklu Mezarlığına, Emir Bayındır Kümbetine oldukça yakın bir konumdadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bezirhane'nin konumu

Tarihi yapıların sıklıkla bulunduğu bir bölgede yer alan Bezirhane'ye ait beden duvarı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bezirhane beden duvarı

Beden Duvarının Yapısal Analizi

Beden duvarında, yöresel ismi ile Ahlat taşı olarak bilinen, kesme taş kullanılmıştır. Zaman içerisinde beden duvarında birtakım onarımlar yapılmıştır.

Beden duvarında yer yer su etkilerinden dolayı kireçlenmeler gözlemlenmiştir. Özellikle duvarın üst ve temel kısmında bulunan taşlarda tahribat oluşumları ve kütle kayıpları çokça görülmektedir. Ahlat taşının genel özelliklerinden biri olan renk atması ve renk değişimi diğer tarihi yapılarda olduğu gibi bu yapıda da mevcuttur. Doğal şartlardan dolayı taşların bazılarında aşınmalar mevcuttur. Gözlemlenen bu hasarlara ait görseller Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Beden duvarında gözlemlenen hasarlar

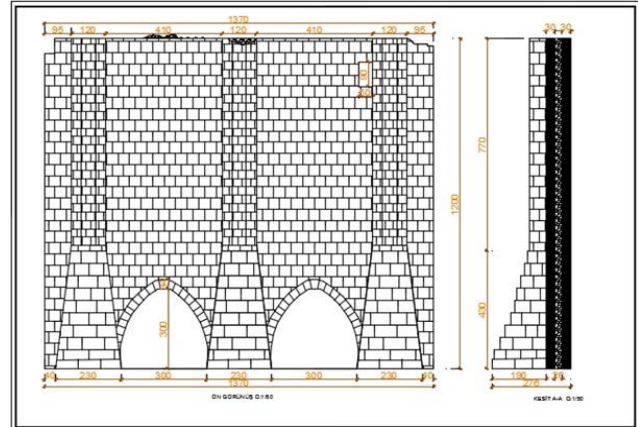
Gözleme dayalı olarak oluşturulan ve yerinde yapılan incelemeler sonucu doldurulan form Tablo 1’de (Işık vd., 2018) gösterilmiştir.

Tablo 1. Bezirhane beden duvarı için gözleme dayalı yapısal değerlendirme formu

İncelenen Parametre	Evet Var	Hayır Yok	Ek Açıklama
Zaman etkisi ile bozulmalar	X		Kısmen
Doğa koşullarının etkisi	X		
İnsanların yaptığı tahribatlar	X		
Yapının aktif kullanılma	X		
Bakımsızlık		X	
Gelişigüzel onarım ve tadilatlar		X	
Özgünlüğü korunmuş mu?	X		
Yapıyı meydana getiren taşlarda oynama		X	
Yer yer kırılma ve kopma	X		Çok az
Yüzeylerde kireçlenme	X		
Duvar derzlerinin aşınması		X	
Yosunlanmalar ve bitkisel oluşumlar	X		
Onarım görüp görmediği	X		
Çimlenmiş toprak tabakası varlığı		X	
Çatlaklar ve çatlak özellikleri	X		Kesme çatlakları
Yüzeyde çürümeler		X	
Yüzeylerde kararma	X		
Kütle kaybı		X	
Derzlerin kayması		X	

Oturma etkilerinin varlığı		X	
Derzlerde uyumsuzluk var mı?		X	
Bitkilerin kök salması sonucu çatlamlar		X	
Yatay ve düşeyde deformasyonlar		X	
Taşıyıcı sistem elemanlarının dağılımı	Düzenli		
Koruma önlemlerinin yeterli olup olmadığı		X	
Yapı bünyesine giren suyun varlığı		X	
Donma - çözülme etkisi	X		Çok çok az
Civardaki yapılaşmanın etkisi	X		
Renk atması ve renk değişimi	X		
Doğal afet etkileri		X	
İlave Açıklamalar	Yığma yapı şeklinde inşa edilmiştir.		

Gözleme dayalı olarak yapısal durum değerlendirmesi yapılan beden duvarı, yerinde ölçümler sonucu elde edilen boyutları yardımıyla bilgisayar ortamında modellenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Bezirhane beden duvarı boyutları

Seçilen örnek yapılar için deprem davranışları belirlenirken SAP2000 (Computers and Engineering, 2011) sonlu eleman yazılım programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar (SE) modelleri, deneysel alternatiflere göre uygun maliyetli çözümler sağlamakta, ancak SE tekniklerinin gerçek başarısı, malzeme için yapısal modellere ve sürekliliğin uygun şekilde ayrılmasına bağlıdır. Duvarcılık, yatay ve düşey harç derzlerinin ayrı setlerinin mevcudiyetinden dolayı anizotropiktir ve yalnızca yığma oluşturucu malzemelerin özelliklerine değil, aynı

zamanda işçiliği yansıtan etkileşimlerine de bağlı olan ortotropik mukavemet ve yumuşatma özelliklerine sahiptir (Dhanasekar and Haider, 2008). Sonlu elemanlar yöntemi üzerinden yığma yapıların sayısal modellenmesi, iki farklı özellikten dolayı çok hesaplamalı bir iştir: bir yandan, taş binaların tipolojik özellikleri, basitleştirilmiş statik şemalara değinmemize izin vermezken, diğer yandan mekanik özellikleri malzeme, öngörüsü çok zor olabilen, yaygın olarak doğrusal olmayan bir davranışa yol açmaktadır (Giordano, 2002).

Yığma yapılar için Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) ve literatürde önerilen değerler dikkate alınarak seçilen yapı için malzeme değerleri elde edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan yapıda Ahlat Taşı kullanılan tek malzeme olarak kabul edilmiştir. Ahlat taşına ait Elastisite modülü (E) ve birim hacim ağırlık (γ) değerleri tüm yapılarda tek bir değer olarak alınmıştır. Kullanılan malzemeye ait özellikler Tablo 2’de (Işık vd., 2018) verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme özellikleri

Malzeme Tipi	Ahlat Taşı
Elastisite Modülü (E) (kN/m ²)	5000000
Özgül Ağırlık (kN/m ³)	24
Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	2.45
Poison Oranı	0.2

Ahlat taşı için basınç dayanımı belirlenirken Şimşek ve Erdal (2004) tarafından yapılan çalışmada farklı durumlardaki farklı renkteki Ahlat taşı için elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması alınmıştır. Bu değer 11.16 MPa olarak hesaplanmıştır.

Yığma tarzda inşa edilen taş duvarlar için güvenlik kayma gerilmesi Denklem (1) ile hesaplanabilmektedir. Burada σ malzemenin basınç dayanımını göstermektedir. Yukarıda 11.16 MPa olarak hesaplanan basınç dayanımı değeri, Denklem (1)’de yerine konarak güvenli

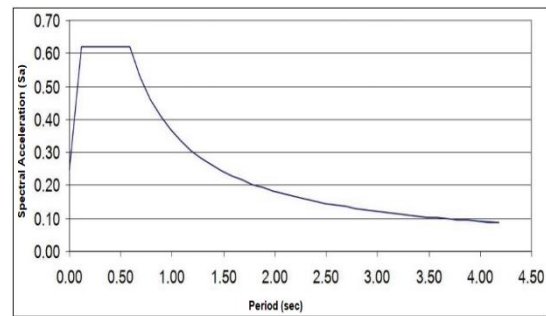
kayma gerilmesi değeri 5.68 MPa olarak hesaplanmıştır.

$$\tau_{em} = 0.10 + 0.5\sigma \quad (\text{MPa}) \quad [1]$$

Bezirhane beden duvarında kullanılan Ahlat taşı, Nemrut volkanizmasının ürünü olduğundan, püskürük taşlar sınıfında değerlendirilmiştir. Püskürük taşlar için eğilmede minimum çekme dayanımı 8 MPa olarak alınabilmektedir (Kuruşçu, 2012).

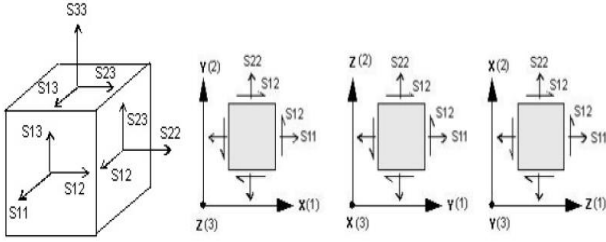
Ahlat şehir merkezi 1.Derecede tehlikeli deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Ahlat şehri Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde yer almaktadır. Ahlat ve civarı depremsellik açısından oldukça riskli bir kuşakta yer almaktadır. Bu çerçevede azami yer ivmesi katsayısı $A_0=0.40$ olarak alınmıştır.

Hazırlanan hesap modeli üzerinde, sabit yükler ve deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketinin yol açtığı zorlamaların göz önüne alındığı iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Spektrum, EQx ve EQy yüklemesi olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda uygulanmıştır. Çalışmada dikkate alınan tüm yapıların dinamik analizlerinde kullanılan spektrum eğrisi şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Dinamik analizlerde kullanılan spektrum eğrisi

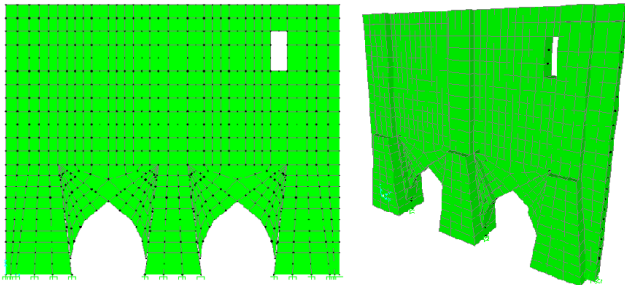
Yapının sonlu elemanlar modelinde kullanılan elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, sayısal modellemenin yapıldığı yazılımın öngördüğü kabullere bağlı kalınarak Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. İşaret uyumu ve yön kabulleri (Dabanlı, 2008)

Şekil 6'da belirtildiği üzere; S11: (x) yönünde düşey gerilme, S22: (y) yönünde düşey gerilme, S33: (z) yönünde düşey gerilme, (S12 = S21): x-y düzleminde kayma gerilmeleridir. Modal analiz yapının serbest titreşim periyotlarının, frekans değerlerinin, kütle katılım oranlarının ve mod şekillerinin belirlenmesini sağlayan dinamik analiz yöntemidir (Mutlu ve Şahin, 2016).

Çalışmada incelenen duvara ait deprem analizleri SAP2000 yazılım programında gerçekleştirilmiştir. Yazılım programında elde edilen sonlu eleman modeline ait görseller Şekil 7'de gösterilmiştir.



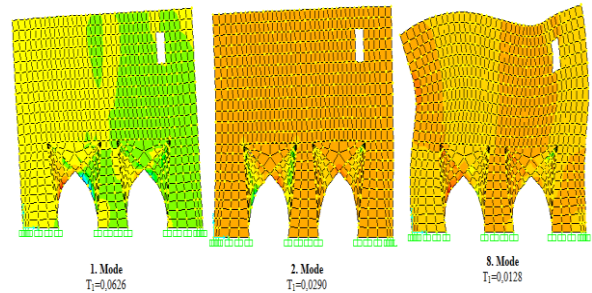
Şekil 7. Yazılım programında oluşturulan duvarın sonlu eleman modeli

Hazırlanan sonlu eleman modeli toplam 812 adet düğüm noktası ve 710 adet kabuk eleman ile oluşturulmuştur. Modal analizler yapılarak imarethane duvarının dinamik özellikleri belirlenmiştir. Modal analizler gerçekleştirilirken yapıda oluşan ilk 18 mod dikkate alınmıştır. Oluşturulan modelde X ve Y doğrultularına kütle katılım oranlarının %80'in üzerinde olan modlar dikkate alınmıştır. Dolayısıyla daha fazla mod alınmasının fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. Modelin modal analiz sonuçlarına göre etkin modları, doğal

titreşim periyotları ile kütle katılım oranları Tablo 3'de, mod şekilleri de Şekil 8'de gösterilmiştir.

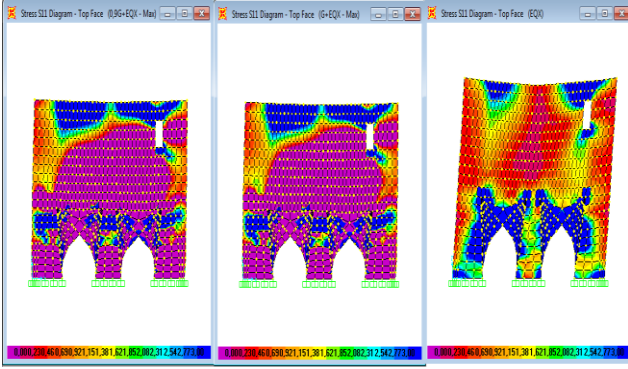
Tablo 3. Modelin etkin kütle katılım oranları ile beraber modal analiz sonuçları

Mod	Periyod	U_x	U_z	ΣU_x	ΣU_z	R_y	ΣR_y
1	0,062617	0,71909	0	0,71909	0	0,48036	0,48036
2	0,029012	0,00783	0,77029	0,72691	0,7703	0,38438	0,86473
3	0,028123	0,15825	0,0359	0,88517	0,8062	0,0003	0,86504
4	0,022006	0,00001265	0,00195	0,88517	0,80815	0,00091	0,86594
5	0,017765	0,00041	0,00902	0,88557	0,81717	0,00495	0,87089
6	0,017493	0,02282	0,00006305	0,90839	0,81723	0,01272	0,88361
7	0,013148	0,00353	0,00015	0,91192	0,81739	0,00006478	0,88367
8	0,01284	0,00797	0,0000453	0,91989	0,81743	0,00049	0,88417
9	0,01228	0,00248	0,00000970	0,92237	0,81744	0,00021	0,88438
10	0,011749	0,00059	0,00001517	0,92295	0,81746	0,00109	0,88547
11	0,011436	0,00296	0,00033	0,92591	0,81779	0,00886	0,89433
12	0,010319	0,00006715	0,10058	0,92598	0,91837	0,04405	0,93838
13	0,009767	0,00232	0,00146	0,9283	0,91983	0,0022	0,94058
14	0,009359	0,0007	1,724E-07	0,929	0,91983	0,00156	0,94214
15	0,009114	0,00453	0,00000627	0,93353	0,91984	0,00209	0,94423
16	0,008702	0,00015	0,00007254	0,93368	0,91991	0,00005983	0,94429
17	0,008423	0,001	0,00041	0,93468	0,92032	0,00007606	0,94437
18	0,008269	0,00266	0,00000255	0,93734	0,92033	0,00126	0,94562

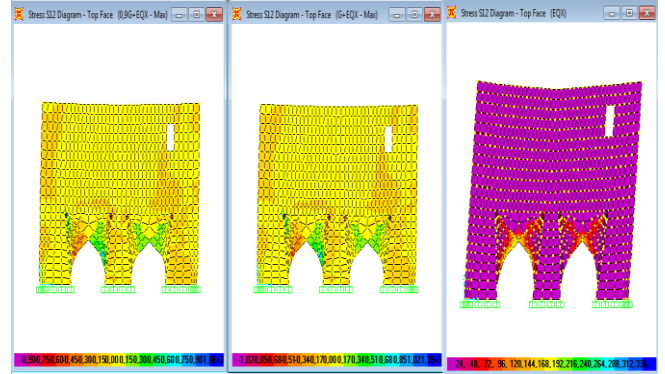


Şekil 8. Duvar modeli için elde edilen mod şekilleri ve periyot değerleri

Yazılım programında yer alan X doğrultusundaki düşey gerilme değerleri olan S11 için farklı yükleme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 9'da gösterilmiştir.

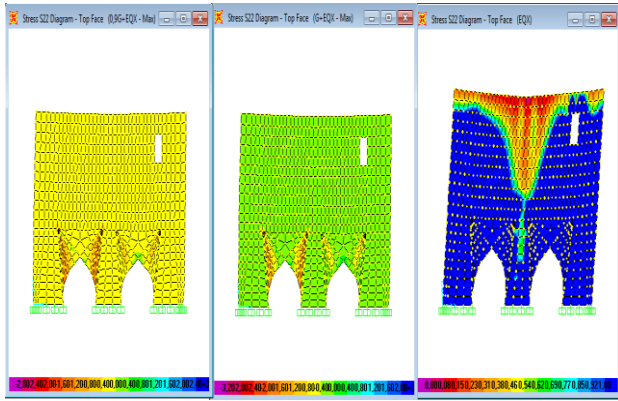


Şekil 9. Farklı yükleme durumları için oluşan S11 gerilme değerleri



Şekil 11. Farklı yükleme durumları için oluşan S12 gerilme değerleri

Yazılım programında yer alan Y doğrultusundaki düşey gerilme değerleri olan S22 için farklı yükleme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Farklı yükleme durumları için oluşan S22 gerilme değerleri

Yazılım programında yer alan X-Y doğrultusundaki kayma gerilme değerleri olan S12 için farklı yükleme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 11’de gösterilmiştir.

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum çekme gerilme değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Deprem etkisi altında görülen maksimum çekme gerilmeleri

Yükleme türü	S11 (MPa)	S22(MPa)
G+QE _x	6.947	1,969
0.9G+ QE _x	6.347	1,797

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum basınç gerilme değerleri Çizelge 4.45’te verilmiştir.

Tablo 5. Deprem etkisi altında görülen maksimum basınç gerilmeleri

Yükleme türü	S11 (MPa)	S22(MPa)
G+QE _x	6.735	4.173
0.9G+ QE _x	6.156	3.790

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum kayma gerilme değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Deprem etkisi altında görülen maksimum kayma gerilmeleri

Yükleme türü	S12 (MPa)
G+QE _x	1.336
0.9G+ QE _x	1.210

Sonuçlar

Bu çalışmada Ahlat ilçesinde yer alan Bezirhane'ye ait beden duvarının deprem davranışının ve yapısal durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Tarihi beden duvarının kabuk elemanlar kullanılarak sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modeli için yazılım programında yer alan S11, S22 ve S12 gerilmeleri hesaplanmıştır. Ayrıca beden duvarına ait mod şekilleri ve periyot değerleri elde edilmiştir.

Ahlat Bezirhane beden duvarı hakkında bilgiler verilmiştir. Yerinde yapılan incelemeler sonucu gözleme dayalı yapısal analiz formu doldurulmuştur. Beden duvarında zaman içerisinde oluşan hasarlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Analiz sonuçlarından, yapıda oluşan en büyük kayma gerilmelerinin bezirhane beden duvarının alt kısmında bulunan gözlemlere yakın bir bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Analizlerden elde edilen maksimum basınç, kayma ve çekme gerilmelerinin, Ahlat taşının basınç, kayma ve çekme dayanımları olan, sırasıyla, 11.16, 5.68 ve 8 MPa değerlerinden küçük olması, bu gerilmelerin yapı tarafından güvenli bir şekilde karşılandığını göstermektedir. Bu sonuç da, yapının süreç içerisinde ayakta kalması ile uyum göstermektedir.

Bu çalışma ile, tarihi yapıların yapısal güvenliklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesinin ve kültür miraslarımızın gelecek nesillere güvenle aktarılması için gerçek davranışı en iyi yansıtacak şekilde sonlu eleman modellerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma Barış Antep'in yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- Backer, L.D., Janssens, A., Steeman, M., Paepe, M.D., (2018). Evaluation of display conditions of the Ghent altarpiece at St. Bavo Cathedral. *Journal of Cultural Heritage* 29:168–172
- Computers and Structures, 2011. SAP 2000 V14.0.0 Software, Structural Analysis Program
- Dabanlı, Ö., (2008). Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dhanasekar, M., Haider, W., (2008). Explicit finite element analysis of lightly reinforced masonry shear walls. *Computers & Structures*, 86(1):15-26.
- Doğangün, A., Sezen, H. (2012). Seismic vulnerability and preservation of historical masonry monumental structures. *Earthquake and Structures*, 3(1):83-95.
- Erdil, B., Tapan, M., Akkaya, İ., Korkut, F., (2018). Effects of structural parameters on seismic behaviour of historical masonry minaret, *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 62(1):148-161.
- Feather, J., (2006). *Managing the Documentary Heritage: Issues from the Present and Future*. Preservation Management for Libraries, Archives and Museums, 1-18.
- Giordano, A., Mele, E., De Luca, A., (2002). Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 24(8):1057-1069.
- Hadzima-Nyarko, M., Mišetić, V., Morić, D., (2017). Seismic vulnerability assessment of an old historical masonry building in Osijek, Croatia, using Damage Index. *Journal of Cultural Heritage*, 28:140-150.
- Hadzima-Nyarko, M., Pavić, G., Lešić, M., (2016). Seismic vulnerability of old confined masonry buildings in Osijek, Croatia. *Earthquakes and Structures*, 11(4):629-648.
- Mangia, L., Ghiassi, B., Sayın, E., Onat, O., Lourenço, P. B. (2016). Pushover Analysis of Historical Elti Hatun Mosque. In Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Civil Engineering ACE 2016 (pp. 1-8).
- ICOMOS, 2002. International Cultural Tourism Charter. Principles and Guidelines for Managing Tourism at Places of Cultural and Heritage Significance. ICOMOS International Cultural Tourism Committee.
- Işık, E., Antep, B., Karaşin, İ.B. (2018). Structural Analysis of Ahlat Emir Bayındır Bridge. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 8(1), 11-18.

- Işık, M.F., Işık, E., Bülbül, M.A., Karaşin, İ.B., (2017). QR code application for geometric location and information of historical structures. In International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), Bayburt, Turkey.
- Işık, M.F., Işık, E., Ülker, M., (2016). Establishment of urban memory system for Ahlat district, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, Turkey.
- İnternet adresi : <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/bitlis/kulturenvanteri/bezrhane666826> (17.09.2017)
- Karaşin, İ.B., Işık, E., (2016). Protection of Ten-Eyed Bridge in Diyarbakır, *Budownictwo i Architektura*, 15(1):87-94.
- Kuruşcu, A. O. (2012). Yığma duvar ve temellerde doğrusal olmayan modelleme (Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Mutlu, Ö., Şahin, A., (2016). Investigating the effect of modeling approaches on earthquake behavior of historical masonry minarets-Bursa Grand Mosque case study. *Sigma*, 7(2):123-136.
- Özbek, O., Akyıldız, M.H., Karaşin, A.H., Öncü, M.E., Çetin, S.Y., (2017). Assessment of multi-storey masonry buildings in Sur region according to Turkish Seismic Code 2007. *DUMF Journal of Engineering*, 8(2):395-402.
- Özcan, D. (2015). XVI. Yüzyılda Çıldır Eyaleti büyük Ardahan Sancağı'nda su değirmenleri ve bezirhaneler. *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, 1(24):71-87.
- Parlatır, İ., (2011). Osmanlı Türkçesi Sözlüğü.4. Baskı. Yargı Yayınları, Ankara
- Şimşek, O., Erdal, M. (2004). Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (ignimbrite). *Gazi University Journal of Science*, 17(4), 71-78.
- Turkish Earthquake Code (TEC) (2007). Turkish earthquake code-specification for structures to be built in disaster areas, Turkey.
- Uğurlu, M.A., Günaslan, S.E., Karaşin, A.H., (2017). Modelling and structural analysis of the Four-legged minaret. *DUMF Journal of Engineering*, 8(2):413-421.
- Yörük, D. (2009). XV. yüzyılın ikinci yarısında Akşehir'deki iktisadî faaliyetler. *Pursuit of History*, 1(1). 71-82

Analysis of the Bezirhane Main Wall in the Ahlat District by Using the Finite Element Method

Extended abstract

There are many historical buildings belonging to different civilizations in the Ahlat district located in the Van lake basin. Structural analyzes to be carried out for these structures can have information about the used materials, properties of these materials and construction technologies of these structures. The fact that the information technologies are not very well developed at the time of construction makes these analyzes more important.

Occasionally, calcifications were observed due to water effects on the main wall. Particularly, on the stones at the top and base of the wall, the formations of destruction and mass losses are clearly visible. One of the general characteristics of the Ahlat stone is that color change is also present in this building as it is in other historical buildings. Some of stones have corrosion due to natural conditions.

Historical structures are important assets that link the past to the future. Related studies of these structures have gained a special importance nowadays. The staying solid of such structures over time is directly related to the construction techniques of these structures. Generally, it is possible to obtain healthy results by using the finite element method for the analysis of these masonry constructions. in this context, topic of this study is analysis results of the structure which used at the time as " Bezirhane Main Wall" in Ahlat province where there are many historical buildings belong to many civilizations. Dimensions of the building were determined as a result of on-site inspection and measurements. The dimensions of the wall are 12m x 13.70m and the average thickness is 86cm. Structural assessment based on observation was carried out by examining the current state of construction. Finite element model was generated by using the dimensions obtained from the measurements and the material properties in the literature. The generated model is analyzed in the software program and the stresses are calculated. Obtained results were evaluated. The cause and effect relation of damages occurring over time on the "Bezirhane" main wall have been determined. This study gave information about the damage that occurred in the historical monuments and the construction techniques of these monuments

of Ahlat, which has rich historical texture. In progress of time, repeatedly applying of observation based structural analysis forms created for historical monuments, will make easy to trace information about the structure. The Ahlat stone has compressive stress of 11.16 MPa, a shear stress of 5.68 MPa and tensile strength of 8 MPa. The stresses obtained from the analyzes are smaller than these stresses. So, this shows that the structure can bear these stresses. This result is consistent with the stands of the structure over time.

Keywords: Ahlat, structural, wall, finite elements, analysis, masonry



Trapez Labirent Savakların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Kullanılarak Analizi

Mehmet Cihan AYDIN*

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
mcaydin@gmail.com ORCID: 0000-0002-5477-1033, Tel: (532) 676 86 78

Ömer BİLHAN

Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.
omer.bilhan@gmail.com ORCID: 0000-0002-8661-6097

M. Emin EMİROĞLU

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ
memin.emiroglu@gmail.com ORCID: 0000-0002-3603-0274

Geliş: 19.04.2018, Kabul Tarihi: 19.06.2018

Öz

Labirent tipi dolusavaklar, etkili kret uzunluklarının artırılması sayesinde klasik dolusavaklara nazaran daha yüksek savaklama kapasitesine sahiptirler. Bu tür savakların hidrolik performanslarını araştırmak için son yıllarda birçok deneysel çalışma yürütülmüştür. Günümüzdeki gelişmiş sayısal yöntemlerin deneysel çalışmalarla birlikte kullanılmasıyla araştırmacılar bu tür sistemlerin davranışları hakkında daha fazla bilgiye sahip olabilmekte ve daha iyi tasarımlar elde edebilmektedirler. Bu çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak, dört farklı savak yan duvar açısına sahip trapez labirent savakların farklı hidrolik koşullar altında analizleri yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada incelenen modelin üç farklı savak yan duvar açısı ile 3-B sayısal modeli hazırlanmış uygun sınır şartları altında FLOW-3D yazılımı kullanılarak sayısal analizleri yapılmıştır. HAD analizlerinde türbülanslı akım modeli ve VOF (Volume of Fluid) metodu kullanılmıştır. HAD tekniği yardımıyla labirent savakların farklı akım koşullarındaki su yüzü ve hız profilleri elde edilerek detaylı analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda savağın hidrodinamik davranışı ortaya konmaya çalışılmıştır. Daha sonra sayısal simülasyonlardan elde edilen debi katsayıları deneysel bazı sonuçlarla karşılaştırılarak sayısal modelin doğrulaması yapılmış ve savaklama performansı belirlenmiştir. Sayısal simülasyon çıktıları incelenerek tasarımları hakkında detaylı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarından savak yan duvar açının düşmesiyle (dolayısıyla kret uzunluğunun artmasıyla) savaklama veriminin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Trapez Labirent Savak; HAD; Debi Katsayısı; Kret Şekli;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Labirent savaklar, verilen sınırlı bir dolusavak açıklığında ve aynı nap yükünde debi kapasitesini arttırmak için etkili hidrolik yapılardır. Bu tür savaklar genel olarak barajlar üzerinde dolusavak yapısı olarak kullanıldığı gibi, akım kontrolü amacıyla da kullanılabilir. Labirent savaklarla ilgili literatürde yapılan önemli bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Tullis vd. (1995), labirent savakların toplam özgül enerji, savak yüksekliği ve kalınlığı, kret şekli, tepe konfigürasyonu ve yan duvar açılarını dikkate alan kapsamlı bir tasarım prosedürü geliştirmiştir. Bununla birlikte düşük savak yüklerindeki havalandırma faktörleri gibi sıra dışı akım durumlarını da dikkate almışlardır. Paxon ve Savage (2006), labirent savaklar konusunda Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılan ve Lux ve Tullis olarak adlandırılan iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmalarında, aynı labirent savak konfigürasyonu için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanmışlardır. Flow 3D yazılımıyla elde edilen sonuçlar, deneysel ve sayısal metotların yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Crookston ve Tullis (2012a), yarım yuvarlatılmış kretli dairesel labirent savakların hidrolik karakteristikleri belirlenmiş ve plandaki farklı tasarımları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, debi katsayısının savak membasındaki akımın boyutsuz özgül enerjisinin (H_T/P , H_T toplam memba özgül enerji, P savak yüksekliği) bir fonksiyonu olarak dikkate almışlardır. Plandaki farklı tasarımlar karşılaştırıldığında, dairesel planlı labirent savakların diğerlerinden yaklaşık olarak %5-30 daha verimli çalıştığını göstermişlerdir. Crookston ve Tullis (2012b), labirent savakların memba ucuna yakın nap girişimi sonucu yerel batık akım durumlarını ve bunun savaklama verimliliği üzerine etkisini araştırmışlardır. Yazarlar çalışmalarında, savak geometrisi ve akım koşullarının bir fonksiyonu olarak girişim bölgesinin boyutlarını tahmin etmek için parametrik bir yaklaşım sunmuşlardır. Khode vd. (2012), deşarj kapasitesi ile ilgili bir dizi

önemli değişken kullanarak labirent savaklar üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında araştırmacılar, bazı tasarım eğrilerinin yanında labirent savakların debi katsayısının tahmini için yan duvar açısının 8-30° aralığında ampirik bir denklem önermişlerdir. Crookston ve Tullis (2013), labirent savakların hidrolik tasarımı için, yan duvar açını 6-35° arasında değiştirerek yaptığı fiziksel deney testlerine dayalı bir metod sunmuşlardır. Dabbling vd. (2013), aşamalı (farklı kret yüksekliğine sahip) labirent dolusavakların hidrolik özelliklerini deneysel olarak çalışmışlar ve bu dolusavakların geometrisinin karmaşıklığından dolayı debinin düşük savak segmentlerinin yerine duyarlı olduğunu bulmuşlardır. Savage vd. (2016), büyük savak yüklerinde 15°'lik labirent savakları deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bilhan vd. (2016) dairesel labirent savaklar ve trapez labirent savaklar üzerine nap kırıcılar yerleştirilerek savak mansap yüzeyinde meydana gelen basınç dalgalanmalarını ve böylece titreşimleri azaltmaya çalışmışlardır.

Son yıllarda HAD yöntemleri kullanılarak birçok başarılı çalışma yapılmıştır. Aydın (2012), Aydın ve Emiroğlu (2013 ve 2016) labirent yan savaklar üzerinde RANS Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanarak yeterli doğrulukta çalışmalar yapmışlardır. Crookston vd. (2012), labirent savakların performansını belirlemek için deneysel çalışmaların yanında HAD analizleri de gerçekleştirmiştir. Bilhan vd. (2018) dairesel labirent savaklardan elde ettikleri deneysel sonuçları, HAD analizi kullanarak bu tip savaklar üzerindeki nap ayırıcıların, debi katsayıları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları Flow-3D ile deneysel olarak elde edilmesi güç sonuçlar elde edilmiştir. Debi katsayılarını tespiti için kullandıkları tek fazlı akım modeliyle elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

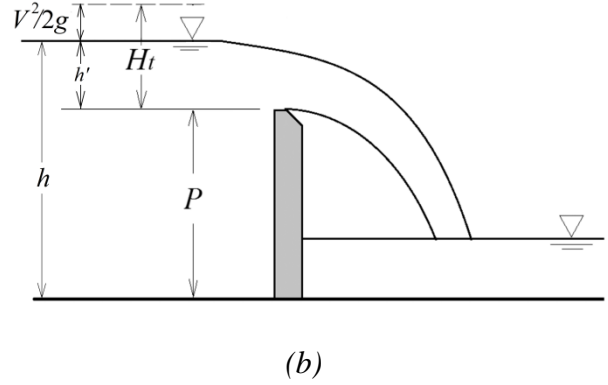
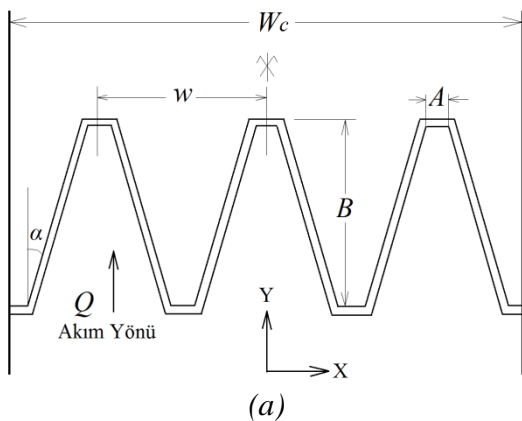
Literatür araştırmalarından anlaşılacağı gibi, günümüzde geleneksel fiziksel deneylerin yanında artık daha detaylı sonuçlar alabilmek için, gelişmiş bilgisayar ve sayısal tekniklerin kullanıldığı HAD analizleri de araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Bu çalışmada, daha önce Bilhan vd. (2016) tarafından yapılmış deneysel çalışmalara ek olarak, HAD analizleri yardımıyla trapez labirent savakların savaklama verimi ve hidrodinamik özellikleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalara karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Aynı dolusavak genişliği dikkate alınır, labirent tipi dolusavakların etkili kret uzunluklarının klasik dolusavaklara nazaran daha büyük olması nedeniyle, daha fazla debiyi daha küçük nap yüklerinde geçirirler. Çalışmada kullanılacak labirent savağın şematik gösterimi ve parametreleri Şekil 1'deki plan ve kesitte verilmiştir. Bu savakların debi kapasiteleri klasik savak formülüne benzer olarak Denklem (1) ile hesaplanabilir.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_t^{3/2} \quad (1)$$

Burada Q : Savaklanan debi, C_d : debi katsayısı, L : etkin savak kret uzunluğu, H_t : kret üzerindeki toplam enerji, g : yerçekimi ivmesidir.



Şekil 1. Trapez labirent savağın görünümü:

a) Plan b) Kesit

Sayısal Model Teorisi

Flow 3D momentum denklemi olarak Navier-Stokes denklemlerini kullanan genel amaçlı bir HAD programıdır. Bu çalışmada tek fazlı, sıkışmaz akım kabulü türbülanslı akım modeliyle birlikte uygulanmıştır. Tek fazlı akım modeli kullanıldığından hava-su etkileşimi ihmal edilmiş ve türbülans modeli olarak k-epsilon türbülans modeli kullanılmıştır. Program, akımda doğru bir serbest yüzey tahmini yapabilmek için akışkan hacmi (VOF=Volume of Fluid) metodu kullanır. VOF metot öncelikle, her bir sonlu hacim için hücre içindeki hacim oranlarını belirler ve taşınım denklemlerini çözer. Daha sonra buna göre serbest su yüzünün sınır şartlarını ayarlar. Akımın kütleli süreklilik denklemi Kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = 0 \quad (2)$$

Buradaki, ρ : suyun yoğunluğu; A_x , A_y , ve A_z : x , y ve z yönlerindeki akıma açılan kısmi alanlar, u , v ve w : x , y , ve z yönlerindeki hız bileşenleridir. Üç boyutlu akımın hareketini belirlemek için Momentum denklemi olarak kullanılacak Navier-Stokes Denklemleri hız bileşenleriyle birlikte Kartezyen koordinat sistemine göre aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \end{aligned} \quad (3)$$

Bu denklemlerdeki, V_F : akıma açılan hacimsel oran; G_x, G_y, G_z : kütsel ivmelerin bileşenleri, f_x, f_y, f_z : viskoz ivmelerin bileşenleridir. Birim hacimdeki birincil akışkanın hacmini belirlemek

etmek için Hirt ve Nichols (1981) tarafından tanımlanan VOF fonksiyonu aşağıdaki denklemlerle verilmiştir:

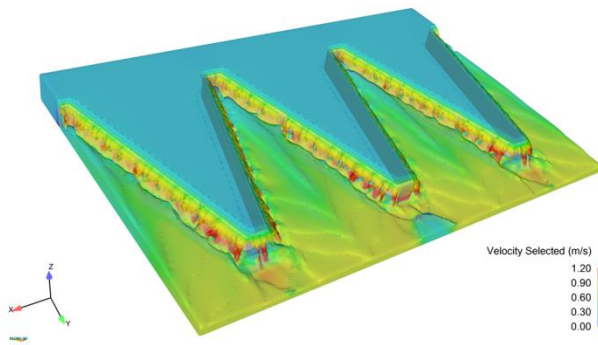
$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial 1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) + \varphi \frac{FA_x u}{x} \right] = F_D + F_S \quad (4)$$

F_D : yalnızca iki fazlı akımlardaki türbülans karışımı için difüzyon terimi, F_S : yoğunluk kaynak terimi (FLOW-3D 2014).

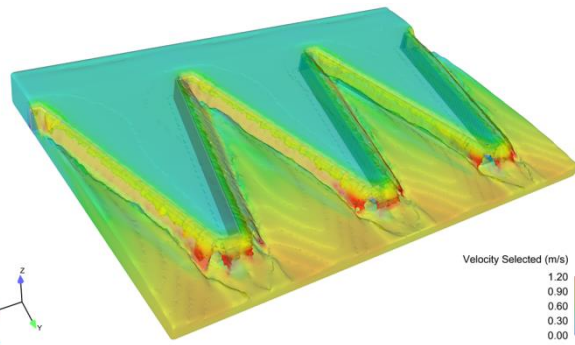
gözlerinde nap çarpışmasından dolayı mansap akımında kabarma meydana gelmekte ve debi arttırıldıkça serbest nap durumundan batık akım durumu gelişmektedir. Ara gözlerde karşılıklı düşen nap akımları tabanda çarpışarak enerjilerinin sönmülmesi sonucu hidrolik sıçramaya neden olur. Bu da labirent savağın ara gözlerindeki kabarmanın asıl nedenidir. Bu olaylar labirent yan duvar açısı küçüldükçe daha da belirginleşmektedir. Labirent savak yan duvar açısı azaldıkça kret uzunlukları arttığından özellikle küçük nap yüklerinde savaklama kapasitesini arttırmaktadır. Fakat daha büyük nap yüklerinde labirentin memba tepe noktası üzerindeki nap girişimleri nedeniyle savaklama performansı göreceli olarak azalmaktadır

Sonuçlar ve Tartışma

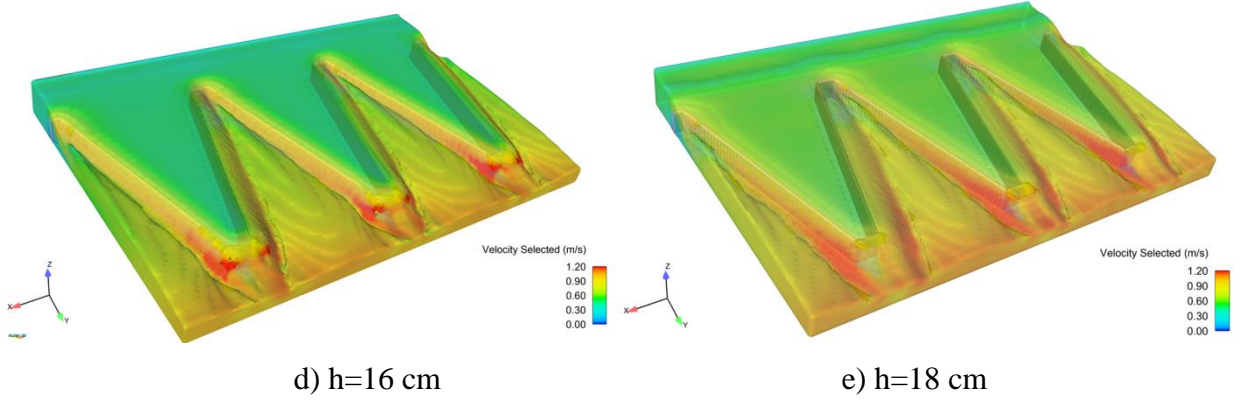
Labirent savaklarda farklı nap yükleri için su yüzü profilleri ve hız kontörleri Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Nap yükü ve dolayısıyla debi miktarı arttıkça serbest nap durumu gittikçe batık akım duruma geçmektedir. Şekilde verilen analiz çıktıları, labirent savak kenar duvar açısının azaldıkça debinin arttığını ve buna bağlı olarak da mansap hızlarının arttığını göstermektedir. Küçük debilerde her açı için serbest düşülü savaklanma gerçekleşirken yüksek debilerde ise içte kalan labirent savak



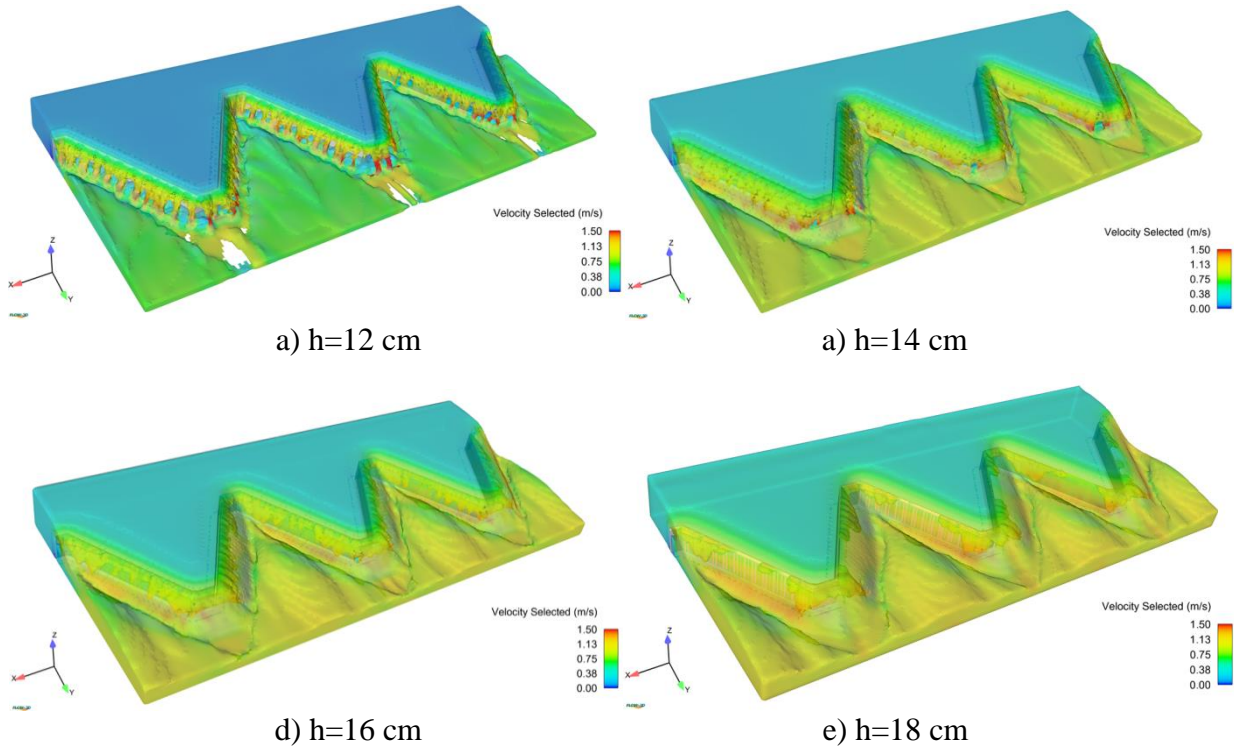
a) h=12 cm



a) h=14 cm



Şekil 2. Farklı nap yükü altında labirent savağın su yüzü profilleri ($P=10$ cm, $\alpha=15^\circ$)



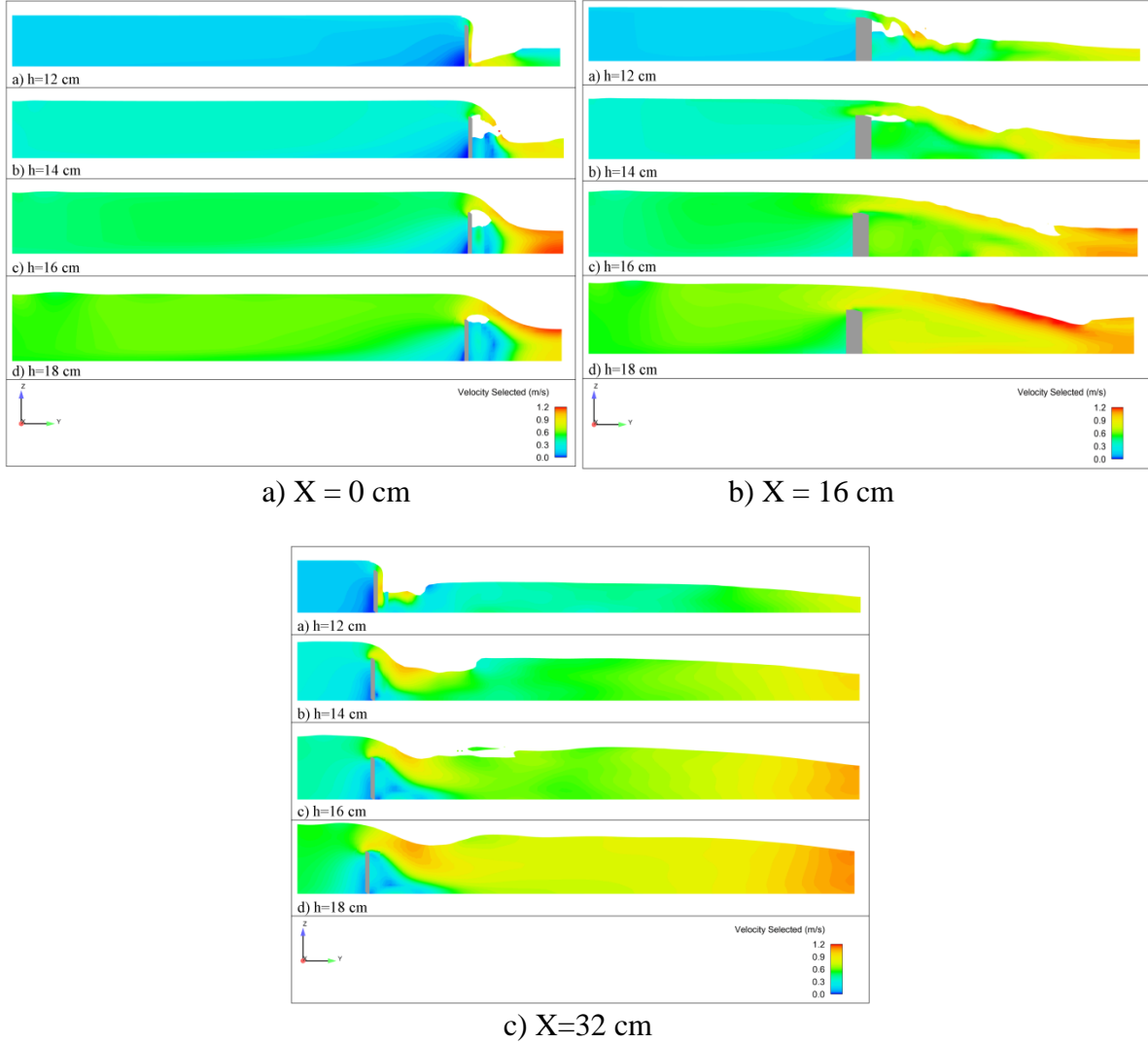
Şekil 3. Farklı nap yükü altında labirent savağın su yüzü profilleri ($P=10$ cm, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4 ve 5'te sırasıyla 15° ve 30° 'lik labirent savak yan duvar açılımlarına göre farklı boykesit ve farklı nap yüksekliklerindeki akımın su yüzü profilleri hız kontörleriyle birlikte verilmiştir. Buradaki $X=0$ eksenini Şekil 1'de gösterilen simetri ekseninden (mansap tepe noktasından geçen) alınan kesittir. $X=16$ ve $X=32$ cm ise sırasıyla diyagonal kenarın ortasından ve memba tepe noktasından alınan kesitleri göstermektedir. Şekil 4 ($\alpha=15^\circ$) incelendiğinde akım derinliği, $h=12$ cm için memba ve mansap uçlarında savaktan çıkan akım napı savağın mansap yüzeyine birleşmekteyken diğer kesit ve

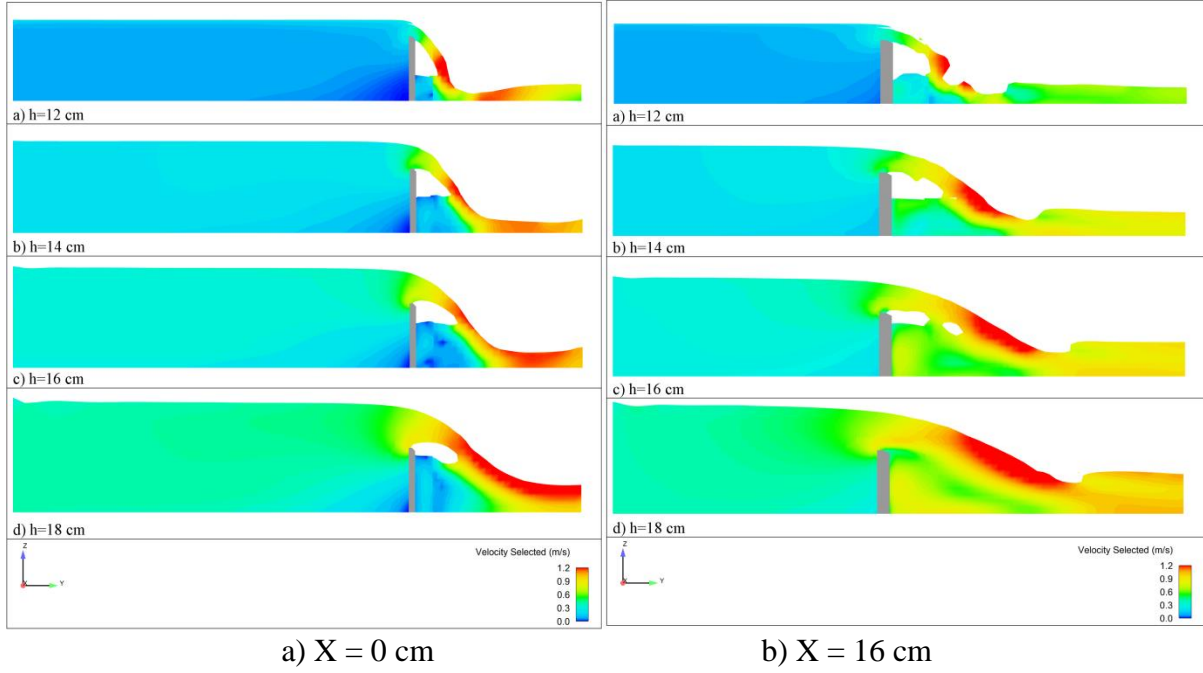
akım durumları için serbest nap durumu söz konusudur. Nap yapışması, Şekil 5'te görüldüğü gibi daha büyük kenar duvar açılımlarında ($\alpha=30^\circ$) oluşmamaktadır. Batık akım durumu, küçük kenar duvar açılımlarında ($\alpha=15^\circ$) $h=15-16$ cm akım derinliklerinde ($H/P>0.57$) başlarken, $\alpha=30^\circ$ kenar duvar açısı dikkate alındığında, $h=17-18$ cm akım derinliklerinde ($H/P>0.76$) başlamaktadır. Bu durum küçük yan duvar açılımlarında daha fazla savaklanma olmasından dolayıdır. Dolayısıyla tasarım sırasında savak kapasitesinin artırılması için, küçük yan duvar açılımları kullanılacaksa, batık durumdan kaçınmak

için göreceli olarak daha büyük savak yükseklikleri tercih edilmelidir. Fakat bu durumun inşaat maliyetlerini de arttıracığı göz önüne alınmalıdır. Bu çalışmada savak yüksekliği olarak $P=10$ cm alınmıştır. Şekillerde nap yükünün artmasıyla mansapta meydana gelen hidrolik sıçramanın uzunluğunun da arttığı görülmektedir. Büyük yan duvar

açılarında hidrolik sıçramanın oluşması için gerekli uzunluğun daha kısa olduğu görülmektedir. Küçük yan duvar açılarında akım doğrultusunda daha uzun gözler oluşacağından bu durum labirent savağın gözleri arasında sorun olmazken mansap ucundan sonraki düşüm yatağı için tasarımda dikkate alınmalıdır.

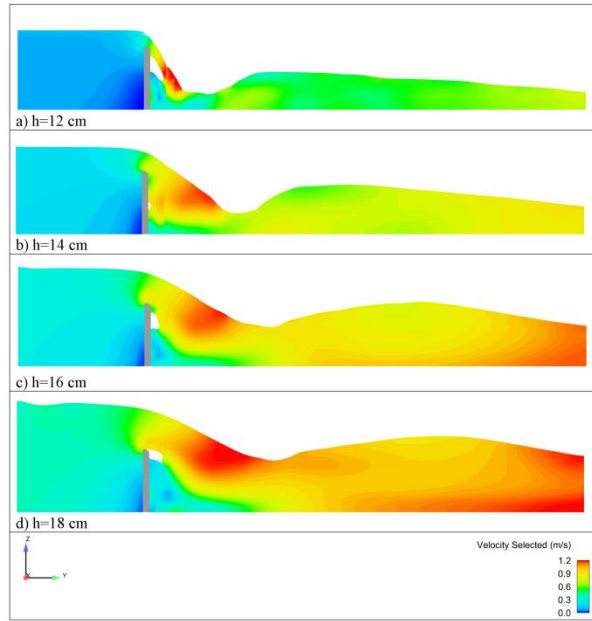


Şekil 4. Farklı boykesitlerdeki farklı nap yükleri için su yüzü profilleri ve hız kontörleri ($\alpha=15^\circ$)



a) X = 0 cm

b) X = 16 cm



c) X=32 cm

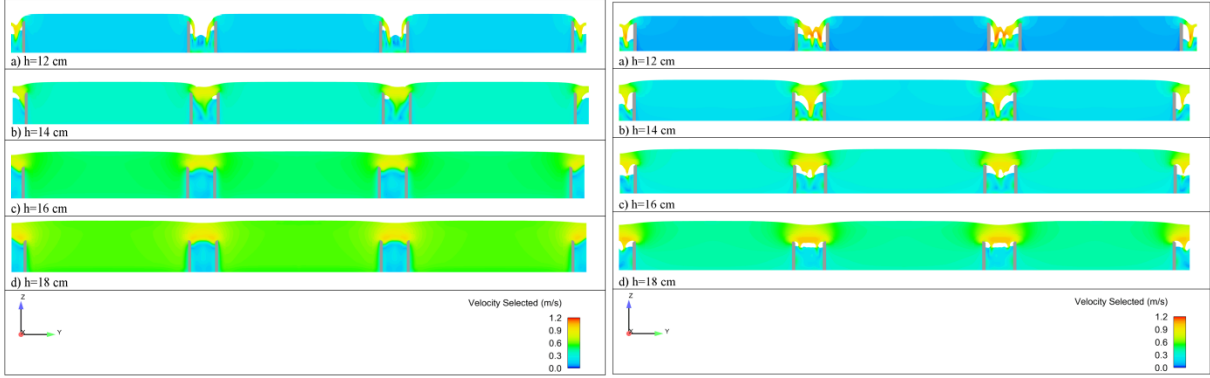
Şekil 5. Farklı boykesitlerdeki farklı nap yükleri için su yüzü profilleri ve hız kontörleri ($\alpha=30^\circ$)

Şekil 6, 7 ve 8'de sırasıyla memba ucu, orta ve mansap uçlarından alınan enkesitler boyunca su yüzü profilleri hız kontörleriyle birlikte verilmiştir. Memba ucu için verilen Şekil 6'daki kesitler incelendiğinde özellikle küçük açılar için (temsilen $\alpha=15^\circ$) savaklama veriminin burada düştüğü görülmektedir. Nap özellikleri incelendiğinde $\alpha=15^\circ$ için $h>14$ cm ($H/P>0.45$)'den sonra akım batık duruma

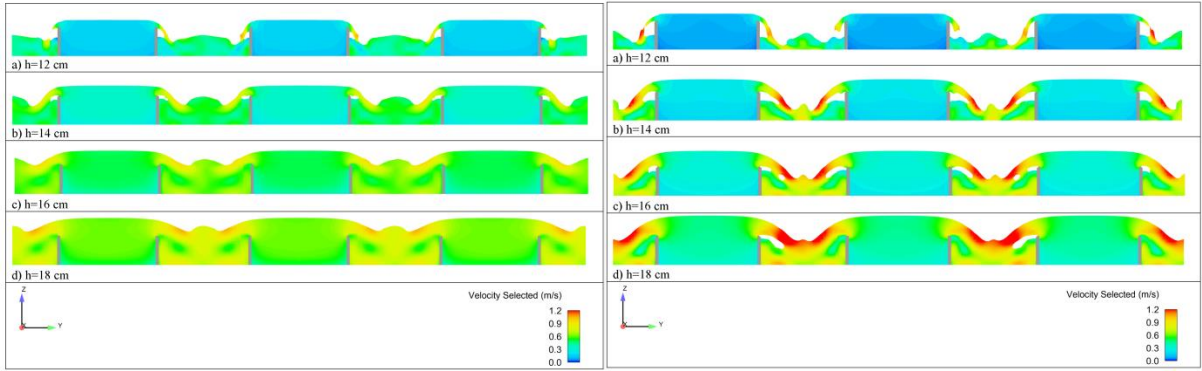
gelirken $\alpha=30^\circ$ 'de tüm akım durumları için serbest nap durumu söz konusudur. Bu kesitler yukarıdaki açıklamalarımızı doğrular niteliktedir. Küçük açı değeri için mansap kesiti için batık akım durumu $h>16$ cm'den ($H/P>0.57$) sonra başlamaktadır. Diğer kesitler incelendiğinde nap yükü arttıkça savaklanma miktarı ve nap üst yüzündeki akım hızlarının da arttığı görülmektedir. Memba ve orta kesitlerde

(Şekil 6 ve 7) hidrolik sıçrama gözlemlenmezken, mansap kesitinde (Şekil 8) ara gözlerdeki nap çarpışmasından dolayı oluşan hidrolik sıçrama net bir şekilde gözlemlenmiştir. Labirent savakların avantajlarından biri de gözler arasındaki

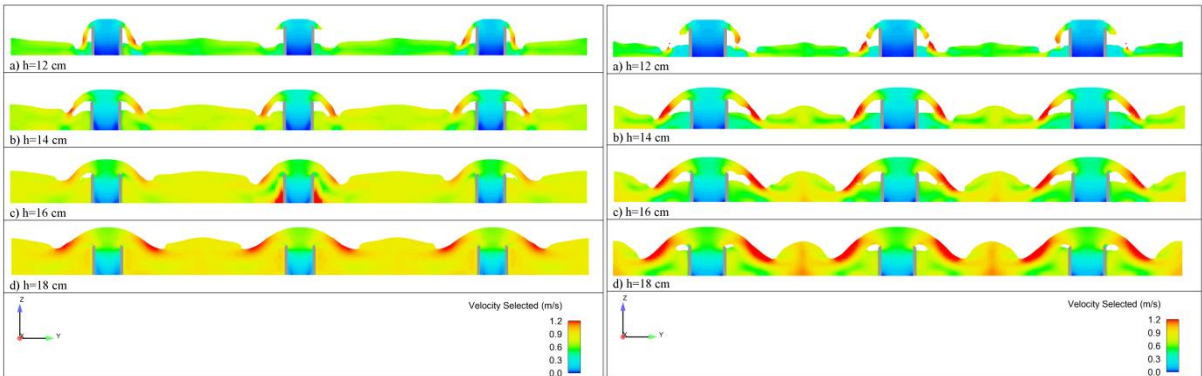
karşılıklı bu nap çarpışmalarının oluşturacağı enerji kırılmasıdır. Bu olay savak mansabındaki enerjinin önemli bir kısmının kırılmasına katkıda bulunur. Yan duvar açısı küçüldükçe bu çarpışma boyu da uzamaktadır.



a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=30^\circ$
Şekil 6. Farklı enkesitlerdeki farklı nap yükleri için su yüzü profilleri (Membra ucu)



a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=30^\circ$
Şekil 7. Farklı enkesitlerdeki farklı nap yükleri için su yüzü profilleri (orta)



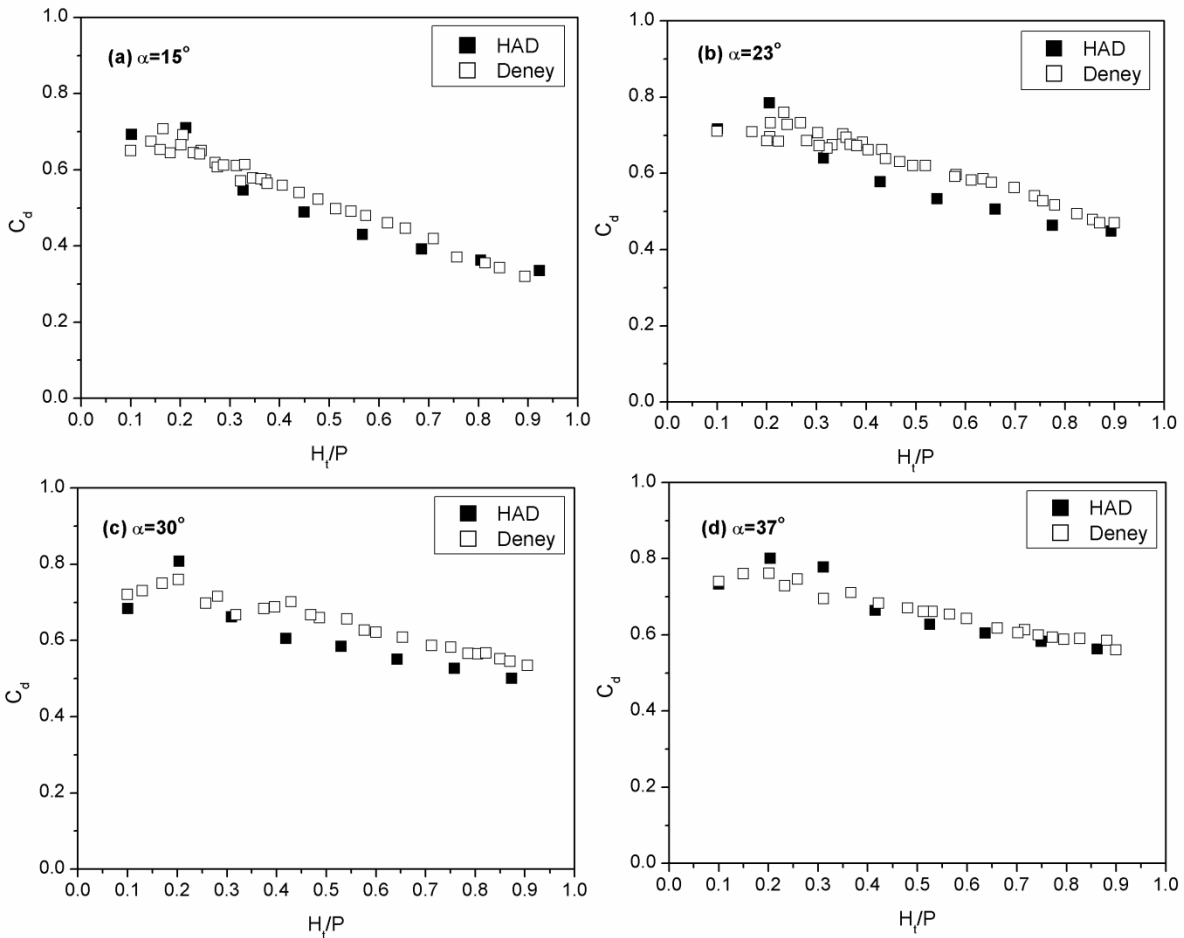
a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=30^\circ$
Şekil 8. Farklı enkesitlerdeki farklı nap yükleri için su yüzü profilleri (mansap ucu)

Savaklama Kapasitesi

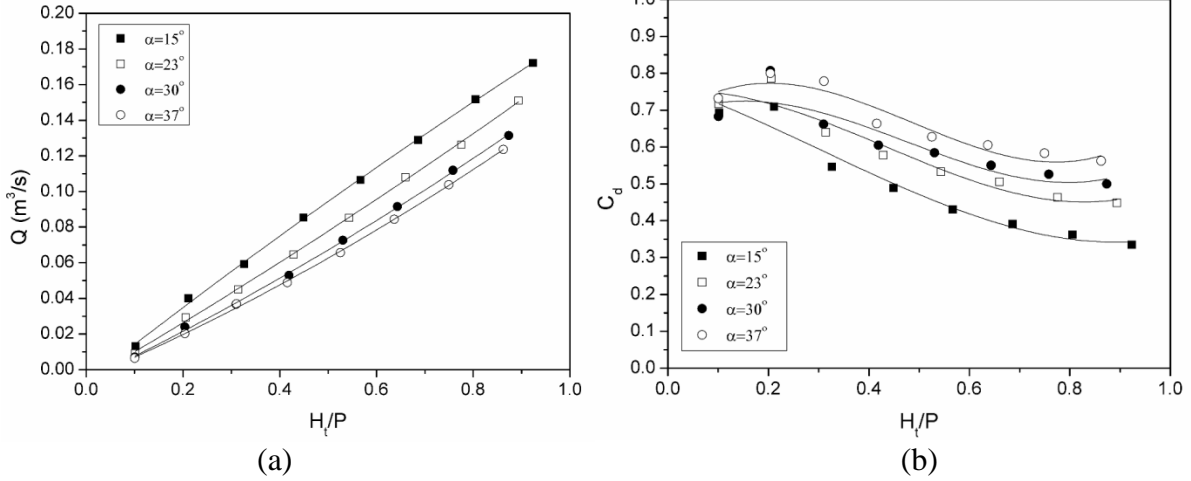
Savaklama veriminin boyutsuz savak yükü (H_t/P) ve yan duvar açısı (α) ya göre değişimini görmek için Şekil 9'daki grafikler çizdirilmiştir. Buradaki savak katsayısı (C_d) sayısal ve deneysel veriler kullanılarak Denklem 1'den hesaplanmıştır. Grafiklerden, sayısal ve deneysel verilerin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar sayısal modellerin doğruluğunu da desteklemektedir. Boyutsuz nap yükünün debi katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde; küçük nap yüklerinde (yaklaşık olarak $H_t/P \leq 0.2$ olduğu küçük bir aralıkta) savak katsayısı H_t/P ile artarken, daha büyük nap yüklerinde aksine azalan bir eğilim oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak $H_t/P=0.2$ değerinde debi katsayısı maksimum olmaktadır. Genel olarak bakıldığında debi katsayısının H_t/P ile azaldığı söylenebilir. Bununla birlikte Şekil

9'daki grafiklerden bu azalma hızının savak yan duvar açısıyla (α) azaldığı anlaşılmaktadır.

Nap yüküyle debi katsayısı ve savaklama kapasitesinin değişimlerini daha iyi incelemek için yalnızca HAD analizlerinin kullanıldığı Şekil 10'daki grafikler çizdirilmiştir. Bu grafiklerden anlaşılacağı üzere; labirent savak yan duvar açısı küçüldükçe, etkin savak kret uzunluğu arttığından, savaklanan debi artmakta fakat aksine debi katsayıları azalmakta olduğu görülmektedir. Bu azalışın sebebi açı düştükçe memba tarafında trapez gözler arasındaki nap girişimlerinin daha etkili olmasıdır (Şekil 6b). Bu olay Crooston ve Tullis (2012b) tarafından detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 9. Farklı savak yan duvar açıları için deneysel ve sayısal debi katsayısının boyutsuz nap yüküyle değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 10. Farklı savak yan duvar açılarında; a) debilerin b) debi katsayılarının, boyutsuz savak yüküyle karşılaştırılması

Sonuçlar

Bu çalışmada farklı yan duvar açılarında sahip 4 farklı trapez labirent savak farklı hidrolik koşullar altında sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Düşük nap yükleri için küçük yan duvar açılarında nap yapışması meydana gelirken bu durum daha büyük yan duvar açıları için oluşmamaktadır.
2. Küçük kenar duvar açılarında ($\alpha=15^\circ$) batık akım durumu $H/P > 0.57$ için başlarken, daha büyük açılar için ($\alpha > 30^\circ$) batık akım durumu $H/P > 0.76$ için oluşmaktadır. Bu durumda, tasarım sırasında savak kapasitesinin artırılması için, küçük yan duvar açıları kullanılacaksa, batık durumdan kaçınmak için göreceli olarak daha büyük savak yükseklikleri tercih edilmelidir. Fakat bu durumun bir sonucu olarak inşaat maliyetlerinin artması da göz önüne alınmalıdır.
3. Bir dezavantaj olarak, özellikle küçük yan duvar açıları için labirent savakların memba ucuna yakın bölgelerde nap girişimi meydana gelmekte ve bu da savaklama verimini düşürmektedir.
4. Bununla birlikte; daha küçük kenar duvar açıları için ara gözlerde karşılıklı akım çarpışması sonucu meydana gelen hidrolik sıçrama, yüksek enerjili mansap akımının enerjisinin kırılmasında önemli rol

oynamaktadır. Bu durum labirent savakların diğer bir avantajı olarak ortaya çıkmaktadır.

5. Genel olarak literatürdeki bilgilere uygun olarak toplam nap yükünün artmasıyla birlikte debi kapasitesinin arttığı fakat debi katsayısının küçük bir miktar azaldığı görülmüştür. Benzer olarak, savak yan duvar açıları küçülürken (etkili kret uzunluğu artacağından) savak kapasitesi artar fakat bunun aksine savaklama verimi (debi katsayısı) küçük bir miktar azalmaktadır. Bu azalmaların sebebi özellikle memba ucuna yakın bölgelerdeki yüksek nap yükü ve dar savak açılarındaki nap girişimidir.
6. Elde edilen sayısal simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüş ve sayısal analiz sonuçlarının bu tür çalışmalarda etkin kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen FÜBAP-1610 numaralı projede elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Aydin, M.C., (2012). CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir, *Advances in Engineering Software*, 45; 159-166.
- Aydin, M.C., Emiroglu, M.E., (2013). Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD. *Flow Measurement and Instrumentation*, 29: 1-8.
- Aydin, M.C., Emiroğlu, M.E., (2016). Numerical analysis of subcritical flow over two-cycle trapezoidal labyrinth side weir, *Flow Measurement and Instrumentation*, 48(1): 20-28.
- Bilhan, O., Emiroglu, M.E., Miller, C.J., (2016). Experimental Investigation of Discharge Capacity of Labyrinth Weirs with and without Nappe Breakers. *World Journal of Mechanics*, 6, 207-221.
- Bilhan, O., Aydin, M.C., Emiroglu, M.E., Miller, C.J., (2018) Experimental and CFD Analysis of Circular Labyrinth Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 144(6):04018007-1. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001301
- Bruce, M. Savage, B.M., Brian, M. Crookston, B.M., Paxson, G.S., (2016) Physical and Numerical Modeling of Large Headwater Ratios for a 15° Labyrinth Spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(11): 1-7.
- Crookston, B.M., Tullis, B.P., (2012a). Arced Labyrinth Weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(6): 555-562.
- Crookston, B.M., Tullis, B.P., (2012b). Labyrinth Weirs: Nappe Interference and Local Submergence. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(8): 757-765.
- Crookston, B.M., Tullis, B.P., (2013). Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(5): 363-370.
- Crookston, B.M., Paxson, G.S., Savage, B.M., (2012). Hydraulic Performance of Labyrinth Weirs for High Headwater Ratios. 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 9-11 February 2012, Porto, Portugal.
- Dabling, M.R., Tullis, B.P., Crookston, B.M., (2013). Staged Labyrinth Weir Hydraulics. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(11): 955-960.
- Flow 3D, (2014). Theory. Flow-3D User Manual, v11.0.3. Flow Science, Inc.
- Hirt, C. W., and Nichols, B. D., (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225.
- Khode, B.V., Tembhurkar, A.R., Porey, P.D., Ingle, R.N., (2012). Experimental Studies on Flow over Labyrinth Weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(6): 548-552.
- Paxon, G., Savage, B., (2006). Labyrinth Spillways: Comparison of Two Popular U.S.A. Design Methods and Consideration of Non-Standard Approach Conditions and Geometries. International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, , J. Matos and H. Chanson (Eds), Report CH61/06, Division of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Tullis, J.P., Amanian, N., Waldron, D. (1995). Design of Labyrinth Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3): 247-255.

Analysis of Trapezoidal Labyrinth Weirs Using Computation Fluid Dynamics (CFD)

Extended Abstract

Labyrinth weirs are effective hydraulics structures to increase the discharge capacity at space-restrictive situations and the same nappe load. This type of weir is generally used as spillway structures on dams as well as for flow control purposes. Therefore, the labyrinth weirs are dam structures that should be carefully examined in terms of dam safety.

The labyrinth weirs have a higher discharge capacity than the conventional weirs due to the increase in effective crest lengths. Several experimental studies have been conducted in recent years to investigate the hydraulic performances of labyrinth weirs. By using advanced numerical methods together with experimental studies, researchers can gain more knowledge about the behavior of hydraulic structures and obtain better designs.

Recent researches have revealed that in addition to experimental studies, the use of advanced computer and numerical techniques is important to obtain more detailed results. In this study, in addition to the experimental studies previously carried out by Bilhan et al. (2016), the discharge capacity and hydrodynamic properties of trapezoidal labyrinth weirs were analyzed in detail with the help of Computational Fluid Dynamics (CFD) analyzes.

The results have compared with the existing experimental studies. In summary, according to the results obtained from this study:

The submerged flow for the low side wall angles ($\alpha=15^\circ$) occurs at $Ht/P > 0.57$ while the submerged flow condition for larger side wall angles ($\alpha > 30^\circ$) occurs at $Ht/P > 0.76$. As a consequence of this evaluation, relatively low weir heights should be preferred to avoid submergence flow if small side wall angles are used to increase the spillway capacity during design. But in this case, it should be taken into account rising construction costs.

As a disadvantage, especially for low sidewall angles, complex nappe flow movements occur in areas near the upstream section end of labyrinth weirs, which in turn reduces the efficiency of discharge.

However, for the low side wall angles, the hydraulic jump, which results in a flow collision in the labyrinth weir cycles, is more important role for the

breakage of the high-energy in the downstream of the labyrinth weir. This is another advantage of the labyrinth weirs.

In general, according to the information in the literature, it is seen that the flow capacity increases with the increase of total nappe heights but the discharge coefficient decreases slightly with the increase of total nappe heights. Similarly, as the value of the side wall angles decreases (effective length increases), the weir capacity increases, but, the weir efficiency (discharge coefficient) decreases slightly. The reason for these decreases is the high nappe load in the areas close to the upstream section and the nappe interference at the low side wall angles.

The numerical simulation results obtained from in this study were found to be consistent with those obtained from experimental studies. It has been show that, the results of CFD analysis can be used successfully in the evaluation of the discharge capacity of trapezoidal labyrinth weirs

Keywords: Trapezoidal Labyrinth Weir, CFD, Discharge Coefficient, Crest Shape



Jeoid yüksekliklerinin belirlenmesinde ağırlıklı ortalama ve polinomlarla enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Nazan YILMAZ*

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon
n_berber@ktu.edu.tr ORCID: 0000-0002-0615-8218, Tel: (462) 377 37 68

Geliş: 15.05.2018, Kabul Tarihi: 20.03.2019

Öz

Günümüzde GPS ile türetilen elipsoidal yükseklikler, gerçek zemin durumunu yansıtmadıkları için, yüksekliklerle alakalı hassas pratik ihtiyaçları karşılamaktan uzaktırlar. Ortometrik yükseklikler, yerin fiziki durumuyla daha uyumludur. Bu sebeple elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklere dönüşümünde kullanılacak en iyi jeoid modelinin belirlenmesi çok önemlidir. Jeoid modellerinin belirlenmesi ise farklı matematiksel parametreleri olan çeşitli enterpolasyon teknikleri ile gerçekleştirilebilir. Enterpolasyon yöntemleri uygulanarak en uygun jeoid yüzeyinin seçilerek, elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklere pratik bir şekilde geçiş yapılması mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada Trabzon ve Gümüşhane İllerinde zeminde tesis edilmiş olan C1 (AGA), C2 (SGA), C3 (ASN), noktalarının koordinat (Y,X), Elipsoid Yükseklik (h), ITRF96 datumuna dayalı üç boyutlu kartezyen koordinat ve Ortometrik Yükseklik (H) tescilli değerleri, Trabzon Tapu ve Kadastro IX. Bölge Müdürlüğü Jeodezi Biriminden temin edilmiştir. Baz uzunlukları farklı olan "C" dereceli noktalar sınıflarına göre Trabzon ve Gümüşhane illeri sınırları içerisinde kendi içerisinde gruplandırılarak, bu noktalardan test ve dayanak noktaları seçilmiştir. Seçim yapılırken noktaların homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Çalışmada ağırlıklı ortalama, kuadratik, kübik, lineer, bi-kuadratik, bi-kübik, bi-lineer enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Noktalarda mevcut olan ortometrik ve elipsoid yükseklikleri farklarından Jeoid yükseklik değerleri elde edilmiştir. Baz uzunluğu farklı olan test noktalarında farklı enterpolasyon yöntemleri ile Jeoid yükseklik değerlerinin kestirimi yapılmıştır. Kestirimler için Matlab 2012a paket programı kullanılmıştır. Test noktalarında kestirilen jeoid yüksekliği değerleri ile mevcut olan jeoid yüksekliği değerlerinin farkları alınmış, bu farklardan hesaplanan bazı istatistiki bilgiler yardımıyla hangi enterpolasyon yönteminin daha anlamlı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasında nokta sayısının ve dağılımının farklılığı, uygulamanın farklı topoğrafik yapılarda yapıyor olması, elde edilen istatistiki bilgiler gibi kriterlere dikkat edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağırlıklı Ortalama; Enterpolasyon Yöntemleri; Jeoid Ondülasyonu; Ortometrik Yükseklik; Polinom Yüzeyleri

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Özellikle son yıllarda GPS teknolojinin yaygın kullanımı, yükseklikler açısından jeoide olan ihtiyacı daha da artırmış, bazı uygulamalar için kaçınılmaz hale getirmiştir. Günümüzde GPS ile türetilen elipsoidal yükseklikler doğal durumu yansıtmadıklarından, yüksekliklerle ilgili hassas pratik ihtiyaçları karşılamaktan uzaktırlar. Jeoidden itibaren alınan ortometrik yükseklikler fiziksel olaylarla daha uyumlu, daha doğal kabul edilmekte ve bu özelliği ile yüksekliklerle ilgili pratikteki pek çok problemin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılabilir. Ortometrik yüksekliklerin geleneksel nivelman yöntemiyle elde edilmesi, hava şartlarına bağımlı, pahalı, çok fazla işgücü ve zaman gerektiren bir işlemdir. Bu durum topografyasının dağlık olması nedeniyle ülkemiz için de geçerlidir.

GPS uygulamalarında kolayca belirlenebilen elipsoid yüksekliklerini ortometrik yüksekliklere dönüştürebilmek için jeoid yüksekliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Jeoid yüksekliklerinin bilinmesi, geometrik bir yükseklik türü olan elipsoid yüksekliklerinden fiziksel bir yükseklik türü olan ortometrik yüksekliklere geçişe ivme kazandırmaktadır. Böylece pratik uygulamalar daha hızlı ve daha ekonomik olmaktadır. Bu sebeple elipsoid yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde kullanılacak en iyi jeoid modelinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu kapsamda, bu çalışmada seçilen uygulama alanlarında N Jeoid yüksekliğinin enterpolasyonu farklı yöntemler denenerek yapılmış, hangi enterpolasyon yönteminin çalışma alanında daha anlamlı sonuçlar verdiği incelenmiştir. Çünkü elipsoidal yüksekliklerden elde edilen ortometrik yüksekliklerin hassasiyeti, elipsoidal yüksekliğin ve Jeoid modelinin hassasiyeti ile doğrudan ilgilidir.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada Trabzon ve Gümüşhane illerinde zeminde tesis edilmiş olan C1 (AGA), C2 (SGA), C3 (ASN), noktalarının koordinat (y, x), Ortometrik (H) ve Elipsoidal (h) yükseklik değerleri, Trabzon Tapu ve Kadastro IX. Bölge Müdürlüğü Jeodezi Biriminden temin edilmiştir. Koordinatlar ITRF96 (International Terrestrial Reference Frame-Uluslararası Yersel Referans Ağı) koordinat sistemindedir.

Baz uzunlukları farklı olan “C” dereceli noktalar sınıflarına göre Trabzon ve Gümüşhane illeri sınırları içerisinde kendi içerisinde gruplandırılarak (C1, C2 ve C3 şeklinde) bu noktalarda farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak kestirilen N Jeoid yükseklikleri yardımıyla hangi enterpolasyon yönteminin daha anlamlı olduğunun tespiti amaçlanmıştır. Böylece pratikte GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir noktada ortometrik yüksekliğin hassas bir şekilde belirlenmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen Jeoid yükseklikleri arasındaki farklılıkların varlığının ve bu farklılıkların büyüklüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca uygulamada kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden çalışma alanında en iyi sonuç veren enterpolasyon yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

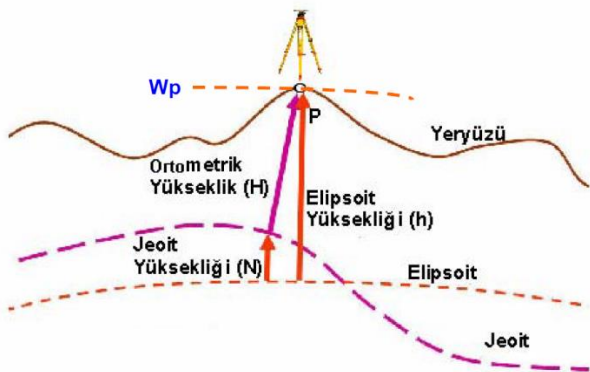
Bu çalışmada, GPS / Nivelman jeoidinin çeşitli enterpolasyon yöntemleri ile modellenmesi, farklı sıklıktaki ve farklı arazi tipindeki dayanak ve test nokta seçiminin jeoidin duyarlılığına nasıl etki etkidiği irdelenmiştir. Bu çalışmaya konu olan Trabzon ilinde toplam 658 adet noktadan, 19 adet C1, 81 adet C2, 558 adet C3 dereceli nokta; Gümüşhane ilinde toplam 412 adet noktadan, 12 adet C1, 48 adet C2, 368 adet C3 dereceli nokta kendi içerisinde gruplandırılmış olup bu noktalardan dayanak ve test noktaları homojen dağılmasına dikkat edilerek seçilmiştir.

Çalışmada test noktalarında Jeoid yüksekliklerinin kestirimi için ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon, ortogonal kuadratik, kübik, lineer enterpolasyon ve ortogonal olmayan bi-kuadratik, bi-küçük ve bi-lineer enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemlerle ilgili algoritmalar Matlab 2012a programlama dilinde yazılmıştır. Test noktalarında değişik enterpolasyon modellerinden kestirilen Jeoid yüksekliklerinin gerçek Jeoid değerlerinden farkları alınıp, bu farklar istatistiksel olarak değerlendirilerek hangi yöntemin daha anlamlı sonuç verdiği irdelenmiştir.

Jeoid Yükseklikleri İçin Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri

Yeryüzünde bir noktanın ortometrik yüksekliği (H), noktadan geçen çekül eğrisi boyunca jeoide olan düşey uzaklık olarak tanımlanır. Elipsoidal yükseklik (h) ise, yeryüzündeki bir P noktasının elipsoid normali boyunca seçilen bir referans elipsoidine göre arasındaki uzaklıktır. Bu iki yükseklik arasında yaklaşık N jeoid ondülasyonu kadar fark vardır. Yerin gravite alanının deniz yüzeyi ile çakışan eşpotansiyelli yüzeyine jeoid denilmektedir. Jeoid aynı zamanda yerin temel şekline verilen isimdir (Heiskanen ve Moritz, 1984).

Jeoidin ve düşeyin doğada gerçekten var olup, elle tutulup gözle görülebilir nitelikte olması, bunların yükseklikler için öncelikli olarak esas alınmasının pek çok teorik ve pratik ihtiyaçlara cevap verebileceği düşüncesini öne çıkarmıştır.



Şekil 1: Ortometrik ve elipsoid yüksekliği (Akiz ve Yerci, 2009).

GPS ile elde edilen h elipsoid yükseklikler, bir referans elipsoidinden olan yüksekliklerdir. H ortometrik yüksekliği ise jeoidi esas almaktadır. Bu iki yükseklik farkı $N = h - H$ jeoid yüksekliklerini vermektedir. Bu ilişki esasında Şekil (4)'de görüldüğü gibi tam anlamıyla doğru değildir. Gözlem noktasında, çekül eğrisinin doğrultusu ile elipsoid normalinin doğrultusu arasında daima çok küçük bir sapma vardır. Fakat bu miktar ihmal edilecek düzeyde olduğundan, dikkate alınmayabilir (Poutanen, 1994).

Enterpolasyon genel olarak n boyutlu P_i dayanak noktalarındaki m boyutlu vektörleri kullanarak, n boyutlu P_k hesap noktalarındaki m boyutlu vektörlerin bulunması şeklinde tanımlanır. Bu nedenle enterpolasyonla bulunan sonuçların gerçek değerlerle eşit olması istenir. Fakat pratikte bu eşitliği sağlamak pek mümkün değildir. Bir bölge için en uygun enterpolasyon, gerçek değere en çok yaklaştıran çözümdür. Enterpolasyon problemleri temelde; tüm bölgeyi kapsayan bir tek fonksiyon ile enterpolasyon, yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla enterpolasyon ve noktasal enterpolasyon şeklinde ifade edilen üç farklı kestirim tekniği ile çözülür (Güler, 1978).

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ile Enterpolasyon

Bu yöntem noktasal bir enterpolasyon yöntemidir. Enterpolasyon noktasının yüksekliği, bu noktanın çevresinde bulunan dayanak noktalarından ağırlıklı ortalama ile hesaplanır. Kullanılan dayanak noktalarına verilecek ağırlık değeri, dayanak noktası ile enterpolasyon noktası arasındaki uzaklığın bir fonksiyonuna göre belirlenir. Ağırlık değerleri P_i ,

$$P_i = \frac{1}{d_i^k} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

eşitliği ile veya

$$P_i = \frac{1}{e^{(d_i^2/k^2)}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 3, 4, 5 \quad (2)$$

biçimindeki Gauss fonksiyonu ile hesaplanabilir. d_i enterpolasyon noktası ile dayanak noktaları arasındaki yatay mesafe olmak üzere;

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_E)^2 + (y_i - y_E)^2} \quad (3)$$

ile ifade edilir. Burada (x_i, y_i) herhangi bir dayanak noktasının koordinatlarını, (x_E, y_E) ise enterpolasyon noktasının koordinatlarını göstermektedir.

Bir enterpolasyon noktasının etrafında m tane dayanak noktası olduğu düşünülürse, bölge içerisinde ağırlıklı ortalama yöntemine göre bir noktanın jeoid yüksekliği,

$$N_E = \frac{\sum_{i=1}^m N_i P_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte

N_E : Enterpolasyon noktasının jeoid yüksekliği

N_i : Dayanak noktalarının jeoid yüksekliği

P_i : Dayanak noktalarına atanacak ağırlık değeri

m : Enterpolasyonda kullanılacak dayanak noktası sayısıdır (Güler, 1978).

Büyük alanlarda yapılan enterpolasyonlarda, enterpolasyon noktasından uzakta bulunan dayanak noktalarını enterpolasyon işlemine dahil etmek, sonuçları olumsuz etkiler. Bu olumsuz etki, tüm dayanak noktalarını kullanmak yerine yalnızca enterpolasyon noktası yakınında bulunan dayanak noktalarını kullanmakla giderilebilir. Kullanılacak dayanak noktalarının seçimi için, genellikle enterpolasyon noktası çevresinde çizilen kritik daire veya dikdörtgenden yararlanılır. Çözüm için önerilen bir diğer düşünce ise sadece enterpolasyon noktasının doğal komşularını kullanmaktır. Düzlemde yer alan bir nokta kümesi Delaunay kriterine göre (oluşan üçgenlerin çevrel çemberleri içerisinde başka

dayanak noktası olmasın) üçgenlenirse buna Delaunay üçgenlemesi adı verilir. Delaunay üçgenlemesi doğal komşuların birleştirilmesiyle oluşur. Bir enterpolasyon noktası dayanak noktaları ile birlikte Delaunay kriterine göre üçgenlenirse, enterpolasyon noktası ile birleşerek üçgen kenarı oluşturan bütün dayanak noktaları enterpolasyon noktasının doğal komşusu olurlar. Dolayısıyla ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon işlemi sadece bu dayanak noktaları kullanılarak yapılabilir. Doğal komşuların kullanılması kritik daire veya dikdörtgen boyutunun belirlenmesi gereğini de ortadan kaldırmaktadır (Yanalak, 2002a).

Polinomlarla Enterpolasyon

Bu yöntemin amacı, arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade edebilmektir. Bu teknik, yüzey modelleme çalışmalarında, ayrıca multikvadratik, kollokasyon ve kriging gibi enterpolasyon yöntemlerinin uygulanmasında trend yüzeyi olarak çok yaygın kullanılmaktadır. Yüzey genellikle n . dereceden ortogonal ya da ortogonal olmayan iki değişkenli polinomlar kullanılarak ifade edilebilir.

- Ortogonal polinomlarla jeoid yüzeyi belirlemede kullanılan matematiksel ifade,

$$N(x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^n a_{ij} x^i y^j \quad (5)$$

- Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda kullanılan matematiksel ifade,

$$N(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (6)$$

şeklindedir. Burada

a_{ij} : Polinomun bilinmeyen katsayılarını,

n : Yüzeyin derecesini

x, y : Noktaların düzlem koordinatlarını göstermektedir (Yanalak, 2002b).

Ortogonal polinomlarda; $n = 0$ seçildiğinde yüzey düzlem, $n = 1$ seçildiğinde yüzey lineer, $n = 2$ seçildiğinde oluşturulan yüzey kvadratik, $n = 3$ seçildiğinde oluşturulan yüzey kübik, $n =$

4 seçildiğinde oluşturulan yüzey kuartik, $n = 5$ seçildiğinde oluşturulan yüzey kuintik olarak adlandırılır.

Birinci derece ortogonal bir polinomun eşitliği,

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x \quad (7)$$

şeklindedir. Bu ifadenin çözülebilmesi için 3 katsayının bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda koordinatları bilinen 3 dayanak noktası gerekir. Üçten fazla dayanak noktası olması haline, m dayanak nokta sayısını göstermek üzere, 1. derece bir polinomun düzeltme denklemleri ,

$$V_i = N(x_i, y_i) - N_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

$$V_i = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x - N_i \quad (9)$$

şeklindedir. $\sum_{i=1}^m V_i^2 = \text{minimum}$ koşulundan

yararlanarak polinomun bilinmeyen katsayıları, en küçük kareler yöntemine göre dengelemeli olarak belirlenir. Burada,

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{01} \\ a_{10} \end{bmatrix} \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 \\ 1 & y_2 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_m & y_m \end{bmatrix} \quad \underline{L} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_m \end{bmatrix}$$

\underline{X} : Polinomun bilinmeyen katsayıları vektörü,

\underline{A} : Bilinmeyenlere ait katsayılar matrisi,

\underline{L} : Dayanak noktalarına ait jeoid yüksekliklerini içeren ölçü vektörüdür.

Bilinmeyenler vektörü

$$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{A} \quad (10)$$

$$\underline{n} = \underline{A}^T \underline{L} \quad (11)$$

$$\underline{X} = (\underline{N})^{-1} \underline{n} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L} \quad (12)$$

eşitlikleriyle bulunur. Bulunan bu katsayılar ve jeoid yüksekliği hesaplanacak noktanın x, y değerleri (7) eşitliğinde yerine konarak

enterpolasyon noktasına ait N jeoid yükseklikleri hesaplanır.

Ortogonal olmayan polinomlarda; $n = 0$ seçildiğinde yüzey düzlem, $n = 1$ seçildiğinde yüzey bi-lineer, $n = 2$ seçildiğinde oluşturulan yüzey bi-kuadratik, $n = 3$ seçildiğinde oluşturulan yüzey bi-kübik olarak adlandırılır. Birinci derece ortogonal olmayan bir polinomun matematiksel ifadesi

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x + a_{11}xy \quad (13)$$

şeklindedir. Bu ifadenin çözümü, ortogonal polinomların çözümüyle aynıdır. Ancak bu polinomda bilinmeyen sayısı 4 olduğundan çözüm için koordinatları bilinen en az 4 dayanak noktası gereklidir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Yiğit, 2003).

Parametreler İçin Anlamlılık Testi (t-student dağılımı)

Kestirilen bir parametre x_i ve standart sapması m_{x_i} olmak üzere parametrenin ümit değerinin sıfır kabul edilip edilmeyeceğine karar vermek için sıfır ve seçenek hipotezleri,

$$\begin{aligned} H_0: E(x_i) &= 0 \\ H_s: E(x_i) &\neq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

şeklinde oluşturulur. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{|x_i|}{m_{x_i}} \quad (15)$$

eşitliği ile hesaplanır ve t (student) dağılımındadır. f , serbestlik derecesi ve α , yanılma olasılığı olmak üzere, test büyüklüğü $t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}$ sınır değeri ile karşılaştırılır.

$T < t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}$ ise sıfır hipotezi kabul edilir ve ilgili parametre polinomdan çıkarılır. Seçenek hipotezinin geçerli olması durumunda ise kestirim değerinin anlamlı olduğuna karar verilir (Teke, Yalçınkaya, 2005).

Çalışma Alanı

Bu çalışma Trabzon ili idari sınırları ile Gümüşhane (Merkez Torul, Kürtün) ili idari sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu

illerde tesis edilmiş olan noktalar farklı baz uzunluklarına sahip olması sebebi ile kendi içerisinde sınıflandırılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

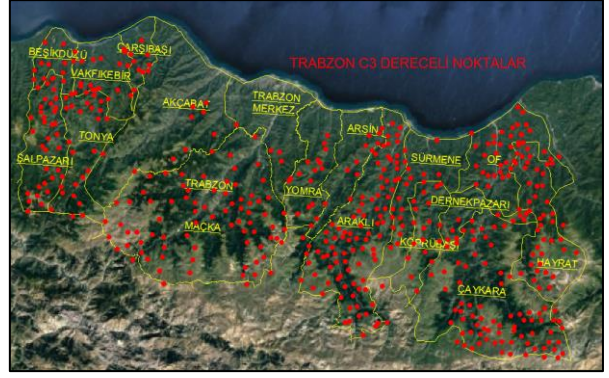
Trabzon ve Gümüşhane illeri idari sınırları içerisindeki AGA yani C1 dereceli noktalar, SGA yani C2 dereceli noktalar, ASN yani C3 dereceli noktalar kendi içerisinde sınıflandırılarak, değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Aşağıdaki şekillerde Trabzon ve Gümüşhane (Merkez Torul, Kürtün) illeri içerisindeki C1,C2 ve C3 dereceli noktaların dağılımları Şekil 2, 3, 4, 5, 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Trabzon ili C1 dereceli nokta dağılımı



Şekil 3. Trabzon ili C2 dereceli nokta dağılımı



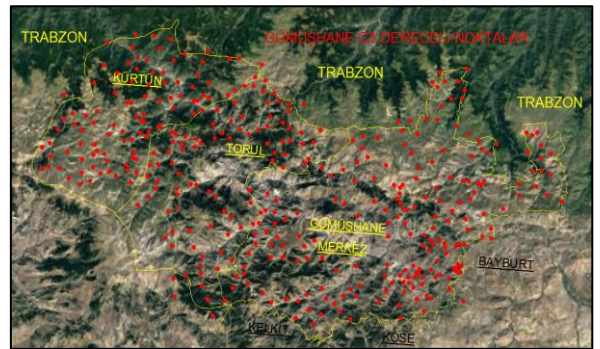
Şekil 4. Trabzon ili C3 dereceli nokta dağılımı



Şekil 5. Gümüşhane ili C1 dereceli nokta dağılımı



Şekil 6. Gümüşhane ili C2 dereceli nokta dağılımı

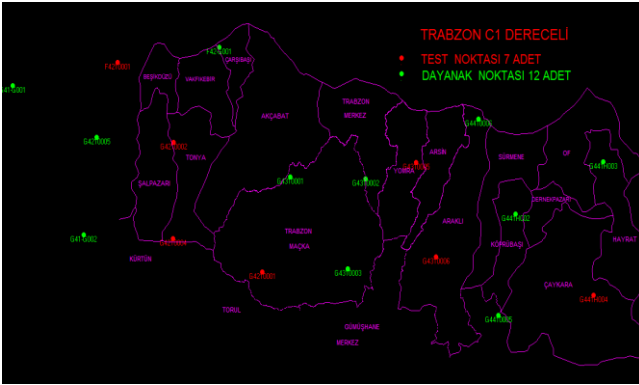


Şekil 7. Gümüşhane ili C3 dereceli nokta dağılımı

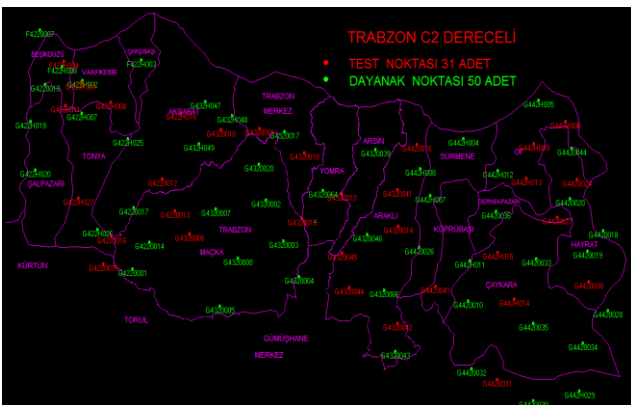
Çalışma Alanları İçerisinde Dayanak ve Test Noktaları Seçimi

Çalışma alanlarının seçiminden sonra Trabzon ve Gümüşhane illeri içerisindeki C1, C2 ve C3 dereceli noktalardan bazıları test, bazıları dayanak noktalar olarak seçilmiş ve bu noktaların x,y düzleminde homojen dağılımlı olmasına dikkat edilmiştir.

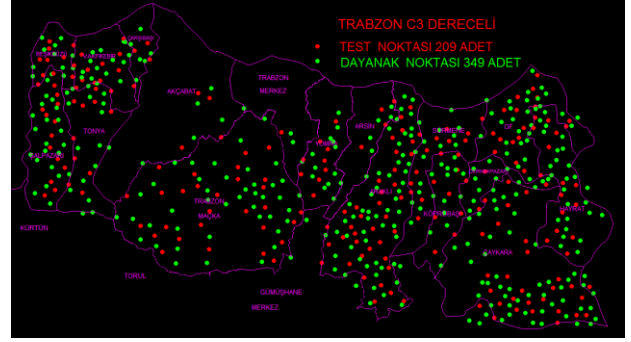
Aşağıdaki şekillerde Trabzon ve Gümüşhane illeri içerisinde jeodezik noktalar ağ derecelerine göre sınıflandırılarak bu sınıflandırmalar içerisinde seçilen dayanak ve test noktalarının konumları ve adetleri Şekil 8, 9, 10, 11, 12 ve Şekil 13’de gösterilmiştir.



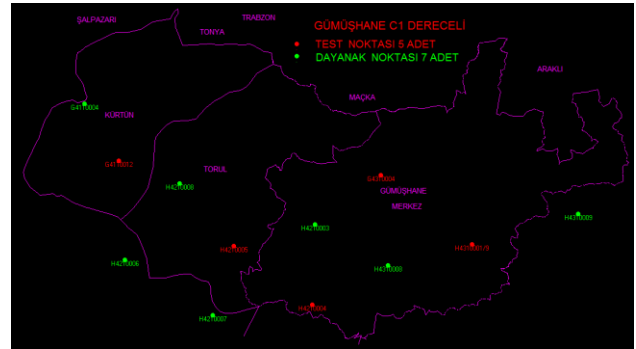
Şekil 8. Trabzon ili C1 dereceli dayanak-test nokta dağılımları



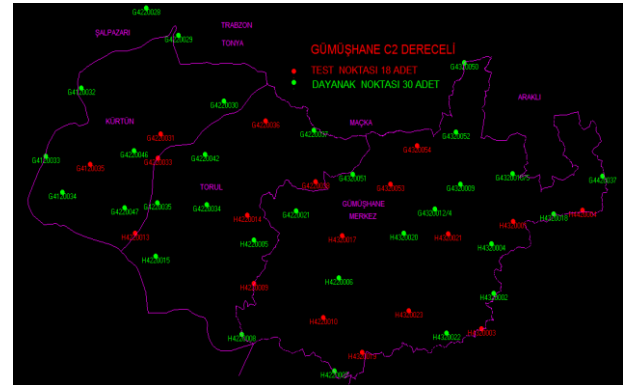
Şekil 9. Trabzon ili C2 dereceli dayanak-test nokta dağılımları



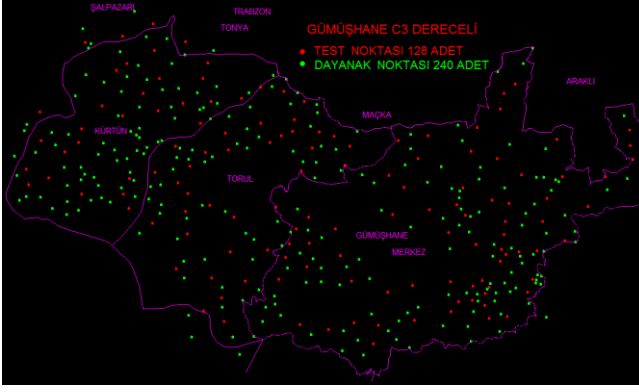
Şekil 10. Trabzon ili C3 dereceli dayanak-test nokta dağılımları



Şekil 11. Gümüşhane ili C1 dereceli dayanak-test nokta dağılımları



Şekil 12. Gümüşhane ili C2 dereceli dayanak-test nokta dağılımları



Şekil 13. Gümüşhane ili C3 dereceli dayanak-test nokta dağılımları

Çalışma alanında seçilen test noktalarında jeoid yüksekliklerinin kestirimi için 7 ayrı enterpolasyon yöntem kullanılmıştır. Bunlar: Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon, Ortogonal polinom yüzeylerinden olan Kuadratik Enterpolasyon, Kübik Enterpolasyon, Lineer Enterpolasyon yöntemleri ve ortogonol olmayan polinomlardan Bi-kuadratik Enterpolasyon, Bi-kübik Enterpolasyon, Bi-Lineer Enterpolasyon yöntemleridir. Bu yöntemlere ilişkin programlar MATLAB paket yazılımında hazırlanmıştır.

Trabzon ve Gümüşhane İllerinde C1, C2 ve C3 Derece Jeodezik Ağ Noktalarında Uygulanan Enterpolasyon Yöntemlerinden Elde Edilen İstatistiksel Bulgular

Bu kısımda, test noktalarında 7 farklı enterpolasyon yöntemi sonucu (Ağırlıklı ortalama, kuadratik, kübik, lineer, bikuadratik, bikübik, bi lineer) elde edilen N ondülasyon değeri ile test noktalarındaki gerçek ondülasyon değerleri arasındaki farklara ait ortalama karesel hata, max. ve min. ondülasyon farkları, mutlak hata ve PRMSE (ortalama karesel hata yüzdesi) değerleri, C1, C2 ve C3 dereceli tüm noktalar için ayrı ayrı hesaplanarak aşağıdaki tabloda verilmiştir. İstatistiksel bilgiler ;

Tablo 1. Trabzon ili için uygulanan enterpolasyon yöntemlerine ilişkin istatistiksel bulgular

TRABZON- İstatistiksel Bulgular						
	Enterpolasyon Yöntemi	Karesel Hata (m)	Max (m)	Min (m)	Mutlak Hata (m)	PRMSE
C1	1 Ağırlıklı Ortalama	1.276	2.075	-1.778	1.129	4.485
	2 Kuadratik	1.678	2.898	-2.008	1.469	5.900
	3 Kübik	13.425	-12.976	-14.173	13.420	47.203
	4 Lineer	1.553	2.628	-1.899	1.377	5.459
	5 Bi Kuadratik	35.957	38.877	33.898	35.915	126.424
	6 Bi Kübik	1.618	2.487	-1.987	1.461	5.689
	7 Bi Lineer	0.326	0.543	-0.577	0.250	1.145
C2	1 Ağırlıklı Ortalama	0.981	1.522	-2.239	0.830	3.512
	2 Kuadratik	1.589	2.756	-3.482	1.374	5.690
	3 Kübik	91.838	-89.993	-93.374	91.835	328.761
	4 Lineer	1.538	2.578	-3.419	1.328	5.506
	5 Bi Kuadratik	3.141	3.876	2.155	3.119	11.245
	6 Bi Kübik	1.656	2.908	-3.490	1.439	5.928
	7 Bi Lineer	0.333	0.607	-0.778	0.272	1.194
C3	1 Ağırlıklı Ortalama	0.989	2.005	-2.533	0.852	3.529
	2 Kuadratik	1.657	2.749	-3.856	1.443	5.911
	3 Kübik	22.953	-22.214	-24.083	22.952	81.859
	4 Lineer	1.589	2.686	-3.707	1.382	5.668
	5 Bi Kuadratik	8.282	9.154	6.728	8.269	29.537
	6 Bi Kübik	1.721	2.772	-3.807	1.496	6.137
	7 Bi Lineer	0.353	0.950	-0.791	0.301	1.261

Tablo 2. Gümüşhane ili için uygulanan enterpolasyon yöntemlerine ilişkin istatistiksel bulgular

GÜMÜŞHANE - İstatistiksel Bulgular						
	Enterpolasyon Yöntemi	Karesel Hata (m)	Max (m)	Min (m)	Mutlak Hata (m)	PRMSE
C1	1 Ağırlıklı Ortalama	0.138	0.169	-0.146	0.135	0.439
	2 Kuadratik	0.256	0.179	-0.490	0.200	0.816
	3 Kübik	40.759	-38.900	-42.685	40.737	129.931
	4 Lineer	0.262	0.382	-0.339	0.227	1.844
	5 Bi Kuadratik	1868.954	1967.133	1764.159	1867.597	5957.811
	6 Bi Kübik	0.314	0.236	-0.586	0.253	1.002
	7 Bi Lineer	0.107	0.220	-0.028	0.072	0.342
C2	1 Ağırlıklı Ortalama	0.334	0.522	-0.694	0.283	1.079
	2 Kuadratik	0.563	0.934	-1.088	0.472	1.816
	3 Kübik	41.344	-41.044	-41.823	41.343	133.438
	4 Lineer	0.509	0.834	-0.885	0.444	1.644
	5 Bi Kuadratik	5.015	5.808	4.344	4.99	16.185
	6 Bi Kübik	0.634	1.054	-1.304	0.522	2.045
	7 Bi Lineer	0.277	0.471	-0.412	0.238	0.894
C3	1 Ağırlıklı Ortalama	0.353	0.693	-0.803	0.276	1.142
	2 Kuadratik	0.628	1.193	-1.403	0.512	2.031
	3 Kübik	12.717	-12.439	-13.25	0.512	12.716
	4 Lineer	0.561	1.093	-1.327	0.457	1.816
	5 Bi Kuadratik	18.028	21.085	14.765	17.945	58.327
	6 Bi Kübik	0.716	1.352	-1.601	0.576	2.317
	7 Bi Lineer	0.263	0.523	-0.577	0.221	0.851

Sonuçlar

Bu çalışmada Trabzon ve Gümüşhane illeri sınırları içinde tesis edilmiş olan C1, C2, C3 dereceli ağ noktaları kullanılarak farklı enterpolasyon yöntemlerinin farklı baz ve topoğrafyadaki performansları araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgulardan şu sonuçlar çıkarılmıştır:

- Trabzon ilinde C1, C2, C3 dereceli noktalar için hesaplanan ortalama karesel hata değeri en küçük olan enterpolasyon yöntemi Bi-lineer, ortalama karesel hata değeri en büyük olan enterpolasyon yöntemi ise C1, C2 ve C3 dereceli noktalarda ortogonal polinomlar için kübik, ortogonal olmayan polinomlar için Bi-kuadratik olarak belirlenmiştir.
- Trabzon'da C1, C2 ve C3 dereceli noktalarında uygulanan Bi-lineer enterpolasyon yöntemine ait en küçük ortalama karesel hata değerleri sırasıyla 0.326 m, 0.333m ve 0.353 m olarak hesaplanmıştır.
- Trabzon'da C1, C2 ve C3 dereceli noktalarında uygulanan enterpolasyon yöntemlerine ait en büyük ortalama karesel hata değerleri sırasıyla ortogonal polinomlar için 13.425m, 91.838m ve 22.953m; ortogonal olmayan polinomlar için 35.957m, 3.141m ve 8.282m olarak hesaplanmıştır.
- Gümüşhane ilinde C1, C2, C3 dereceli noktalar için hesaplanan ortalama karesel hata değeri en küçük olan enterpolasyon yöntemi Bi-lineer, ortalama karesel hata değeri en büyük olan enterpolasyon yöntemi ise C1, C2 ve C3 dereceli noktalarda ortogonal polinomlar için kübik, ortogonal olmayan polinomlar için Bi-kuadratik olarak belirlenmiştir.
- Gümüşhane'de C1, C2 ve C3 dereceli noktalarında uygulanan Bi-lineer enterpolasyon yöntemine ait en küçük ortalama karesel hata değerleri sırasıyla 0.107 m, 0.277m ve 0.263 m olarak hesaplanmıştır.
- Gümüşhane'de C1, C2 ve C3 dereceli noktalarında uygulanan enterpolasyon

yöntemlerine ait en büyük ortalama karesel hata değerleri sırasıyla ortogonal polinomlar için 40.759m, 41.344m ve 12.717m; ortogonal olmayan polinomlar için 1868.954m, 5.015m ve 18.028m olarak hesaplanmıştır.

- Hem Trabzon hem Gümüşhane illerinde tüm C1, C2 ve C3 dereceli noktalarda enterpolasyon yöntemlerinde hesaplanan en küçük ortalama karesel hata değeri Bi-lineer olduğu, bu yöntemi Ağırlıklı ortalama enterpolasyon yönteminin takip ettiği görülmüştür.
- Bi-lineer yöntemin, iki farklı ildeki C1,C2, C3 dereceli baz uzunluklarının ve dayanak nokta sayısının farklı olması durumundan etkilenmediği görülmüştür.
- Genel olarak yüzey derecesinin artmasıyla ortalama karesel hata değerinin arttığı enterpolasyonun doğruluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun çalışma alanının büyük, bir il büyüklüğünde olması ile ilgili olabileceği düşünülmüştür.
- Elde edilen bulgulardan büyük alanlarda kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin derecelerinin arttırılmasıyla yüzeyde bozulmaların başladığı görülmüştür.
- Kullanılacak enterpolasyon yöntemi, arazinin büyüklüğüne, tipine, nokta yoğunluğuna göre değişebileceğinden farklı enterpolasyon yöntemleri çalışma bölgelerinde test edilmeli, bölgeye uygun optimum bir enterpolasyon yöntemi tercih edilmelidir.

Kaynaklar

- Akiz, E. Ve Yerci, M., 2009. Jeoit Kullanarak Elipsoit Yüksekliklerinden Ortometrik Yükseklik Belirleme Yöntemlerinin Doğruluk Araştırması. Harita Dergisi, 141, 13-25.
- Güler, A., 1978. Sayısal Arazi Modellerinde İnterpolasyon Yöntemleri. Harita Dergisi, 85, 53-70.
- Heiskanen, W. ve Moritz, H., 1984. Türkçe çeviri: Onur Gürkan, Fiziksel Jeodezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., 1992. Dengeleme Hesabı, Cilt III, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Poutanen, M., 1994. Some Practical Aspects of High-Precision GPS, Coordinate Systems GPS and The Geoid. Suomen Geodeettisen Laitoksen Tiedonantoja Reports of The Finnish Geodetic Institute, 95, 4, 113-123.
- Yalçinkaya M., Teke K., 2005. Yerel Jeoid Yüzeyinin Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri. TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı, TRABZON, TÜRKİYE, , cilt.1, ss.304-313.
- Yanalak, M., 2002a. Yön ve Ters Uzaklık Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon. Harita Dergisi, 127, 48-55.
- Yanalak, M., 2002b. Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu. Harita Dergisi, 128, 44-58.
- Yiğit, C., 2003. Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Comparison of Weighted Average and Polynomial Interpolation Methods in Geoid Undulations Determination

Extended abstract

In this study, the proprietary values of Orthometric Height (H) and three-dimensional cartesian coordinate called ITRF96, Ellipsoid Height (h), coordinates (Y,X) of C1 (AGA), C2 (SGA), C3 (ASN) point established on the ground in Trabzon and Gumushane provinces have been provided by Geodesy Department in Trabzon IX. Regional Directorate of Land Registry and Cadastre. After C graded-points whose base lengths are different have been classified in themselves with in borders of Trabzon and Gumushane provinces according to their categories, test and reference points have been chosen from those ones. It has been observed to the distribution of the points in a homogeneous way while being decided. The values of geoid height have been obtained from the differences of existing orthometric and ellipsoid height in the points. In the test points whose base length are different, the values of geoid height (undulation) have been determined by the varied interpolation methods.

Package software named Matlab 2012 has been used for determinations. It has been tried to be confirmed which interpolation method gets more meaningful result in the study carried on by being taken the differences of the values of geoid height determined in the test points and existing geoid height values.

In this study, some methods such as weighted average, quadratic, cubic, linear, bi-quadratic, bi-cubic, bi-linear interpolation have been utilized. In the comparison of interpolation methods, some criterias such as the differences of point number and distribution, implementation of the application to different topographical structures, obtained statistical information have been watched out.

In this study, there are 19 C1, 81 C2, 558 C3 grade points for Trabzon province. There are 12 C1, 48 C2, 368 C3 grade points for Gümüşhane province. There are ITRF coordinates, orthometric heights (H) and ellipsoidal heights (h) of these points. Some of the points have been chosen as control and test points.

N geoid undulation values have been calculated in all points as $N=h-H$. In test points N geoid

undulation values have been estimated according to each interpolation methods as well. The differences between the N real geoid undulation value and the N estimated geoid undulation value in test points have been taken. Minimum and maximum values, the mean absolute errors, root mean square error values and the percentages of root mean square error of the differences have been calculated for each interpolation method.

The results showed that root mean square error values is the smallest in Bi-linear interpolation methods in C1, C2 and C3 points both Trabzon and Gümüşhane. Weighted average interpolation method follows this method. The Bi-linear method is not affected by the fact that the base lengths of C1, C2, C3 on two different sides and the number of control points are different.

Keywords: *Geoid Undulation, Interpolation methods, Orthometric Height, Polynomial Surfaces*



Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi

Abdullah GÜNDOĞAY

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
abdullahgundogay@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0002-5355-9014

Hakan ULUTAŞ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur
hulutas@mehmetakif.edu.tr ORCID: 0000-0003-1721-7268

Hamide TEKELİ*

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
hamidetekeli@gmail.com ORCID: 0000-0002-3515-6836, Tel: (246) 211 11 90

Geliş: 08.06.2018 , Kabul Tarihi: 19.12.2018

Öz

Mevcut binaların deprem güvenliği incelemesi için uygulanabilecek yöntemler Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) sunulmuştur. Bir binanın deprem güvenliği, yapısal özelliklerine, düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanların dağılımı ile bu taşıyıcı elemanlarda bulunan boyuna ve enine donatı miktarına, deprem bölgesine, yerel zemin sınıfına, malzeme sınıfına ve kat adedine bağlıdır. Yapılan çalışmada, betonarme çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 17 adet atölye binası, yapısal özellikleri dikkate alınarak deprem güvenliklerinin incelenmesi için model olarak seçilmiştir. Bu binaların deprem güvenliği DBYBHY 2007 esasları çerçevesinde sunulan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar iki farklı malzeme sınıfı için sunulmuştur. Birinci sınıf, malzeme kalitesinin iyi olduğu ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgesinde yeterli sargılamasının bulunduğu durumu temsil ederken, ikinci sınıf ise, mevcut bina üzerinde yapılan deneyler ile tanımlanan malzeme dayanımlarını ve yerinde ölçülen aralıklarda enine donatının bulunduğu durumu temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar doğal periyod, kapasite eğrisi, hedef yerdeğiştirme istemi ve bina performans seviyesi açısından değerlendirilerek sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atölye binası, betonarme, deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan yöntem

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Ülkemizde meydana gelen depremler, gelişmiş ülkelere oranla daha fazla can ve mal kaybına neden olmaktadır. Depremde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla yapılması gereken en önemli uygulama depreme dayanıklı binaların inşa edilmesidir. Ülkemizde mevcut binaların deprem güvenliği incelemelerinin yapılarak gerekli tedbirlerin alınması deprem esnasındaki can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Demir vd., 2013). İncelenecek binaların sayı olarak çokluğu düşünüldüğünde, mevcut binalar içerisinde öncelikli öneme sahip binaların seçilmesi gerekmektedir. Okul ve hastane binaları bu kapsamda değerlendirilebilir. Okul binalarının deprem güvenliğinin incelendiği bazı çalışmalarda (Keskin ve Celep, 2013; Dinçer ve Mert, 2014), mevcut okul binalarının hedeflenen performans düzeyini sağlamadığı ve güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmalar, mevcut binaların deprem güvenliğinin incelenmesi aciliyetini ve önemini bir kez daha göstermektedir.

Binaların deprem güvenliğini etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnetlerinde etriye sıklaştırmasının uygulanıp uygulanmaması durumu etkili parametrelerden bazıları olarak belirtilebilir. Literatürde, mevcut okul binalarının deprem güvenliği üzerine malzeme özelliklerinin etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Örneğin, İnel ve diğerleri (2006) ile İnel ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmalarda, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın okul binalarında yaygın olarak kullandığı tip projelere sahip binaların, uygulamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılarak performans düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda, beton sınıfı ve etriye aralığı özelliklerinin binanın deplasman kapasitesi üzerinde oldukça etkili olduğu ancak perdelerin

bulunduğu binalarda bu etkinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Türkay ve Güler (2017) tarafından yapılan çalışmada, dört katlı ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir okul binasının tasarımı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Türk Standardı 500 (2000)'e göre yapılmıştır. Okul binasının deprem performansı 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan deprem seviyeleri için Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak DBYBHY (2007) yönetmeliği ve Mevcut Binaların Sismik İyileştirilmesi (ASCE 41-06) standardına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Gündoğay ve Tekeli (2018) tarafından yapılan çalışmada mevcut atölye binalarının deprem güvenliği üzerinde beton dayanımı, donatı dayanımı, sargılama durumu gibi parametrelerin etkinliği incelenmiştir.

Bu çalışmada, Isparta ilinde bulunan bazı okul binalarına ait 17 adet çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme atölye binasının, DBYBHY (2007)'te yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Hesaplamalar, iki farklı malzeme grubu için tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Binaların Deprem Güvenliği

Belirli bir deprem etkisinde, taşıyıcı elemanların hasar seviyesine ve miktarına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu, performans olarak tanımlanmaktadır. DBYBHY (2007), mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin kullanımını önermektedir. Bu çalışmada atölye binalarının deprem performansı, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak yapılmıştır. DBYBHY (2007)'de bu yöntemin

uygulanabilmesi için, bina kat adedinin bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1.4 değerinden küçük olması gerekir. Ayrıca doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Doğrusal elastik olmayan yöntemde, artan yük etkisi altında, kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarına ait kesitlerde plastik şekil değiştirmelerin belirli bölgelerde toplandığı ve bu bölgeler dışında sistemin elastik davrandığı varsayılır. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü bu bölgeye "plastik mafsal boyu" (L_p) denilir. Plastik mafsal boyu uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak dikkate alınabilir.

Çalışma kapsamında yapılan çözümlerinde, Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerine ait plastik mafsal tanımlamalarının yapılması ile

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (1)$$

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2)$$

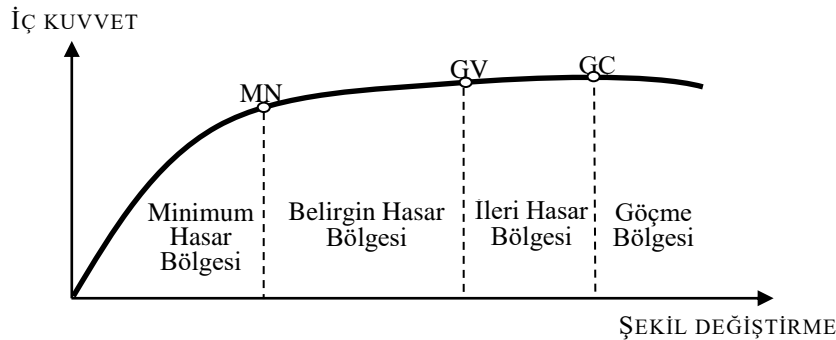
$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.0040 + 0.014 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3)$$

Burada MN minimum hasar sınırını, GV güvenlik hasar sınırını, GÇ göçme hasar sınırını, ϵ_{cu} kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesini, ϵ_{cg} etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesini, ϵ_s donatı çeliği birim şekil değiştirmesini, ρ_s kesitte mevcut olan ve

doğrusal elastik olmayan yöntemde öncelikle binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrisi elde edilmiştir. Bunun için, yatay yük adım adım artırılır. Her bir adımda elastik ötesi şekil değiştirmeler dikkate alınarak bina için çatı yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti eğrisi elde edilir. Elde edilen bina kapasite eğrisi ve spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde modal ivme - modal yer değiştirme grafiğine dönüştürülür.

Doğrusal elastik olmayan çözümlerde; dönüştürülen bu grafikten yararlanılarak binanın hedef yer değiştirme istem seviyesindeki ötelenme değeri hesaplanır. Daha sonra binanın bu ötelenme seviyesindeki eleman kesitlerine ait beton ve donatı şekil değiştirme değerleri elde edilir. Bu değerler yönetmelikte tanımlanan sınırlarla kıyaslanarak her bir elemanın hasar seviyelerine karar verilir. DBYBHY (2007)'de tanımlanan beton ve donatı çeliği şekil değiştirmelerinde izin verilen üst sınırlar, Denklem (1), (2) ve (3)'te verilmiştir.

ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarında belirlenen beton ve donatıya ait şekil değiştirme değerlerinin, yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hasar seviyesine karar verilebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Eleman hasarının belirlenmesi

Binanın deprem performansı, hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde taşıyıcı sistem elemanlarında ortaya çıkan hasar dağılımına göre belirlenir. Binanın deprem güvenliğinin bulunup bulunmadığına, binanın belirlenen performans seviyesinin hedef performans seviyesi ile kıyaslanması sonucunda karar verilir.

Bina performansı, DBYBHY (2007)'de, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme

Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olmak üzere dört farklı seviyede tanımlanmıştır. Atölye binaları, okul binalarına ait tesisler olduğundan hedef performans seviyesi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için “Hemen Kullanım”, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için ise “Can Güvenliği” olarak seçilmiştir. Hedef performans seviyesinin sağlanması için gerekli koşullar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Performans seviyesi koşulları

Performans Seviyesi	Koşullar
Hemen Kullanım (HK)	<i>Her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Minimum Hasar Bölgesi'nde olmalıdır.</i>
Can Güvenliği (CG)	<i>Her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. İleri hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta bu oran en fazla %40 olabilir. Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Minimum Hasar Bölgesi'nde veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır. Ancak, Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.</i>

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi elastik ötesi davranışı daha gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanmasında iki bakımdan zorluk bulunmaktadır. Bunlardan ilki taşıyıcı sisteme ait daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmasıdır. Diğeri ise, piyasada bulunan doğrusal çözüm programlarının kullanılamaması ve çok daha ayrıntılı çözüm tekniklerini içeren programlara ihtiyaç duyulmasıdır (Uygun ve Celep, 2007). Bu ihtiyaçtan dolayı literatürde kullanıcıya sunulmuş çeşitli programlar bulunmaktadır. Bu çalışmada yapılan çözümlerinde, betonarme elemanların davranışının tanımlanması için “Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme” (BESAM, 2013), statik çözümler için “Structural Analysis Program” (SAP 2000, 2011) ve bina performans seviyesinin belirlenmesi için “Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Programı” ndan (DELOP, 2013) yararlanılmıştır. Bu programların, birbirleri ile koordineli olarak kullanımı sağlanmıştır.

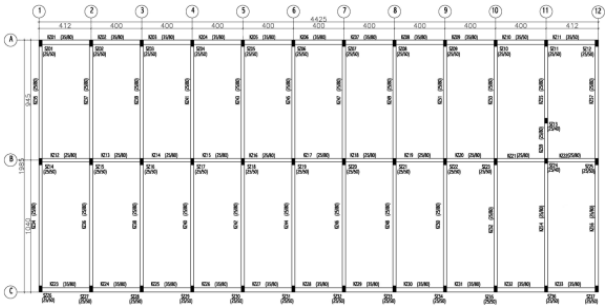
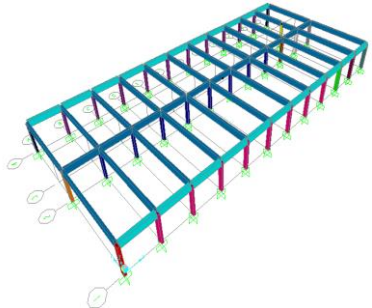
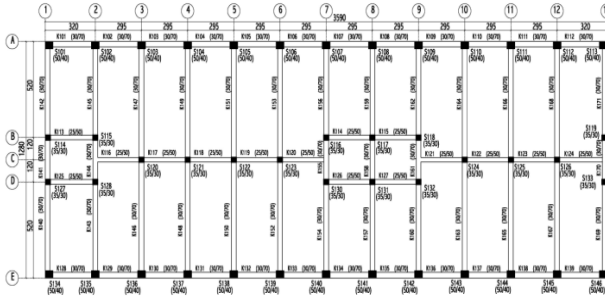
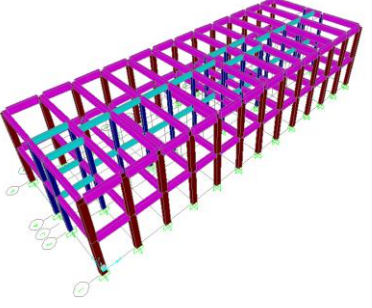
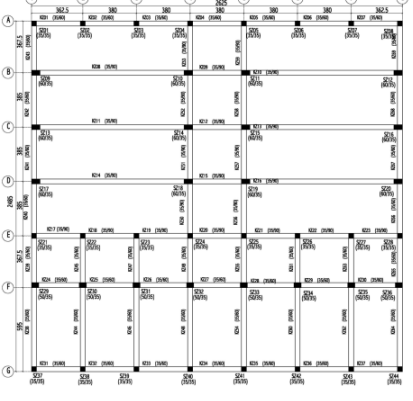
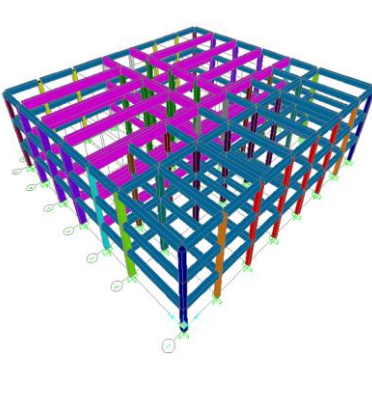
Atölye Binalarının Tanıtılması

Çalışma kapsamında Isparta ilinde bulunan 17 adet betonarme atölye binasının (Gündoğay ve Tekeli, 2018) deprem güvenliği incelemesi yapılmıştır. İlk olarak binalara ait taşıyıcı sistem projeleri temin edilmiştir. Binalar ile ilgili yapılan deprem güvenliği incelemelerinde, bazı giriş ve kolonlar üzerinde yapılan hasarlı ve hasarsız donatı tespitlerine ait raporlar ile beton basınç dayanımı tespit raporları kullanılmıştır. Ayrıca binalara ait sondajlı jeolojik-jeofizik zemin etüdü raporları da temin edilmiştir. Bu raporlarda temel sistemi; bloklarda temel çukurları açılarak kontrol edilmiş ve sürekli temel olduğu tespit edilmiştir. Binaların tamamının kapsamlı bilgi düzeyinde bulunduğu kabul edilmiştir. Farklı kat adedine sahip binalardan örnek olarak birer adet kalıp planları ve oluşturulan bilgisayar modellemeleri Tablo 2’de verilmiştir. Atölye binalarına ait kalıp planları genel olarak incelendiğinde, sürekli akslara sahip ve düzenli sistemler olduğu, ancak kolonların uzun kenarlarının çoğunlukla aynı

doğrultuda yerleştirildiği görülmüştür. Tüm bina modellerinin statik sistemleri SAP 2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Taşıyıcı sisteme ait kolon, kiriş ve perde duvar elemanlar çubuk eleman olarak modellenmiştir. Döşeme sabit yük değeri (g) 4.0 kN/m^2 , hareketli yük değeri (q) ise Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri Standart'ında tanımlandığı gibi 5.0 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Duvar sabit yük değeri (g_{duvar}) ise 4.0 kN/m düzgün yayılı yük olarak kirişler üzerine aktarılmıştır. Döşeme, kiriş elemanlara yük olarak aktarılmış

ve her kat seviyesinde rijit diyafram etkisi dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan çözümlemelerde kullanılmak üzere taşıyıcı sistem elemanlarına ait plastik mafsallık özellikleri BESAM programında tanımlanarak kiriş elemanlara M_3 , kolon ve perde elemanlara ise PM_2M_3 mafsallık atanmıştır. İncelenen tüm binalar 1. derece deprem bölgesi ve Z4 yerel zemin sınıfında bulunmaktadır. Dolayısıyla, etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) 0.40 ve spektrum karakteristik periyodları (T_A , T_B) ise sırasıyla 0.2 ve 0.9 sn olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Farklı kat adedine sahip bazı binalara ait kalıp planları ve oluşturulan bilgisayar modelleri

Bina No	Kat Adedi	Kalıp Planı	Bilgisayar Modeli
1	1		
10	2		
11	3		

İncelenen tüm atölye binalarına ait taşıyıcı sistem bilgileri, yerinde belirlenen beton ve donatı sınıfı özellikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde uygulanan sargılama durumu bilgileri Tablo 3'te verilmiştir. Burada H_{bina} , bina yüksekliğini;

ΣA_{kat} , toplam kat alanını; W_{bina} , bina ağırlığını; f_{cm} , beton basınç dayanımını; f_{ym} , donatı akma dayanımını; sargılama durumu ise taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde uygulanan etriye çapını (mm) ve aralığını (mm) ifade etmektedir.

Tablo 3. Atölye binalarının yapısal özellikleri

Bina No	Kat Adedi	H_{bina} (m)	ΣA_{kat} (m ²)	W_{bina} (kN)	f_{cm} (MPa)	f_{ym} (MPa)	Sargılama Durumu
1	1	3.8	878	9254	7	220	Ø8/200
2	1	3.8	697	7248	7	220	Ø8/200
3	1	2.9	184	2387	11	220	Ø8/200
4	1	2.9	184	2387	8	220	Ø8/200
5	1	3.9	265	2952	11	220	Ø8/200
6	1	3.9	265	2952	8	220	Ø8/200
7	1	6.0	252	3714	10	220	Ø8/200
8	3	9.0	1496	20575	14	220	Ø8/200
9	3	9.0	1957	22901	14	220	Ø8/200
10	2	7.9	919	11416	10	220	Ø8/200
11	3	9.0	1957	22901	11	220	Ø8/200
12	3	8.4	1166	16300	11	220	Ø8/200
13	1	3.9	281	3718	8	220	Ø8/200
14	2	7.8	562	7436	14	220	Ø8/200
15	1	4.0	112	1681	15	220	Ø8/200
16	1	4.0	320	4308	15	220	Ø8/200
17	1	3.9	478	6414	24	220	Ø8/200

Görüldüğü gibi incelenen binaların tamamında S220 donatı sınıfı kullanılmış ve taşıyıcı sistem elemanların mesnetlerinde etriye sıklaştırması uygulanmamıştır. Sadece bir adet binada beton basınç dayanımı 20 MPa üzerindedir. Diğer tüm binalarda beton basınç dayanımı 10 MPa civarındadır.

Atölye Binalarının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi

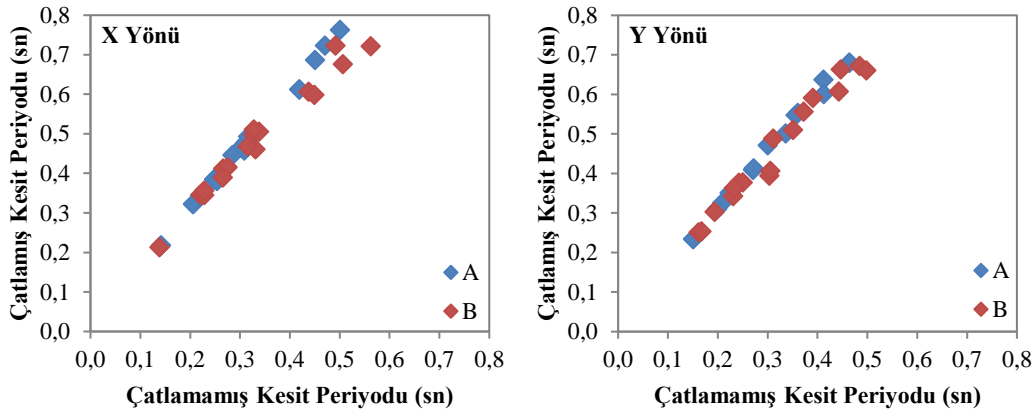
Mevcut atölye binalarının deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılarak, binaların her iki doğrultusu (x ve y), iki farklı malzeme sınıfı (A ve B) ve iki farklı deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler) için incelenmiştir. Burada A malzeme sınıfı beton basınç dayanımının 20 MPa, donatı akma dayanımının 420 MPa ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırmasının Ø8/100 olarak uygulandığı duruma karşılık gelmektedir. Malzeme sınıfının B olması ise, yerinde ölçümler ile belirlenen

malzeme dayanım değerlerinin kullanıldığı duruma karşılık gelmektedir.

Binaların deprem davranışının belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri binanın doğal titreşim periyodudur. Doğal periyod, binanın ağırlığına ve taşıyıcı sistemin yatay ötelenme rijitliğine bağlı olarak belirlenmektedir. İncelenen beton sınıfı, donatı sınıfı ve sargılama durumu parametrelerinden doğal periyodu etkileyen en önemli parametre beton basınç dayanımıdır. Çözümlemeler sonucunda mevcut atölye binalarının çatlamamış ve çatlamış kesit rijitliklerine ait elde edilen doğal periyod değerleri, bina çözümleme yönüne (x, y) ve malzeme sınıfına (A, B) bağlı olarak Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca çatlamamış ve çatlamış kesit periyodlarının ilişkisi Şekil 2'de grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 4. Çatlamamış ve çatlamış kesit rijitliklerine ait periyod değerleri

Bina No	Çatlamamış Kesit Periyodu				Çatlamış Kesit Periyodu			
	T_1^x (sn)		T_1^y (sn)		T_1^x (sn)		T_1^y (sn)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0.50	0.56	0.27	0.30	0.76	0.72	0.41	0.39
2	0.45	0.51	0.27	0.31	0.69	0.68	0.41	0.41
3	0.21	0.22	0.15	0.16	0.32	0.35	0.23	0.25
4	0.21	0.23	0.15	0.17	0.32	0.35	0.23	0.25
5	0.25	0.27	0.23	0.24	0.38	0.41	0.35	0.38
6	0.25	0.28	0.23	0.25	0.38	0.42	0.35	0.38
7	0.30	0.33	0.36	0.39	0.47	0.50	0.55	0.59
8	0.25	0.27	0.34	0.35	0.38	0.39	0.50	0.51
9	0.42	0.44	0.46	0.48	0.61	0.61	0.68	0.67
10	0.31	0.34	0.41	0.45	0.48	0.51	0.64	0.66
11	0.42	0.45	0.46	0.50	0.61	0.60	0.68	0.66
12	0.31	0.33	0.41	0.44	0.46	0.46	0.60	0.61
13	0.28	0.32	0.21	0.23	0.45	0.47	0.32	0.34
14	0.47	0.49	0.36	0.37	0.72	0.72	0.55	0.56
15	0.32	0.33	0.22	0.23	0.49	0.51	0.35	0.36
16	0.22	0.23	0.30	0.31	0.34	0.36	0.47	0.49
17	0.14	0.14	0.20	0.19	0.22	0.21	0.31	0.30



Şekil 2. Çatlamamış ve çatlamış kesit periyodları arasındaki ilişki

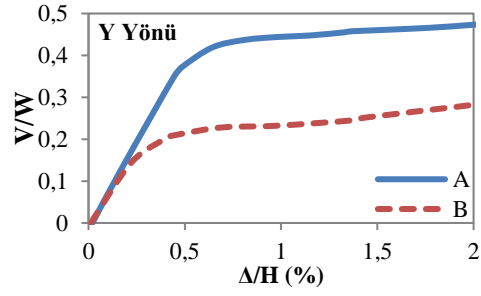
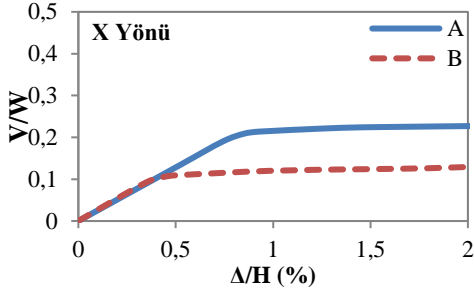
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, beton dayanımındaki azalma ile binadaki çatlamamış kesit doğal periyod değerlerinin tüm çözümler için arttığı görülmektedir. Ancak beton dayanımının çatlamış kesite ait doğal periyod değerleri üzerindeki etkisi için, aynı yorumları yapmak tam olarak mümkün değildir. Örneğin 2 numaralı binanın x yönü çözümüne ait çatlamamış kesit doğal periyod değerleri; A (B) malzeme sınıfında beton dayanımının 20 (7) MPa olması durumunda 0.45 (0.51) sn. iken, çatlamamış kesit periyodları 0.69 (0.68) sn. olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla beton dayanımının, çatlamamış kesit periyodu üzerinde oldukça etkili olduğu, ancak çatlamış kesit periyodu üzerindeki etkisinin bazı durumlarda sınırlı seviyelerde kaldığı

söylenbilir. Bu durum, DBYBHY (2007)'de taşıyıcı sistem elemanlarına ait çatlamış kesit periyod hesabında, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanılması ile açıklanabilir.

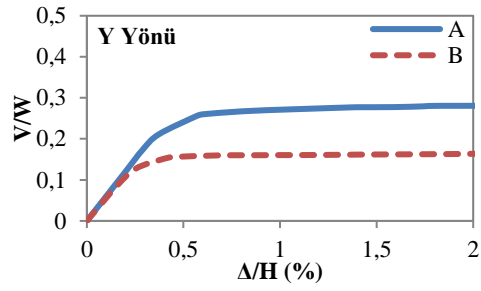
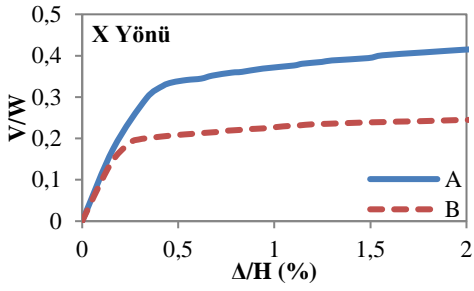
Binalara uygulanan artımsal itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi–taban kesme kuvveti” olan kapasite eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katında göz önüne alınan deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin deprem doğrultusundaki toplamıdır. Mevcut atölye binalarına ait elde edilen kapasite eğrilerinin düşey eksenini bina ağırlığına, yatay eksenini ise bina yüksekliğine oranlanmıştır.

Tablo 2’de kalıp planları sunulan atölye binalarına ait boyutsuzlaştırılmış kapasite

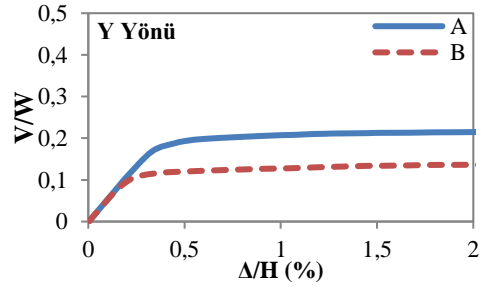
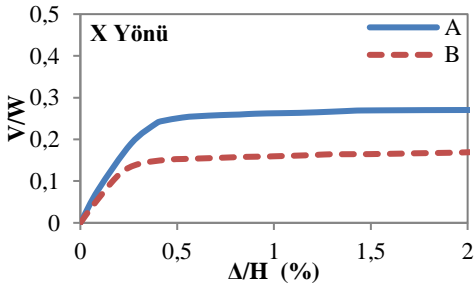
eğrileri Şekil 3’te verilmiştir.



a) 1 numaralı atölye binası



b) 10 numaralı atölye binası



c) 11 numaralı atölye binası

Şekil 3. Atölye binalarına ait boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri

Kapasite eğrileri incelendiğinde; taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranı (V/W) değerinin en büyük A malzeme sınıfında, en küçük ise B malzeme sınıfında ortaya çıktığı görülmüştür. Binalara ait kapasite eğrileri ve çatlama kesite ait doğal titreşim periyodları kullanılarak, hedef yerdeğiştirme istem değerleri belirlenmiştir. Bina çatı katında, bu yerdeğiştirme değerine kadar ötelenmiş ve bu seviyedeki taşıyıcı sistem eleman kesitlerine ait beton ve donatı şekil değiştirme değerleri elde

edilmiştir. Binaların her iki deprem doğrultusu için HK ve CG performans düzeylerine ait elde edilen çatı katı hedef yerdeğiştirme istem değerleri (Δ_{hedef}) Tablo 5’te verilmiştir. Aynı zamanda, CG performans seviyesi için belirlenen hedef yerdeğiştirme istem değerleri HK performans seviyesi için belirlenen değere oranlanmıştır. Elde edilen bu oranlar, tüm binalar için toplanarak bina sayısına bölünmüş ve ortalama değerler bulunmuştur.

Tablo 5. Atölye binalarının HK ve CG performans seviyelerine ait belirlenen Δ_{hedef} değerleri

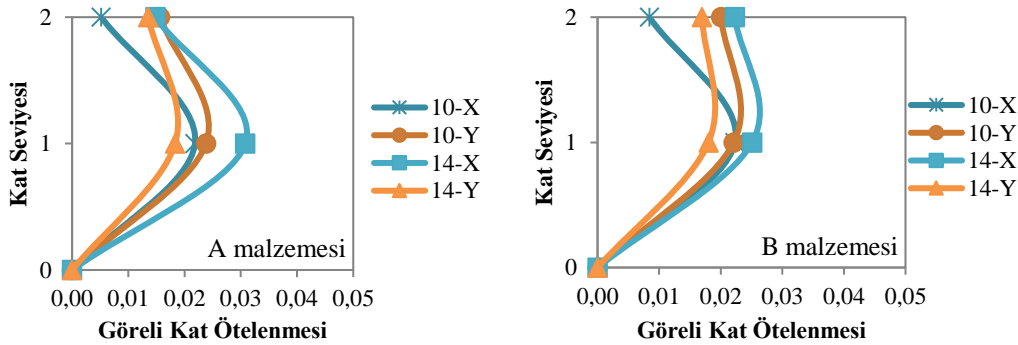
Bina No	HK						CG						$(\Delta_{\text{hedef}}^{\text{CG}})^x$ / $(\Delta_{\text{hedef}}^{\text{HK}})^x$		$(\Delta_{\text{hedef}}^{\text{CG}})^y$ / $(\Delta_{\text{hedef}}^{\text{HK}})^y$	
	Δ_{hedef}^x (mm)			Δ_{hedef}^y (mm)			Δ_{hedef}^x (mm)			Δ_{hedef}^y (mm)			A	B	A	B
	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	A	B
1	165	158	0.96	72	79	1.10	250	238	0.95	117	121	1.04	1.52	1.51	1.63	1.54
2	141	144	1.02	65	77	1.18	218	219	1.01	111	122	1.10	1.54	1.52	1.70	1.58
3	53	67	1.25	27	42	1.56	89	105	1.17	53	70	1.33	1.67	1.57	1.94	1.65
4	53	66	1.24	27	43	1.57	89	105	1.18	53	70	1.34	1.67	1.58	1.94	1.65
5	57	77	1.35	62	75	1.22	102	123	1.20	99	116	1.17	1.78	1.58	1.61	1.55
6	57	80	1.40	62	76	1.24	102	124	1.21	99	117	1.18	1.78	1.55	1.61	1.54
7	76	96	1.26	108	123	1.14	129	152	1.18	169	189	1.12	1.69	1.59	1.57	1.53
8	85	95	1.12	119	130	1.09	136	149	1.10	188	200	1.07	1.59	1.56	1.57	1.54
9	154	161	1.04	178	182	1.02	239	246	1.03	273	275	1.01	1.55	1.53	1.53	1.52
10	107	121	1.14	156	169	1.09	169	188	1.11	240	257	1.07	1.58	1.55	1.54	1.52
11	154	158	1.03	178	179	1.01	239	243	1.01	273	272	1.00	1.55	1.53	1.53	1.52
12	101	114	1.13	149	160	1.07	163	178	1.09	232	245	1.05	1.61	1.56	1.55	1.53
13	71	90	1.27	39	59	1.52	119	142	1.19	74	96	1.31	1.68	1.58	1.90	1.64
14	178	185	1.04	124	136	1.10	273	280	1.03	195	210	1.08	1.53	1.52	1.57	1.54
15	86	101	1.17	49	63	1.29	141	158	1.12	87	103	1.19	1.64	1.56	1.78	1.64
16	50	63	1.27	84	98	1.16	87	102	1.18	136	153	1.13	1.75	1.62	1.61	1.56
17	19	30	1.59	42	51	1.21	42	54	1.27	75	85	1.12	2.24	1.80	1.80	1.66
Ort.	95	106	1.19	91	102	1.21	152	165	1.12	145	159	1.13	1.67	1.57	1.67	1.57

Elde edilen sonuçlara göre; B malzeme sınıfı için elde edilen Δ_{hedef} değerlerinin A malzeme sınıfı için elde edilenlere göre HK performans seviyesi çözümlerinde ortalama %20, CG performans seviyesi çözümlerinde ortalama %13 daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin 4 numaralı bina modelinde malzeme sınıfının etkisi, HK performans seviyesi için tanımlanan hedef yerdeğiştirme seviyesi değerini 1.57 kat değiştirirken, CG performans seviyesi için 1.34 kat değiştirmektedir. Dolayısıyla, malzeme sınıfı değişiminin Δ_{hedef} değerlerine etkisi, HK hedef performans seviyesinde, CG hedef performans seviyesinden daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır.

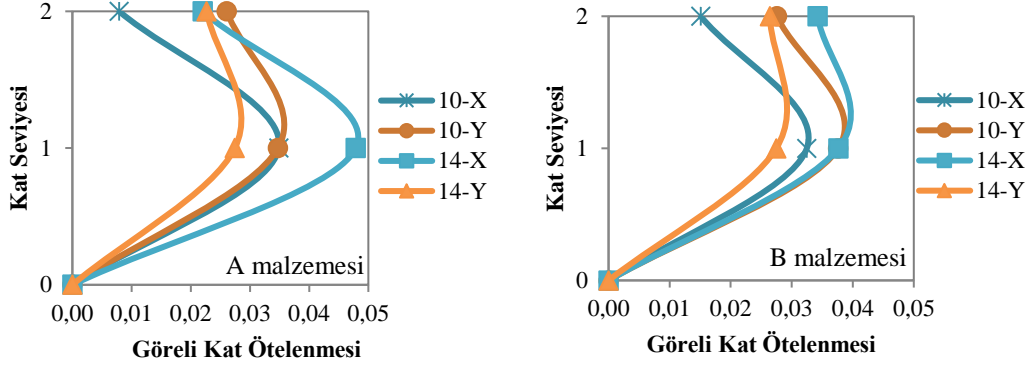
Tablo 5'teki değerler incelendiğinde CG hedef performans seviyesi için bulunan hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin; HK performans seviyesi için belirlenen değerlerden

ortalama 1.62 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu oran elastik spektrumdaki artış oranına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. İki performans seviyesi için belirlenen hedef yerdeğiştirme istemleri arasındaki en büyük fark genel olarak malzeme kalitesinin iyi olduğu A malzeme sınıfında, en küçük fark ise malzeme kalitesinin kötü olduğu B malzeme sınıfında ortaya çıkmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar, malzeme dayanımlarındaki zayıflıkların hedef yerdeğiştirme istem değeri üzerindeki etkinliğinin fazla olmadığını göstermektedir.

Hedef yerdeğiştirme seviyesinde elde edilen kat ötelenmelerine ait görel kat ötelenme oranları her kat seviyesinde hesaplanarak iki katlı atölye binaları için Şekil 4'te, üç katlı atölye binaları için ise Şekil 5'te grafik halinde binaların x ve y yönlerinde verilmiştir.

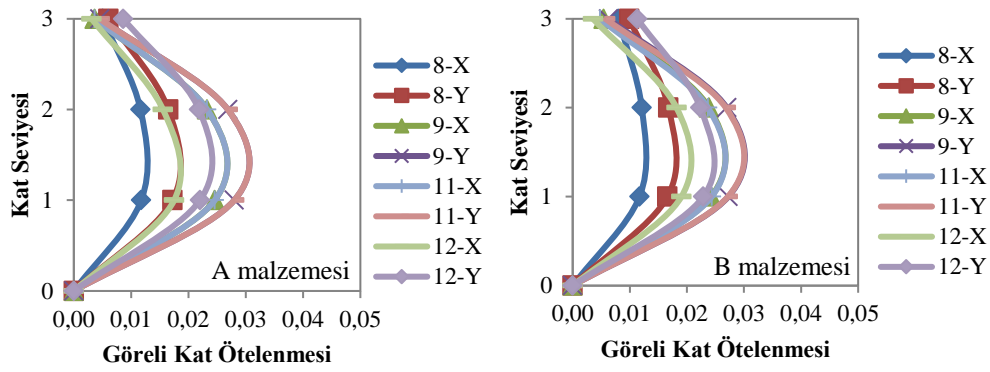


a) HK hedef performans seviyesi

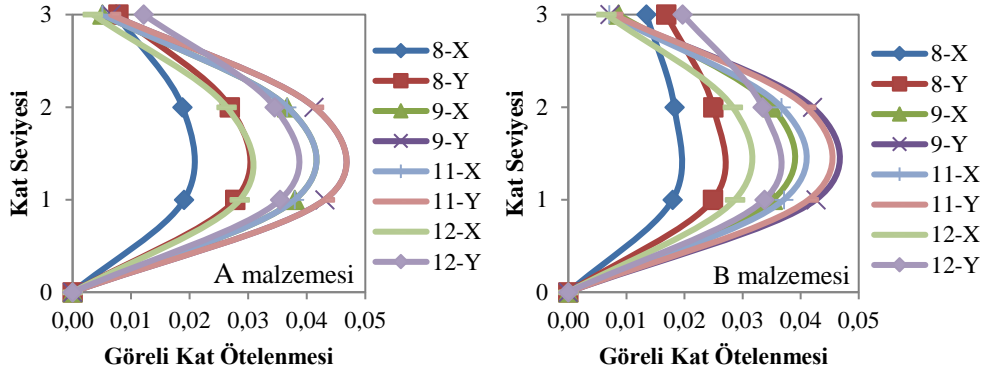


b) CG hedef performans seviyesi

Şekil 4. İki katlı binalar için elde edilen görel kat ötelenmeleri



a) HK hedef performans seviyesi



b) CG hedef performans seviyesi

Şekil 5. Üç katlı binalar için elde edilen görel kat ötelenmeleri

Grafikler incelendiğinde beklendiği gibi, en küçük görel kat ötelenmesine en üst katın sahip olduğu görülebilir. Genel olarak A malzeme sınıfındaki görel kat ötelenmesi değerleri B malzeme sınıfından daha küçük olarak elde edilmiştir. Ancak bazı durumlarda birinci kata ait A malzeme sınıfındaki değerlerin B malzeme sınıfındaki değerlerden daha büyük olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemel nedeni; bahsedilen görel kat ötelenmesi değerlerinin,

binanın hedef yerdeğiştirme istem seviyesindeki doğrusal elastik olmayan çözümlerden elde edilmiş olmasıdır. Dolayısıyla aynı bina, A ve B malzemesine sahip olması durumunda aynı kesme kapasitesine sahip değildir. A malzeme sınıfında daha büyük kesme kuvvetine maruz olan binada, birinci kat taşıyıcı elemanlarında daha büyük hasar ortaya çıkmakta, dolayısıyla kat ötelenmesi daha büyük değerlere ulaşabilmektedir.

Bina için tanımlanan hedef performans seviyesi, binanın kesme kapasitesini değiştirmez. Ancak hedef performansa bağlı olarak hedef yerdeğiştirme istem ötelenmesi değiştiği için, binanın hedef yerdeğiştirme istem değerine karşılık gelen kesme kapasitesi değeri (V_{hedef}) farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle değerler, her iki hedef performans seviyesi için

ayrı ayrı hesaplanmıştır. Atölye binalarının çatı katı hedef yerdeğiştirme istem değerlerine karşılık gelen kesme dayanımı değerleri (V_{hedef}), kapasite eğrileri üzerinden belirlenebilir. Elde edilen bu değerler, HK ve CG performans düzeyleri için bina ağırlığına oranlanarak (V_{hedef}/W_{bina}) Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Hedef performans seviyelerine göre elde edilen V_{hedef}/W_{bina} oranları

Bina No	HK				CG			
	V_{hedef}^x/W_{bina}		V_{hedef}^y/W_{bina}		V_{hedef}^x/W_{bina}		V_{hedef}^y/W_{bina}	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0.24	0.14	0.47	0.29	0.25	0.14	0.53	0.31
2	0.42	0.23	0.60	0.36	0.46	0.25	0.64	0.38
3	0.51	0.33	0.69	0.41	0.57	0.38	0.69	0.42
4	0.51	0.33	0.69	0.38	0.57	0.39	0.69	0.38
5	0.60	0.45	0.45	0.25	0.72	0.49	0.45	0.25
6	0.60	0.42	0.45	0.24	0.72	0.49	0.45	0.24
7	0.56	0.34	0.38	0.24	0.60	0.37	0.38	0.26
8	0.39	0.23	0.33	0.19	0.41	0.23	0.34	0.19
9	0.27	0.18	0.22	0.14	0.30	0.18	0.24	0.14
10	0.27	0.17	0.22	0.14	0.30	0.18	0.24	0.14
11	0.39	0.24	0.28	0.18	0.42	0.25	0.29	0.19
12	0.39	0.22	0.32	0.18	0.40	0.24	0.33	0.18
13	0.67	0.41	0.79	0.41	0.74	0.44	0.79	0.41
14	0.35	0.21	0.39	0.22	0.36	0.21	0.39	0.22
15	0.51	0.34	0.66	0.39	0.59	0.39	0.66	0.40
16	0.63	0.38	0.53	0.39	0.63	0.38	0.63	0.49
17	0.89	0.55	0.65	0.40	0.96	0.60	0.69	0.44
Ortalama	0.48	0.30	0.48	0.28	0.53	0.33	0.50	0.30

V_{hedef}/W_{bina} oranlarının ortalama değerleri yaklaşık olarak; A malzeme sınıfı için %48-53, B malzeme sınıfı için ise %28-33 mertebelerindedir. Malzeme kalitesinin düşmesi ile bu oranda önemli miktarda azalma görülmüştür.

İncelenen mevcut atölye binalarının, 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem için Hemen Kullanım (HK) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için ise Can Güvenliği (CG) hedef performans düzeyini sağlaması gerekir (DBYBHY, 2007). Yapılan değerlendirmeler sonucunda atölye binalarının her iki doğrultusu için elde edilen performans sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Atölye binalarının her iki doğrultusu için performans sonuçları

Bina No	X Yönü				Y Yönü			
	HK		CG		HK		CG	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
2	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
3	GD	GD	GD	GD	CG	CG	CG	GD
4	GD	GD	GD	GD	CG	GÖ	CG	GD
5	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
6	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
7	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
8	CG	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
9	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
10	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
11	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
12	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
13	GD	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
14	GD	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
15	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
16	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
17	HK	CG	CG	CG	GD	GD	GD	GD

Mevcut binaların deprem güvenliğinin bulunduğu, ancak her iki hedef performans seviyesinin binanın her iki yönü için sağlanması durumunda söylenebilir. Bir performans hedefinin bile sağlanmaması durumunda binanın deprem yüklerine karşı “güvensiz” olduğu anlaşılır. Yapılan çözümlerle sonucunda, mevcut atölye binalarının yerinde ölçülen malzeme dayanımları kullanılan değerlendirmelerde hiçbir binada deprem güvenliğinin sağlanmadığı görülmüştür. Dolayısıyla mevcut binaların büyük çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadan inşa edildiği söylenebilir. Burada dikkat çeken husus, tek katlı atölye binalarında bile, beton dayanımının 20 MPa, donatı dayanımının 420 MPa olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırılması yapılması durumundaki (A malzeme sınıfı) çözümlerle de hedeflenen performans seviyesinin sağlanmamasıdır.

Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında, Isparta ilinde bulunan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 17 adet betonarme atölye binalarının deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak incelenmiştir. Çözümlerle binaların her iki doğrultusunda (x ve y), iki farklı malzeme sınıfı (A ve B) ve iki farklı deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler) için yapılmıştır. Çözümlerle BESAM, SAP 2000 ve DELOP programları koordineli olarak kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Beton dayanımı, çatlamamış kesit periyodu üzerinde oldukça etkili iken, çatlamış kesit periyodu üzerindeki etkisi sınırlı seviyelerde kalmaktadır. Bunun nedeni, DBYBHY (2007)’de taşıyıcı sistem elemanlarına ait çatlamış kesit periyod hesabında, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanılması ile açıklanmaktadır.

2. Kapasite eğrileri incelendiğinde taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranının (V/W_{bina}) en büyük değerinin, malzeme kalitesi iyi olan A sınıfında, en küçük değerinin ise B malzeme sınıfında ortaya çıktığı görülmüştür.
3. Hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin incelenmesi sonucunda, B malzeme sınıfı için elde edilen değerlerin A malzeme sınıfı için elde edilenlere göre HK performans seviyesi çözümlerinde ortalama %20, CG performans seviyesi çözümlerinde ortalama %13 daha fazla olduğu görülmüştür. Malzeme sınıfının değişiminin Δ_{hedef} değerlerinin oranına etkisi, HK hedef performans seviyesinde, CG hedef performans seviyesinden daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır.
4. CG hedef performans seviyesi için bulunan hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin HK performans seviyesi değerinden ortalama olarak 1.62 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu oran elastik spektrumdaki artış oranına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.
5. CG ve HK hedef performans seviyeleri için belirlenen hedef yerdeğiştirme istemleri arasındaki en büyük fark genel olarak malzeme kalitesinin iyi olduğu A malzeme sınıfında, en küçük fark ise malzeme kalitesinin kötü olduğu B malzeme sınıfında ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, malzeme dayanım zayıflıklarının hedef yerdeğiştirme istem değeri üzerindeki etkinliğinin fazla olmadığını göstermektedir.
6. V_{hedef}/W_{bina} oranlarının ortalama değerleri; A malzeme sınıfı için yaklaşık olarak %48-53, B malzeme sınıfı için yaklaşık olarak %28-33 mertebelerindedir.
7. Deprem bölgelerinde, deprem güvenliği zayıf çok sayıda mevcut atölye binası bulunmaktadır. Bu binaların çoğu herhangi bir mühendislik hizmeti almadan inşa edilmiştir. Mevcut atölye binalarının yerinde ölçülen malzeme dayanımları (B sınıfı) ile yapılan değerlendirmelerinde; hiçbir binada deprem güvenliğinin bulunmadığı görülmüştür. Burada dikkat

çeken husus, tek katlı atölye binalarında bile, beton dayanımının 20 MPa, donatı dayanımının 420 MPa olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının bulunması durumundaki (A malzeme sınıfı) çözümlenmelerde de hedeflenen performans seviyesinin sağlanmamasıdır. Bunun sebeplerinden biri atölye binalarının kalıp planlarının genellikle dikdörtgen şeklinde ve düzenli olarak tasarlanmasına rağmen, düşey taşıyıcı elemanların tümü veya çoğunun uzun boyutunun, binanın tek bir yönünde yerleştirilmesi diğer yönün zayıf kalmasıdır.

Kaynaklar

- BESAM, (2013). Betonarme elemanlarda sargı ve modelleme, Proje No:111M119, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu*.
- DBYBHY, (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- DELOP, (2013). Doğrusal elastik olmayan analiz programı, Proje No:111M119, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu*.
- Demir, F., Tekeli, H., Güler, K. ve Celep, Z., (2013). Binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir yeni bir yaklaşım, 135, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu*, Proje No:111M119.
- Dinçer, F. ve Mert, N., (2014). Betonarme okul binasının TDY 2007'ye göre nonlineer statik analizi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18, 1, 1-9.

- Gündoğay, A. ve Tekeli, H., (2018). Atölye binalarının deprem performansını etkileyen bazı parametrelerin incelenmesi, 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 929-938, Antalya.
- İnel, M., Bilgin, H. ve Özmen, H., (2006). Mevcut kamu yapılarının performans değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445, 64-71.
- İnel, M., Bilgin, H. ve Özmen, H., (2007). Okul binalarının yeni deprem yönetmeliğine göre değerlendirilmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 257-267, İstanbul.
- Keskin, İ. ve Celep, Z., (2013). Deprem yönetmeliğinde öngörülen taşıyıcı sistem güvenlik düzeyi konusunda karşılaştırmalı sayısal inceleme, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay.
- SAP 2000, (2011). Structural analysis program, v14.0.0, *Computers and Structures Inc.*, CA, Berkeley, USA.
- Türkay, A. ve Güler, K., (2017). Bir okul binasının tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 1, 2, 27-37.
- TS 498, (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standardı*, Ankara.
- Uygun, G. ve Celep, Z., (2007). Betonarme bir binanın deprem güvenliğinin deprem yönetmeliği(2007)deki doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırmalı incelenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 269-279, İstanbul.

Investigation of seismic safety of existing workshop buildings

Extended Abstract

Procedures for the seismic assessment of existing buildings are given in the 2007 Turkish Earthquake Code (TEC). Since Turkey is on active earthquake zone, performance evaluation of existing buildings is a need to minimize the possible casualties and economic losses. The seismic safety of a building depend on the structural configuration, on the layout of the columns and beams, seismic zone, soil type, material classification as well as on the number of stories. This paper deals with seismic assessment of existing reinforced concrete workshop buildings. In this study, the 17 workshop buildings having reinforced concrete frames are selected in order to investigate of seismic behavior of the buildings.

Nonlinear flexural behaviors in frame members are defined to plastic hinges, where the plastic hinge length L_p is assumed as half of the section depth for beam and column elements. The plastic hinge properties are described as depending on element size, material properties, longitudinal and confinement reinforcement amount and detailing and axial load level on the element. Performance level of the buildings was determined by using the procedure for the performance evaluation via incremental pushover analysis with incremental equivalent seismic load method given in seismic code of Turkey, where the seismic performance evaluation is similar to that of FEMA 356. The performances of workshop buildings carried out for earthquake with 2% probability of being exceeded in 50 years and 10% probability of being exceeded in 50 years.

Three-dimensional models of each of the buildings are developed and their analyses are performed by using SAP 2000 software program. These analyses are carried out for the buildings having the selected structural configuration by varying the number of story, the column sections, number of spans, concrete strength, steel yield strength, spacing of confinement reinforcements. The performance level of buildings were determined for two different material group in this study.

The obtained results from analysis are evaluated in term of fundamental period, capacity curve, target displacement and building performance level for two

different material group. The results show that concrete strength is one of the important parameter effecting the fundamental period in cracked cross section. However the effect on the un-cracked cross section period of concrete strength is less than the effect on the cracked cross section.

The equivalent single degree of freedom approach is used to obtain target displacement according to 2007 TEC response spectrum. Target displacement requests in the direction of earthquake at the top of the buildings are obtained for two different material groups in the all buildings. The results show that the effect of material strength on target displacement value is quite little.

The base shear force versus roof displacement curves of buildings are obtained by using plastic hinges at the both ends of the beams and columns. The ratio of base shear force to building weight (V/W) in “material group A” was found to be larger than “material group B” values.

A large number of workshop buildings do not have enough seismic safety in “material group B”, since the most of them have been constructed without receiving any structural engineering attention. The buildings do also not have enough seismic safety in “material group A”, since the columns are generally replaced in one direction in despite of regular design in the main structural system of the building.

Keywords: *Workshop building; reinforced concrete; seismic safety; nonlinear elastic method.*



Uçucu kül katkısının killi zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi

Ermedin TOTİÇ

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın

ermedintotic@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0002-4073-0265, Tel: (378) 501 16 28

Fatih GÖKTEPE*

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın

fgoktepe@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0002-1484-623X, Tel:(378) 501 10 00

Merve YAŞAR

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın

mrv.yasar.91@gmail.com ORCID: 0000-0002-5837-7463, Tel: (266 241 37 77)

Geliş: 24.10.2018, Kabul Tarihi: 13.02.2019

Öz

Mühendislik yapılarının arazide inşa edilmesi sırasında taşıma gücü düşük olan zeminlerin çoğunlukla stabilize edilmesi ekonomik olarak tercih edilen bir yöntemdir. Taşıma gücü zayıf ve oturma potansiyeli yüksek olan killi zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi özellikle geoteknik mühendisliğinin güncel araştırma konularından birisidir. Problemlili olan bu zeminlere farklı katkı malzemeleri katılarak geoteknik parametrelerinin iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Burada önemli bir konu, zemin stabilizasyonunda kullanılacak bu katkı malzemelerinin hangi oranlarda kullanılmasının daha uygun olacağı gerçeğidir. Bu çalışmada, Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinde bulunan ve mekanik özelliklerinden dolayı zayıf zeminler olarak değerlendirilen killi zemin örneklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Killi zeminlerin iyileştirilmesinde Çatalağzı Termik Santrallerinden atık malzeme olarak elde edilen uçucu köller kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak, killi zeminlere %5 ila %25 arasında değişen oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların kıvam limitlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Sonrasında, artan kül oranına bağlı olarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile optimum su muhtevası ve maksimum kuru biçim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler 1, 8, 16 ve 32 gün kür edildikten sonra CBR ve serbest basınç dayanımının hangi oranlarda iyileştiği deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, uçucu kül katılan kil numunelerinin mekanik özelliklerinin kayda değer oranlarda iyileşme sergilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Killi zeminler; zemin stabilizasyonu; CBR; serbest basınç dayanımı; deneysel araştırma;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

İnşaat mühendisliği uygulamalarında özellikle killi zeminlerde taşıma gücü zayıflığı, oturma potansiyeli fazlalığı gibi problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu gibi durumlarda uygulama projesinin yerinin değiştirilmesi yerine killi zeminlerin farklı katkı malzemeleri ile stabilizasyonu, ekonomik ve uygulanabilirlik açısından bir çözüm olarak düşünülebilir. Kireç, mermer tozu, lastik kırpıntısı, sentetik lif ve uçucu kül gibi atık malzemelerinin killi zeminlere karıştırılmasıyla kimyasal iyileştirilme hedeflenmektedir. Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılabilecek muhtemel olan zımbalama türü göçmelerde killi zeminlerin iyileştirilmesinin önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu katkı malzemelerinin stabilizasyonda kullanımını çevresel problemlere de çözüm sağlayacaktır.

Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verdiği olanaklar sebebiyle uçucu küller ile killi zeminlerin geoteknik parametrelerinin iyileştirilmesi ile ilgili ulusal (Tokyay ve Erdoğan 1998; Alkaya, 2009; Aytekin, 2009; Ünver, 2015; Yılmaz, 2016) ve uluslararası düzeyde (Usman vd., 1987; Chu ve Kao 1993; Verma vd., 1998; Edil vd., 2006; Phanikumar, 2009; Cetin vd., 2010; Scott ve Ferguson, 2005; Sharma vd., 2012; Dissanayake vd., 2017) birçok araştırma yapılmıştır. Wasti (1990) tarafından yapılan çalışmada, killi zeminlerin plastisite ve oturma özellikleri seçilen puzolan uçucu küle stabilize edilmiştir. Indraratna ve diğerleri (1995), Bangkok bölgesi killilerine % 18 uçucu kül ve % 5 kireç katarak elde ettikleri karışımların iki haftalık kür süresi sonunda serbest basınç dayanımının ortalama 2-3 kat arttığını belirlemişlerdir. Taşıma gücü zayıf killi zeminlere %0-30 arasında farklı oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların CBR ve serbest basınç dayanım performansının araştırıldığı diğer bir çalışma sonucunda, %18 atık malzemenin mekanik özellikleri 4 kat artırdığı hesaplanmış ancak uçucu kül oranının belli bir miktardan sonraki kullanımını beklenen

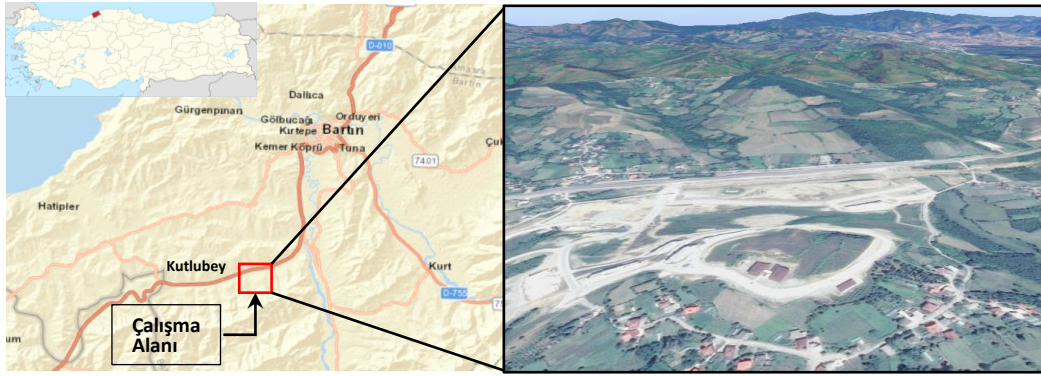
aksine kilin dayanımı düşürmüştür (Acosta vd., 2003). Özellikle demiryolu ve karayolu uygulamalarında yapılan dolgularda katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu küllerin geofiberle iyileştirilmesi sonucu büzülme etkisinden kaynaklanan taşıma gücü kayıplarının azaltıldığı yapılan bazı çalışmalarda ortaya konmuştur (Das vd., 2009). Bazı araştırmacılar (Türker ve Çokca, 2006) uçucu kül stabilizasyonunun vertisol tipi killer üzerindeki etkisini granülometri dağılımı, boşluk oranı, şişme-büzülme etkisi gibi fiziksel parametreler üzerinden değerlendirmiştir. Şişme potansiyeli yüksek olan killer üzerinde yapılan deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün tipinin önemli olduğu ve C tipi uçucu külün, F tipi uçucu küle göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Öz, 2015).

Literatürde yapılan ve yukarıda özetlenen birçok çalışmada, farklı zemin türlerine katılan uçucu kül malzemesi ile zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği anlaşılmıştır. Ancak, özellikle killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılacak olan uçucu külün belli bir oranı aştığında zeminin farklı mekanik özelliklerinde problemlere sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile, killi zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Bartın killilerine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 gibi değişik oranlarda Çatalağzı B Termik Santrali'ne ait atık uçucu kül katılarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile sıkışabilme özellikleri araştırılmış olup maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Daha sonra hazırlanan bu karışımlar optimum su muhtevalarında sıkıştırılıp 1, 8, 16 ve 32 gün kürde bekletildikten sonra CBR ve serbest basınç dayanımları laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, değişen uçucu kül oranları ile kür süresine bağlı olarak Bartın bölgesine ait killi zeminlerin mekanik özelliklerinin hangi oranlarda iyileştiği belirlenmeye çalışılmıştır.

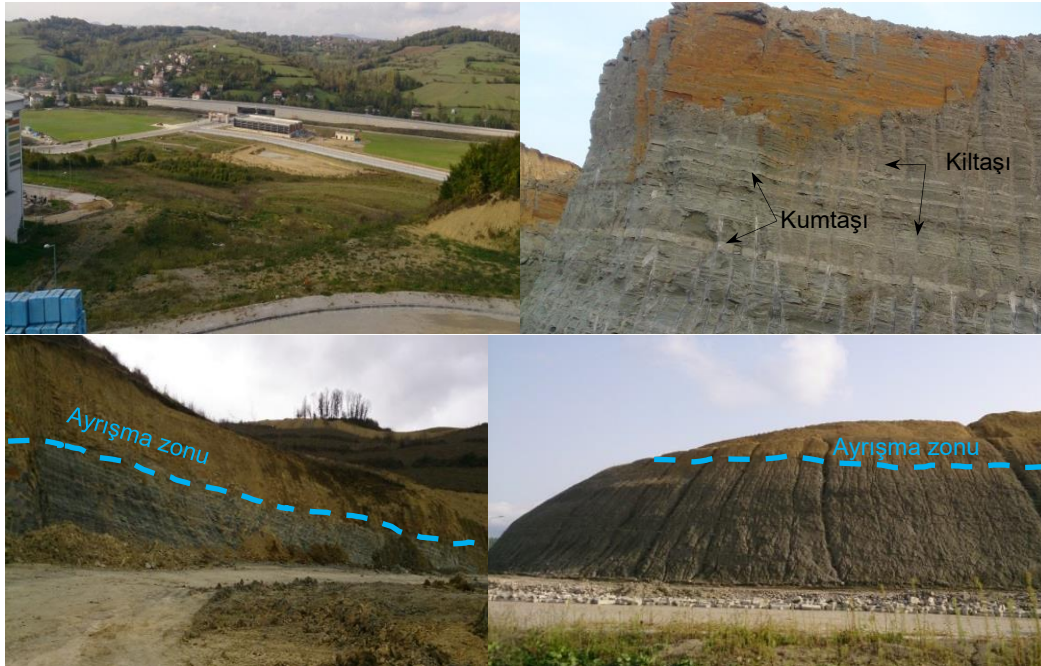
Materyal ve Yöntem

Deneyisel çalışmalar için kullanılan kil örnekleri Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinden elde edilmiştir (Şekil 1a). Çalışma alanında alttan üste doğru Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı Alüvyon olmak üzere iki farklı jeolojik birim ayırt edilmiştir. Çaycuma formasyonu, volkanit ara katkılı kumtaşı, konglomera, kireç taşı, marn, kiltası gibi kayaç türlerinden oluşurken (Tokay, 1955), çalışma alanında yeşilimsi gri renkli ince kumtaşı katmanları içeren kiltası egemen olarak görülmektedir (Ateş vd. 2015).

Bu birimin üst seviyeleri ileri derecede altere olmuş, belli belirsiz kumtaşı ara katmanları içeren, metrelerce kalınlıktaki sarımsı açık kahverengi, sarımsı killerden oluşmaktadır. Alüvyon ise, Çaycuma formasyonunun ayrışma ve taşınması sonucu oluşan killi malzemeden meydana gelmektedir (Şekil 1b). Çaycuma formasyonunun yayılım gösterdiği alanlarda, özellikle karayollarında çökmeler ve şev duraylılığı problemleri görüldüğünden dolayı yapılan bu deneysel çalışma için mühendislik özellikleri bakımından zayıf zemin olarak değerlendirilen killer kullanılmıştır.



(a)



(b)

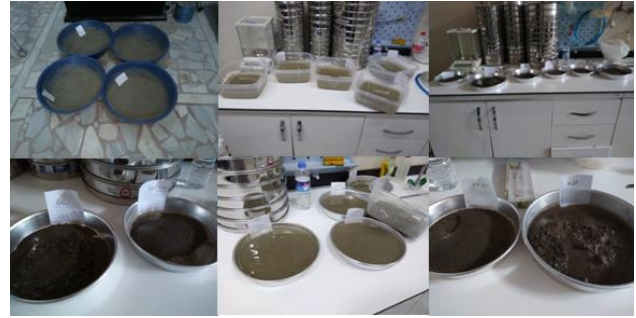
Şekil 1. a. Çalışma alanı yer bulduru haritası b. Çalışma alanında yer alan kiltası birimlerinden görünüm

Uçucu kül, alüminyum, silisyum, çeşitli oksitler ve alkaliler içeren puzolanik bir malzeme olup kendi kendine bağlayıcı özelliği ya hiç olmayan ya da çok az olan bir malzemedir. Mekanik özellikleri itibariyle uçucu külün tek başına bir yapı malzemesi, dolgu malzemesi veya temel zemini olarak kullanılması uygun değildir. Buradan hareketle zemin stabilizasyonu açısından kullanılması gereken optimum uçucu kül miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ÇATES (Çatalağzı Termik Santrali) uçucu külleri kullanılmıştır. ÇATES'da halen sulandırılarak denize basılan bu küller TS 639 da öngörülen uçucu kül koşullarını sağlamakta olup ASTM C 686'ya göre düşük kireçli F uçucu kül sınıfına girmektedir (Kızgut vd., 2001).

Çalışmanın ilk aşamasında Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Çatalağzı Termik Santralinden atık malzeme olarak elde edilen uçucu kül ağırlıkça %5-25 oranlarında Bartın killeriyle karıştırılmış ve karışımlara ait tane boyu dağılımı, kıvam limitleri, optimum su muhtevası ve maksimum kuru bicim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan karışımlar 1, 8, 16 ve 32 gün kürde bekletildikten sonra CBR ve serbest basınç deneyleri yapılarak killi zeminlerin farklı uçucu kül oranlarına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır.

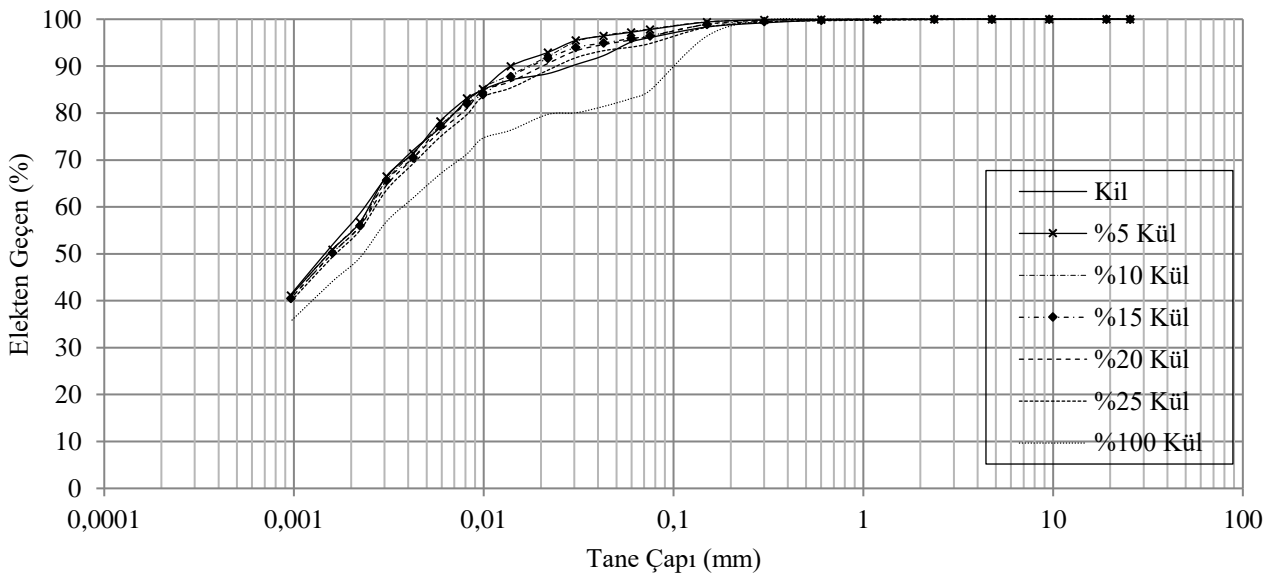
Deney Bulguları ve Tartışma

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında Bartın ili Kutlubey bölgesine ait killere ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25 oranlarda Çatalağzı Termik Santrallerinden atık F sınıfı uçucu kül katılarak deney örnekleri hazırlanmıştır. Elde edilen uçucu kül-kil karışım numunelerinin dane boyu dağılımını belirlemek amacıyla ıslak elek analizi yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmalar için hazırlanan uçucu kül-kil karışımları ile ıslak elek analizi

Elde edilen dane dağılım eğrisinden kil, uçucu kül ve uçucu kül-kil karışımları için maksimum dane çapının 0,3 mm olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte 200 nolu (0,075 mm) elekten geçen malzeme yüzdesi kil numunelerinde %95 civarında iken bu oran uçucu kül numunelerinde ise %85'dir (Şekil 3).



Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin dane boyu dağılımı

DeneySEL çalışmanın sonraki aşamasında, elde edilen uçucu kül-kil karışımları için kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Uçucu kül-kil karışımı örnekleri kıvam limit deneyi

Uçucu kül oranına bağlı Atterberg limitlerindeki değişimi incelemek amacı elde edilen likit limit (LL) ve plastisite indisi (IP) değerleri Tablo 1 ve Şekil 4’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan kil numunelerinin Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu belirlenmiştir. Uçucu kül katkısı içermeyen kil numunelerinin likit limit değeri %66 iken, % 25 uçucu kül katkısı ile elde edilen karışımların likit limiti % 41 olarak belirlenmiştir. Benzer durum için Plastisite indisi değerleri %35’den %13’e azalmıştır (Tablo 1).

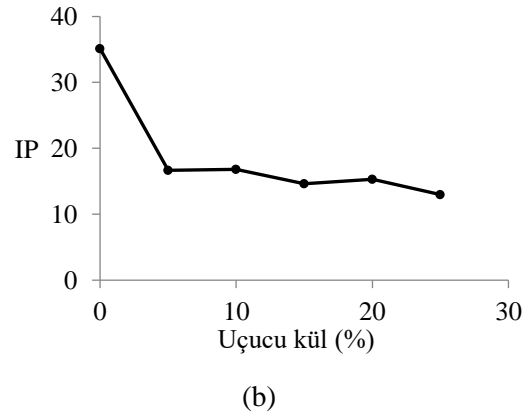
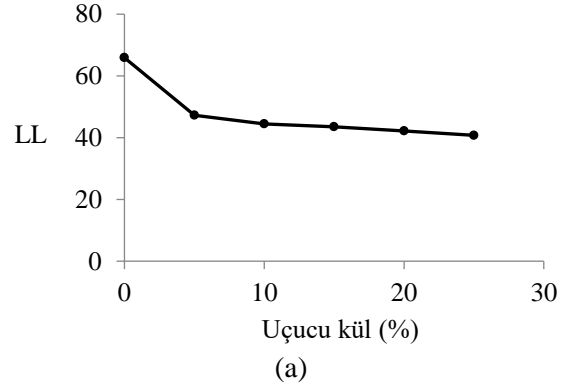
Tablo 1. Uçucu kül-kil karışımı örneklerinin a) Likit limit (LL) b) Plastisite indisi (IP) değerleri

Kül oranı (%)	LL	PL	PI
0	66	31	35
5	47	31	17
10	45	28	17
15	44	29	15
20	42	27	15
25	41	28	13

Elde edilen sonuçlardan, yüksek plastisiteli killere katılan uçucu kül miktarının artmasıyla zemin örneğinin likit limit ve plastisite indisi değerlerinin düştüğü anlaşılmıştır (Şekil 5).

DeneySEL çalışmanın ilerleyen aşamalarında, Kutlubey bölgesi killere ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve % 25 gibi değişik oranlarda

Çatalağzı B Termik Santrali’ne ait atık uçucu kül katılarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile sıkışabilme özellikleri araştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Farklı kül oranlarına bağlı elde edilen uçucu kül-kil karışımı örneklerinin a) Likit limit (LL) b) Plastisite indisi (IP) değişimi

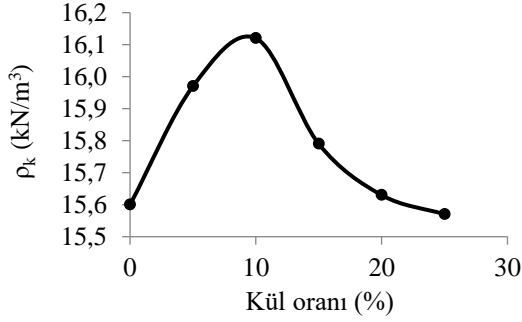


Şekil 6. Uçucu kül-kil karışımları üzerinde yapılan Standart Proktor deneyi (a-b)

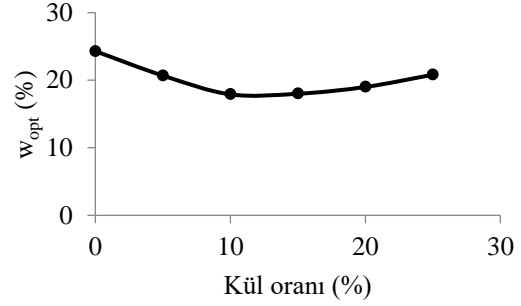
Yapılan Standart Proktor deneyi sonucunda kil zemin örneğine ait maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası sırasıyla 15.6 kN/m³ ve %24.3 olarak bulunmuştur. Burada killi zeminlere katılan tüm uçucu kül miktarları için optimum su muhtevası katkısız kil numunelerine göre düşmüştür. Bununla birlikte, %10’dan fazla miktarlardaki uçucu kül katkısına

bağlı olarak elde edilen maksimum kuru bicim ağırlıklar sürekli azaldığı ve daha yüksek uçucu kül oranlarında karışımın mekanik özelliklerinde bir iyileşme olmayacağı değerlendirilmiştir. Bu

nedenle deneysel çalışmanın ilerleyen safhalarında ağırlıkça %25 uçucu kül karışımı dikkate alınmamıştır (Şekil 7).



(a)



(b)

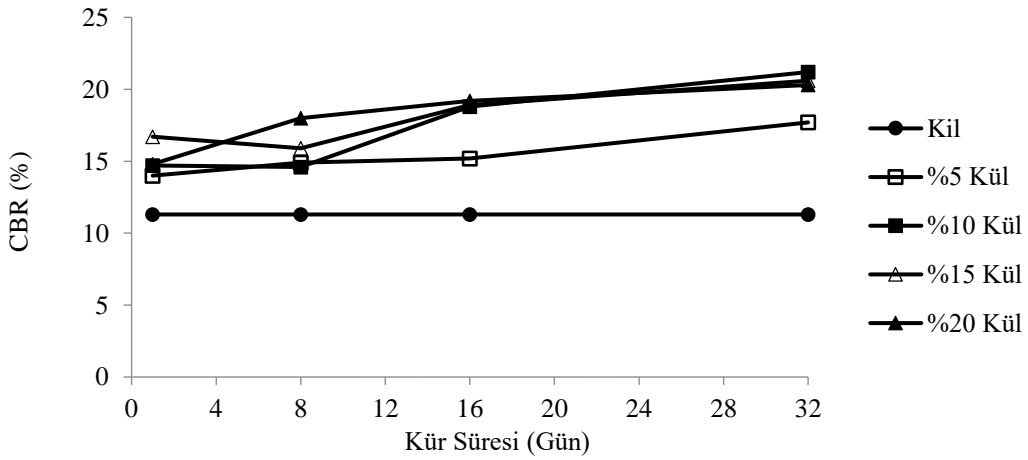
Şekil 7. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin uçucu kül oranına bağlı a) maksimum kuru birim hacim ağırlık, b) optimum su muhtevası değişimi

Kutlubey bölgesi killere ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 gibi değişik oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımlar, optimum su muhtevalarında CBR deneyi yapmak üzere

kalıplarda sıkıştırılmış ve rutubetli ortamda kür edilmiştir. CBR deneyleri 1, 8, 16 ve 32 gün kür edilen numuneler üzerinde ASTM D1883'e göre yapılmıştır. (Şekil 8a)



(a)



(b)

Şekil 8. a) CBR deneyi aşamaları b) CBR deneyi sonuçları

Elde edilen deney sonuçlarından, her karışımın CBR değeri katkısız kil numunelerine oranla daha yüksek değer verdiği belirlenmiş olup elde edilen bu değerler kür süresinin artmasıyla yükselme eğilimi göstermiştir. Genel olarak, katkısız kil numunelerine kıyasla 32 gün kür edilmiş % 10-20 arası uçucu kül ilavesi ile elde edilen karışımların CBR değerlerinde ortalama %25'lik bir artış söz konusudur. Deneysel olarak elde edilen CBR değerlerindeki en iyi performans %10 uçucu kül katkısı ile 32 günlük kür edilmiş karışım için elde edilmiştir (Şekil 8b).

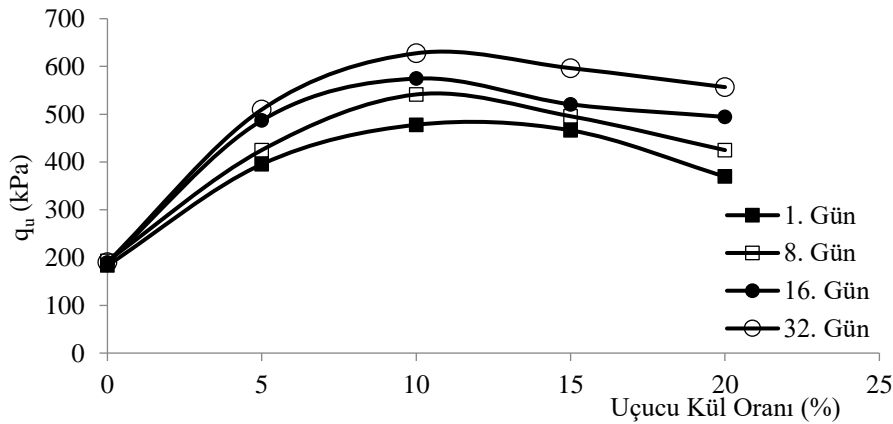
Yukarıda belirtilen farklı uçucu kül atık malzemesi oranlarında hazırlanan karışımlar optimum su muhtevasında CBR kalıbında sıkıştırıldıktan sonra keskin uçlu ince cidarlı numune çıkarıcı silindir kalıplar yardımıyla serbest basma deneyi için numuneler çıkarılmıştır. Çıkarılan bu numuneler $21^{\circ}\text{C} \pm 3$ sıcaklığında rutubetli bir ortamda muhafaza edilerek kürde bekletilmiştir.

Kürde bekletilen her karışım oranındaki numuneler sırasıyla 1, 8, 16 ve 32 gün sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Tüm deneyler için toplamda 48 deney numunesi kullanılmıştır. Yapılan serbest basınç deneyi esnasında genel olarak rijit yenilmeler gözlemlenmiştir (Şekil 9a). Deney sonuçlarına göre, artan kür süresi ile numunelerin tek eksenli basınç dayanımının giderek arttığı ve katkısız kil numunelerine kıyasla karışımların daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı gösterdiği belirlenmiştir. Farklı oranlardaki uçucu kül miktarında hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı tüm kür süreleri için % 0'dan % 10'a kadar artmakta olup % 10'dan sonraki katkılarda bu değer düşüş göstermektedir (Şekil 9b).

Karışımlara ait CBR ve serbest basınç dayanım deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde en iyi performans %10 uçucu kül katkısı ve 32 gün kür edilmiş numuneler için elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. a) Optimum su muhtevalarında serbest basınç deneyi için numune hazırlanması, kür edilmesi ve gözlemlenen rijit yenilmeler b) Serbest basınç deney sonuçları

Sonuçlar

Oturma potansiyeli yüksek ve taşıma gücü düşük olan zayıf zeminlerin farklı katkı malzemeleri ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından birisidir. Termik santrallerden elektrik üretimi esnasında atık malzeme olarak çıkan uçucu küller, düşük maliyetli ve ulaşılabilir bir yapı malzemesi olması sebebiyle literatürde yapılan birçok çalışmada killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmıştır. Burada önemli bir konu, literatürdeki birçok deneysel çalışmalara ilaveten yapılan bu çalışmada da gözlemlendiği üzere farklı oranlardaki uçucu kül miktarları ile elde edilen karışımların tümünün katkısız kil numunelerine göre yüksek dayanım gösterdiği gerçeğidir.

Yapılan bu çalışmada, Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinde bulunan ve mekanik özelliklerinden dolayı zayıf zeminler olarak değerlendirilen killi zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan, killi zemine eklenen %5-%20 arasındaki uçucu kül katkısının tüm oranları için katkısız kil numunelerine göre daha yüksek CBR ve serbest basınç dayanımı verdiği belirlenmiş olup, kür süresi arttıkça bütün karışımların CBR ve tek eksenli basınç dayanımı artmaktadır. Ancak, uçucu küllerin iyileştirme malzemesi olarak %10'a kadar kullanımı tek eksenli basınç dayanımını artırmakta olup bu orandan sonraki kullanımı zeminlerin mekanik özelliklerindeki iyileşme performansını düşürmektedir. Buna ek olarak, killere katılan uçucu kül miktarının artması zemin örneğinin likit limit ve plastisite indisi değerlerini de düşürmüştür. Genel olarak tüm deneysel veriler değerlendirildiğinde, Çaycuma formasyonunun ayrışma zonundaki killerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılacak optimum uçucu kül katkısı %10 olarak bulunmuştur.

Kaynaklar

- Acosta, H.A., Edil, T.B. ve Benson, C.H. (2003). Soil stabilization and drying using fly ash, Geo Engineering Report No. 03-03, Geo Engineering Program, University of Wisconsin-Madison, USA.
- Alkaya, D., (2009). Uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılmasının incelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **5**, 1, 61-72.
- ASTM D1883, (2007). Standard test method for CBR of laboratory-compacted soil, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM C 686, (1990), Standard Test Method for Parting Strength of Mineral Fiber Batt- and Blanket-Type Insulation, American Society for Testing Materials. USA.
- Ateş, A, Totiç, E. ve Yeşil, B. (2015). Kutlubeyyazıcılar Kampüs alanının (Bartın Üniversitesi) yerleşime uygunluk açıdan değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **3**, 2015, 373-397.
- Aytekin, S., (2009). Uçucu küllerinin killi zeminlerin ıslahında kullanımı, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Cetin, B., Aydılek, A.H. ve Güney Y., (2010). Stabilization of recycled base materials with high carbon fly ash, *Resources, Conservation and Recycling*, **54**, 11, 878-892.
- Chu, S.C. ve Kao, H.S., (1993). A study of engineering properties of a clay modified by fly ash and slag, *Fly Ash for Soil Improvement-Geotechnical Special Publication*, **36**, 89-99.
- Das, A., Jayashree, Ch. ve Viswanadham, B. V. S., (2009). Effect of randomly distributed geofibers on the piping behaviour of embankments constructed with fly ash as a fill material, *Geotextiles and Geomembranes*, **27**, 5, 341-349.
- Dissanayake, T.B.C.H., Senanayake, S.M.C.U. ve Nasvi M.C.M., (2017). Comparison of the stabilization Behavior of fly ash and bottom ash treated expansive soil, *Engineer: Journal of the Institution of Engineers*, **50**, 1, 11-19.
- Edil, T.B, Acosta, H.A. ve Benson, C.H., (2006). Stabilizing soft fine-grained soils with fly ash, *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, **18**, 2, 283-294.
- Fatih, YILMAZ., (2016). Zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanımı, 3rd International Symposium on Environment and Morality, 1175- 1181, Alanya ,Turkey.

- Indraratna, A. S., Balasubramanian, A. K. ve M. J. Khan., (1995). Effect of fly ash with lime and cement on the behavior of a soft clay, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, **28**, 2, 131-142.
- Kızılgut, S., Çuhadaroğlu, D. ve Çolak, K., (2001). Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı. Ankara.
- Öz, M.Y., (2015). Sıvılaşmaya karşı jet grouting yöntemi ile örnek bir iyileştirme uygulamasının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Phanikumar, B., (2009). Effect of lime and FA on Swell, consolidation and shear strength characteristics of expansive clays: a comparative study, *Geomechanics and Geoengineering An International Journal*, **4**, 2, 175-181.
- Scott, M.M. ve Ferguson F., (2005). Stabilization of soil with self-cementing coal ashes, *Proceedings, 2005 World of Coal Ash (WOCA)*, 1-7, Lexington, Kentucky, USA.
- Sharma, N.K., Swain, S.K. ve Sahoo U.C., (2012). Stabilization of a clayey soil with fly ash and lime a micro level investigation, *Geotechnical Geological Engineering*, **30**, 5, 1197-1205.
- Tokay, M., (1954/55) Filyos çayı ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağz-Çaycuma bölgesinin jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **46/47**, 58-73.
- Tokay, M. ve Erdoğan, K., (1998). Türkiye termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMA), Ankara.
- TS 639, (1975). Uçucu küller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turker, D. ve Cokca, E. (2006). Effects of addition of fly ash on swell potential of an expansive soil, in *Expansive Soils-Recent Advances In Characterization And Treatment*, Edited by Al Rawas, A. A. and Goosen, M. F. A., 453-463, Taylor and Francis Group, Balkema, London.
- Usmen, M., Bowders, I. ve Gidley I., (1987). Stabilized fly ash use as low-permeability barriers, *Proceedings, Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, ASCE, 32N-333, New York, USA.
- Ünver, E., (2015). Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Verma, C.L., Handa, S.K., Jain S.K. ve Yadav, R.K. (1998). Techno-commercial perspective study for sintered fly ash light-weight aggregates in India, *Construction and Building Materials*, **12**, 6-7, 341-346.
- Wasti, Y., (1990). Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, *İMO Teknik Dergi*, **1**, 4, 177-188.

Effect of fly ash on the mechanical properties of clayey soils

Extended Abstract

In civil engineering applications, the soil profile on which the foundation is located may not be suitable because of mechanical insufficiencies. In such cases, instead of relocating the application project, the stabilization of soils with different waste material can be considered as a solution.

The studies to improve mechanical strength of soil medium by using waste material is called soil stabilization. In here, note that, the use of different material such as marble powder, rubber chip and fly ash are being used for improvement of clayey soils is an important research topic in geotechnical engineering.

The safety of soils in terms of strength behaviour is especially important for geotechnical project. Soft clayey soils with high plasticity have generally high settlement potential and its bearing capacity is very poor. During construction of engineering structures, to stabilize of this type soils is a preferable method economically. In particular, soil improvement methods aim to reduce consolidation settlement and improve the bearing capacity of clayey soils. In recent years, the studies to enhance the geotechnical parameters by adding waste material to the problematic clayey soils have been increasingly going on.

To solve the increasing energy needs and to obtain cheap electricity production, some thermal power plants using hydroelectric power plants or pulverized coal as fuel were established in our country. In these power plants, low calorie lignite coal is burned and the fly ash is obtained from the chimneys as the burner residues. The fly ash, which is a waste material from thermal power plants and stored in open areas, causes environmental problems such as environmental pollution, dusting, damage to agricultural products, and radiation. Using of these waste material in soil stabilization will also provide important solutions to environmental problems. Moreover, it will eliminate the additional transportation costs and time loss during the storage of these waste materials.

Herein, what rate is more acceptable for the use of these waste for improving soil stabilization is an

important issue. In this study, the optimum rate of waste material has been investigated to improve of clayey soils considered as weak due to their mechanical properties and located at Bartın University Kutlubey Campus. The fly ashes have been used as waste material in the improvement of clay samples obtained from Çatalağzı Thermal Power Plants.

In the first phase of this experimental work, to determine the grain size distribution of the fly ash-clay mixtures, wet sieve analysis tests were performed. From the obtained curve, the grain diameter for all samples was found to be 0.3 mm. Moreover, the changes in the Atterberg limits of clayey soils were observed in terms of the increased fly ash content. The clay samples used in this study were determined to have high plasticity clay (CH) according to Unified Soil Classification System (USCS). From the obtained results, the liquid limit and the plasticity index of the clayey soils decreased with the increase in the amount of fly ash.

Afterwards, the optimum water content and maximum dry density of the mixtures obtained by adding fly ash at varying ratio between 5% and 20% to the clayey soils were determined with the Standard Proctor Test. These mixtures were then compressed at optimum water content. In which proportion the improvement of California bearing ratio (CBR) and unconfined compressive strength of fly ash- clay mixtures cured 1, 8, 16, 32 days by compressing at optimum water content were investigated experimentally in the last stage of study.

When the CBR and unconfined compressive strength test results were evaluated, the best performance was obtained by adding 10% fly ash to clayey soils for 32 days cure. In addition to this, as the curing time increases the CBR and unconfined compressive strength increase. On the other hand, increase in the amount of fly ash added to the clayey soils decreased the value of liquid limit and plasticity of the soil samples. Consequently, the obtained experimental results show that the mechanical properties of fly ash-clay mixtures were significantly improved.

Keywords: Clayey soils, soil stabilization, CBR, unconfined compressive strength, experimental investigation



Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkılı çimentolar

Yasemin AKGÜN*

Ordu University, Department of Construction, Ordu

yakgun@odu.edu.tr ORCID: 0000-0002-4178-5233, Tel: (452) 2334865 (4163)

Geliş: 04.12.2018, Kabul Tarihi: 15.02.2019

Öz

Çimento klinkerine yer değiştirme malzemesi olarak belirli oranlarda ilave edilen puzolanlar, azalan klinker miktarı sayesinde, ürün performansından taviz vermeden daha az enerji tüketimi ve daha az CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir. Doğal marnlar, uygun sıcaklıkta kalsine edilirse alternatif bir puzolana dönüşebilmektedir. Bu çalışmada, diğer puzolanlara göre doğada daha bol miktarda bulunabilen marn, 600°C ve 800°C' de kalsine edilmiş olup, puzolanik aktivitesi belirlenmiştir. Kalsine edilen marn, çimento ağırlığının %, %10, %30 ve %50'si oranlarında Portland çimentosu ile yer değiştirilerek katkılı çimentolar elde edilmiştir. Elde edilen katkılı çimentolar ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde, priz süreleri, normal kıvam, hacim genleşmesi, eğilme-basınç dayanımı gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; kalsine doğal marn katkılı çimentoların puzolanik aktivite ve çimento özelliklerinin, TS 25 ve TS EN 197-1 limit değerleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların, eğilme-basınç dayanımları, %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalsine marn, Katkılı Çimento, Harç, Puzolan

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünyada, en yaygın kullanılan yapı malzemesi olan çimentonun, gelecekte de inşaat sektörü için önemli bir potansiyeli bulunmaktadır. Ancak çimento, yoğun enerji tüketiminden ve insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %5-8'inden sorumlu olması nedeniyle, yenilikçi ve sürdürülebilir çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca yönelik olarak, çimento klinkerine yer değiştirme malzemesi olarak belirli oranlarda ilave edilen puzolanların kullanımı, sürdürülebilirlik çalışmalarındaki en kolay çözüm olmaktadır. Bu çözüm, azalan klinker miktarı sayesinde daha az enerji tüketimi ve daha az CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, puzolan katkılı çimento kullanımıyla üretilen harç/betonların performansları da önemli ölçüde iyileşmektedir.

Çimentonun sürdürülebilirliğini sağlamak için uygun malzeme arayışları devam etmektedir. Genel olarak, birçok doğal ve sentetik katkı malzemesi (fırın cürufları, uçucu küller gibi), klinker miktarının azaltılması ve performansların iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Ancak, gelecekte, çimentoya olan artan talebe bağlı olarak piyasadaki katkı malzemelerinin talebi karşılayamaması ya da yüksek miktarda katkı malzemesi kullanma ihtiyacı söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla, bu talebin karşılanabilmesi için, mevcut malzemelere alternatif olabilecek ve özellikleri tanımlı katkı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüz inşaat endüstrisinde, kalsine killer üzerindeki çalışmalar, bu alternatif arayışlardan birisidir. Kil, doğada büyük miktarda bulunabilen bir malzemedir. Katkılı çimento üretimi için killer (metakaolinler gibi), kalsinasyon sonrasında etkili bir yer değiştirme malzemesi olabilmektedir (Mikhailenko vd. 2018; Andrade vd. 2018). Üstelik literatürde, uçucu kül-kalker (De Weerd ve Justnes 2008; 2009; De Weerd vd. 2010; 2011a; 2011b), metakaolin-kalker (Antoni vd. 2012) gibi çoklu katkı kullanımı üzerinde yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalarda beklenenler, geleneksel çimento reaksiyonları sonucu oluşan bağlayıcıların yanı sıra ilave bağlayıcı bileşikler elde ederek,

dayanım ve dayanıklılık yönünden performans iyileştirmesi sağlamaktır.

Marn, doğada kil ve kalkerin bir arada bulunduğu bir oluşum olup, %35-85 kil ve %15-65 kalkerden meydana gelmektedir. Marn, aslında karakteri kil olan ancak kalker tarafından kirlenmiş bir malzemedir. Bu özelliği sebebi ile, kilin geleneksel kullanımlarında tercih edilmez. Ancak, kalsine edilen marn, kalsine kil yapısı gereği, puzolanik özellik gösterebilmektedir (Justnes vd. 2011; Danner vd. 2012).

Uygun sıcaklıkta kalsine edilen kil ve kalker içeren doğal marn, kalsinasyon sonrasında hem kalsine kil hem de kalsine kalker içerdiği için yukarıda açıklanan beklentileri karşılayan bir yapıda olabilmektedir. Diğer taraftan, kalsine marn, klinker miktarı azaltmak amaçlı kullanılan diğer puzolanlardan daha fazla miktarda doğal olarak ve kolay elde edilebilmektedir. Bu nedenle, kalsine edilmiş marn, sürdürülebilir katkı çimento üretimlerinde kullanılabilir, yüksek potansiyelli ve keşfedilmeye açık, alternatif çimento katkı malzemesi kaynağıdır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki potansiyel mevcut yerel doğal marnın, alternatif bir puzolan olarak, katkı çimento endüstrisinde optimum değerlerle aktif kullanımını sağlayabilmek için bilimsel veri oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Sinop/Erfelek'ten elde edilen yerel doğal marnın, termogravimetrik (TGA) analizler sonucunda karar verilen farklı kalsinasyon sıcaklıklarında (600°C ve 800°C) kalsine edilerek, puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Ardından, kalsine marn, farklı (%10, %30 ve %50) oranlarda Portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkı çimento ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde priz, kıvam, genleşme, dayanım gibi çimento özellikleri tespit edilmiştir. Deney sonuçları, kendi aralarında ve portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada, çimento ile yer değiştirme malzemesi olarak, Sinop ili Erfelek ilçesinden temin edilen kalsine edilmiş doğal marn (M) kullanılmıştır. Doğal marn numunesi, bilyalı değirmende marn kayaçlarından öğütülerek elde edilmiştir. Puzolanik aktivite testlerinde, TS 25 (TSE, 2008)'e uygun CEN standard kumu ve sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kullanılmıştır. Çimento deneylerinde ise, Ünye Çimento Fabrikası'ndan temin edilen TS EN 197-1 (TSE, 2012)'e uygun CEM I 42.5R Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Katkılı çimentolarla üretilen harç numunelerinde, marnın sebep olduğu olumsuz etkinin telafisi için süper akışkanlaştırıcı, karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. Tüm numunelerin üretiminde, zararlı olabilecek organik madde ve mineral tuzları içermeyen su kullanılmıştır.

Yöntem

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (Blaine), özgül ağırlıkları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları, puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan doğal marnın puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde, aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle doğal marnın özgül ağırlığı TS EN 197-1'e göre, özgül yüzeyi (Blaine) ise TS EN 196-6 (TSE, 2010)'ya göre belirlenmiştir. Doğal marnın kimyasal bileşimini belirlemek için X-Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) analizi yapılmıştır. Doğal marnın mineralojik analizi polarizan mikroskop ile belirlenmiştir.

Puzolanik aktivite deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silisli veya silikalı ve alüminalı malzemeler olarak tanımlanırlar. Puzolanik aktivite ise, puzolanın içindeki aktif silisin çimento hidrasyon atığı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve su ile reaksiyona girebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu reaksiyon ile puzolan sayesinde yeni kalsiyum hidrat (CSH) jellerinin oluşmasına bağlı dayanım artışı meydana gelmektedir. (Erdoğan, 2013). Diğer bir deyişle, bu reaksiyon sonunda portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) miktarı azalır, CSH miktarı artar (Massazza, 1993).

Doğal marnın puzolanik aktivitelerini belirleme yöntemi, TS 25' e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Puzolanik aktivite üzerine gerçekleştirilen deneylerde, üç adet numune hazırlamak için gereken malzeme miktarı Tablo 1'de verilmektedir. Hazırlanan numunelere ait kalıpların üstü, buharlaşmayı önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat (23 ± 2)°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden (55 ± 2) °C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (TSE, 2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

Tablo 1. Puzolanik aktivite deneyleri için malzeme miktarları

Malzemeler	TS 25	Miktarlar
Sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	150g	150g
Puzolan	$2 \times 150 \times (\text{puzolanın öz. ağı.} / \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{'in öz. ağı. (g)})$	$2 \times 150 \times (2.7/2.15) = 376.74\text{g}$
Standard kum	1350g	1350g
Su	$0.5 \times (150 + \text{puzolan})$ (g)	$0.5 \times (150 + 376.74) = 263.372\text{g}$

Doğal Marnın Kalsinasyonu

Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer, 500°C den 800°C'ye değişen sıcaklıklarda yandıktan sonra aktif hale gelirler. Bu amaçla

kil, saf ise; 600°C-700°C'ye kadar, marn ihtiva ediyorsa; 800°C'ye kadar ısıtılır. Malzemelerde orijinal kristal yapının tamamen bozulması istendiği zaman, yanma sıcaklığı,

kullanılan maddeye göre dikkatle seçilmelidir. Aynı zamanda, silisin ve alüminyum oksitlerinin birbirleriyle reaksiyona girip termodinamik olarak daha kararlı bileşikler (tridimit-müllit) oluşturmaları ve dolayısıyla kirece karşı çok az ya da hiç reaksiyon gösteremez hale gelmeleri engellenmelidir (Daştan, 2005). Bu gibi bilgiler ışığında, kalsinasyon sıcaklığının belirlenebilmesi için marnın TGA'sı yapılmıştır.

Kalsine marn katkılı çimento numunelerin hazırlanışı ve deneyleri

Farklı sıcaklıklarda (600°C ve 800°C) kalsine edilen marn ve farklı (%0, %10, %30 ve %50) oranlarda portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkılı çimento numuneleri üzerinde, normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süreleri ve hacim sabitliği deneyleri, TS EN 196-3 (TSE, 2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri PÇ, M610, M630, M650, M810, M830 ve M850 etiket isimleriyle toplam 7 seri olmak üzere üretilmişlerdir.

Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların hazırlanışı ve eğilme-basınç dayanımı deneyleri

Harç numuneler, sıcaklığı 20±2°C ve rölatif nemi %60±5 olan laboratuvar şartlarında, 40x40x160mm prizmatik numuneler olarak üretilmiştir. Marnın kalsinasyon sıcaklıkları, 600°C ve 800°C'dir. Marnın Portland çimentosu ile yer değiştirme oranları ise %0, %10, %30 ve %50'dir. Deney numuneleri PÇ, MH610, MH630, MH650, MH810, MH830 ve MH850 etiket isimleriyle toplam 7 seridir. Harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0.5, Kum/bağlayıcı oranı 3.0 ve Süper akışkanlaştırıcı oranları ise %3, %4 ve %5'tir. Karışımların akıcılık miktarı, yaklaşık 170±20mm'dir. Üretimlerinden 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan numuneler, sıcaklığı 21±1°C olan kür tankında 28 gün bekletilmişlerdir. Numunelerin eğilme ve basınç dayanımı deneyleri, TS EN 196-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Portland çimentosu, marn ve katkılı çimentoların bazı özellikleri

Portland çimentosu, marn ve katkılı çimentoların bazı özellikleri Tablo 2, 3, 4 ve 5'te verilmektedir. Marnın özgül ağırlığı, Portland çimentosundan %13.46 daha düşüktür. Marnın özgül yüzeyi, Portland çimentosundan %44.24 daha yüksektir. Bu durum, marnın mineral yapısı, boşluk durumu ve kırılgenliğine bağlıdır. Portland çimentosu ve marnın 45 µm elekten kümülatif geçen yüzdesi, sırasıyla %67.11 ve %78.64'dir. Katkılı çimentoların özgül ağırlığı, marn oranının artmasıyla azalmaktadır. Marn içeren katkılı çimentoların inceliği ise marn oranının artmasıyla yükselmektedir.

Çalışmada dikkate alınan kalsine marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu ihtiyaçları, içeriklerindeki katkı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Kalsine marn içeren katkılı çimentolarda, Portland çimento hidratlarının daha fazla yüzey alanı bulması ve karışım suyunun bir kısmının zamanla kalsine marn tarafından emilmesi sebebiyle, priz süreleri Portland çimentosuna oranla bir miktar daha kısalmıştır. Katkı oranı arttıkça hacim genişmesi değerleri artmıştır. İncelenen kalsine marn katkılı çimentoların priz süreleri ve hacim sabitliği değerlerindeki değişim sonuçları, beklenen bir durum olmakla beraber TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

Doğal marnın TGA grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi, marn malzemesinde bozulmamış kalsiyum karbonatların büyük bir bölümünde, ayrışmanın olduğu eğrinin oldukça düzgün dağılımlı sonuçlandığı görülmektedir. Bunun da; puzolanik aktiviteye ve dolayısıyla da harç numunelerin dayanım değerlerine olumlu etki yapacağı kanaati oluşmaktadır.

Tablo 2. Portland çimentosu özellikleri (PÇ)

Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça %)	Fiziksel ve mekanik özellikler			
SiO ₂	19.53	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.12		
Al ₂ O ₃	5.33	Priz başlangıcı, (saat)	2.50		
Fe ₂ O ₃	3.56	Priz sonu, (saat)	4.15		
CaO	62.26	Hacim genişmesi, mm	2.00		
MgO	0.99	Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3210		
SO ₃	3.02	Basınç dayanımları	2 gün	7 gün	28 gün
Kızdırma kaybı	3.06	(MPa)	32.30	44.60	53.00
		Elek üstü	45µm	90 µm	200 µm
		(%)	32.89	12.15	2.73

Table 3. Doğal marnın özellikleri

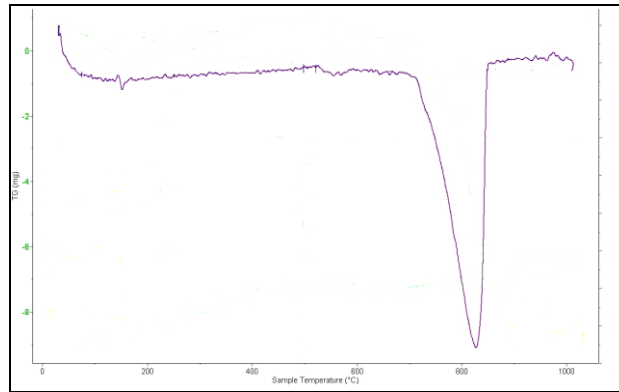
Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça .%)	Fiziksel özellikler	
SiO ₂	56.63	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	2.70
Al ₂ O ₃	12.34	Blaine (cm ² /g)	4630
Fe ₂ O ₃	7.46	Elek üstü (%)	
CaO	12.91	45µm	21.36
MgO	2.83	90 µm	7.80
Kızdırma kaybı	7.03	200 µm	1.57

Table 4. Marn katkılı çimentoların özellikleri

Fiziksel özellikler	PC	M10	M30	M50
Özgül yüzey (cm ² /g) (Blaine inceliği)	3210	3305	3610	3990
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.12	2.95	2.82	2.76

Table 5. Marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genişmesi

Çimento	Su/bağlayıcı oranı	İlk Priz (dk)	Son Priz (dk)	Hacim Genişmesi (mm)
Standard limitleri	-	>45	>75	≤10
PÇ	0.30	170	255	2.00
M610	0.36	150	243	3.00
M630	0.39	160	251	4.50
M650	0.43	162	254	5.00
M810	0.38	153	238	3.50
M830	0.41	155	245	4.00
M850	0.45	165	252	5.50

**Şekil 1.** Doğal marn için termogravimetrik analiz (TGA) grafiği

Kalsine Marnın Puzolanik Aktivitesi

Kalsine marnın puzolanik aktivite değerleri, Tablo 6'da verilmektedir. Tablo 6'ya göre, TS 25'de, puzolanlar için uygunluk kriterlerinden biri, kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımının en az 4 MPa olmasıdır. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen marn için gerçekleştirilen deneylerde, ortalama basınç dayanımı değerleri 0°C için 0 MPa (kalsine edilmeyen marn numunesi, neredeyse hiç yük almadan kırılmıştır), 600°C için 3.80 MPa ve 800°C için 8.10 MPa'dır. TS 25'te diğer bir uygunluk kriteri, puzolanın $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam içerikleri en az %70 olmalıdır. Bu toplam değer, doğal marn için %76.43'tür. Aynı zamanda, puzolanın

özgül yüzeyi, $3000cm^2/g$ 'den daha fazla olmalıdır. Bu çalışmadaki marn için Blaine özgül yüzeyi, $4630 cm^2/g$ olarak tespit edilmiştir.

Doğal marnın özgül yüzeyinin Portland çimentosundan daha ince olmasının puzolanik aktivite değerini yükselttiği düşünülmektedir. Kalsinasyon sıcaklığı, özgül yüzey ve $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ içeriğinin bir etkisi olarak 800°C'de kalsine edilen marnın puzolanik aktivitesi, TS 25'te istenilen değer iki katından daha fazladır. Bu artış, 800°C'de karbonatların ayrışması ile açıklanabilmektedir. Ayrışma, yaklaşık 600°C'de başlar ve 800°C'de optimum değerini alır. Bunlar, çalışmada kullanılan marnın, puzolan olarak kullanılabilirlik potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

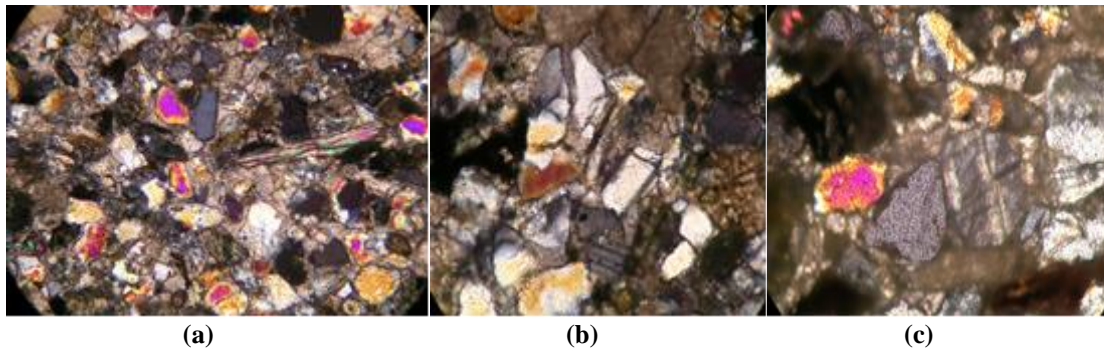
Table 6. Doğal marnın puzolanik aktivitesi

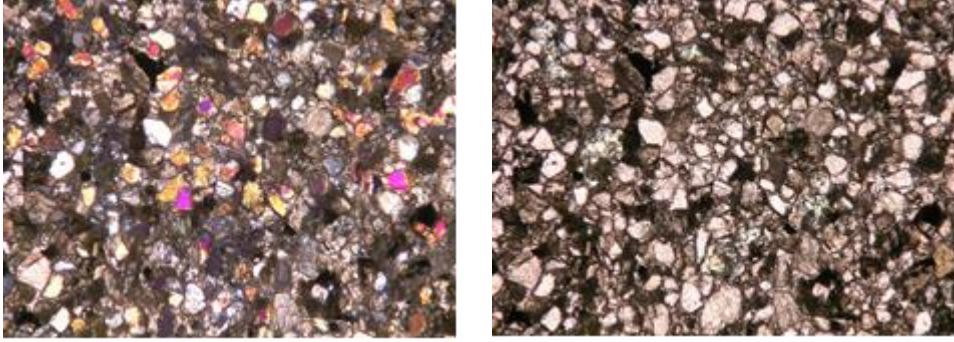
TS 25 limit değerleri	Doğal marn
Kireç-puzolan karışımı, 7 günlük basınç dayanımı > 4MPa	8.10MPa
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ağırlıkça içerik >%70	%76.43
Özgül yüzey alanı > $3000cm^2/g$	$4630 cm^2/g$

Marnın mineralojik yapısı

Marn numunesi üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, kayacın doğal çimentosu kalsittir. Kuvars (SiO_2): %12. Feldspat (K, Na) ($AlSi_3O_8$): %4. Plajiyoklas: Na ($AlSi_3O_8$)-Ca ($Al_2Si_2O_8$): %46 kayaçta en çok bulunan mineraldir. Piroksen

(Mg, Fe, Al) (Ca, Na) Si_2O_6 : %12. Biotit (Mg, Fe, Al, Ti)₂ ($Si_6 Al_3O_{20}(OH)_4$): %2. Manyetit (Fe_3O_4): %3. Kalsit ($CaCO_3$): %17. Yabancı kayaç kırıntıları (kireçtaşı, kuvarsit ve bazalt): %4. Marn kayaç numunesinin Polarizan mikroskoptan alınan görüntüleri Şekil 2 ve 3'te verilmektedir.

Şekil 2. Doğal marnın Polarizan mikroskop fotoğrafları (a) ($1cm=100\mu$), (b and c) ($1cm=300\mu$)



Şekil 3. Doğal marnın geniş alan çift ve tek nikolde çekilmiş mikro fotoğrafları (1cm=80µ)

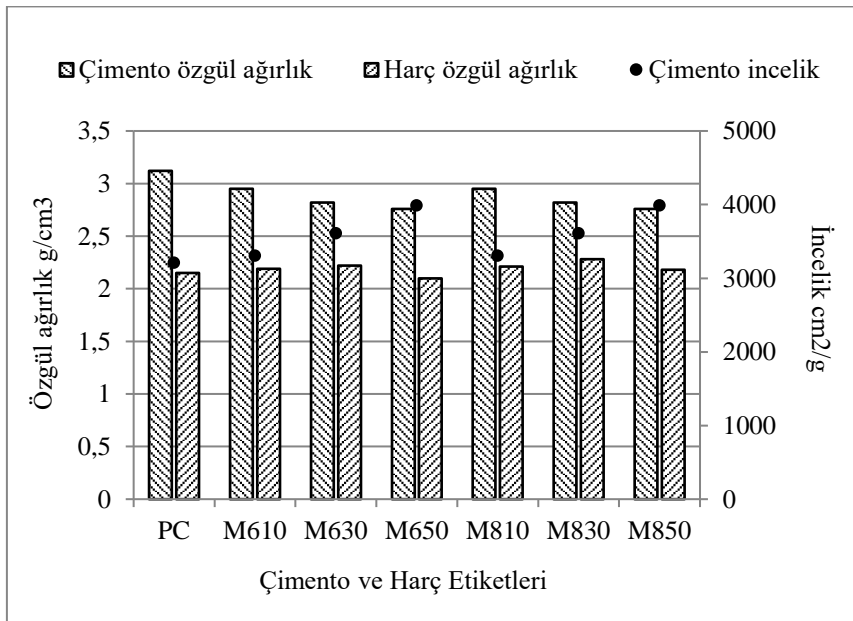
Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları

Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların 28 günlük ortalama prizmatik eğilme-basınç dayanımları ve özgül ağırlıkları, Tablo 7’de verilmektedir. Katkılı çimentolar/harçların özgül ağırlık ve özgül yüzey ilişkileri, Şekil 4’te verilmektedir. Harçların özgül ağırlık ile ortalama eğilme dayanımlarının değişimleri, Şekil 5’te, ortalama basınç dayanımlarının

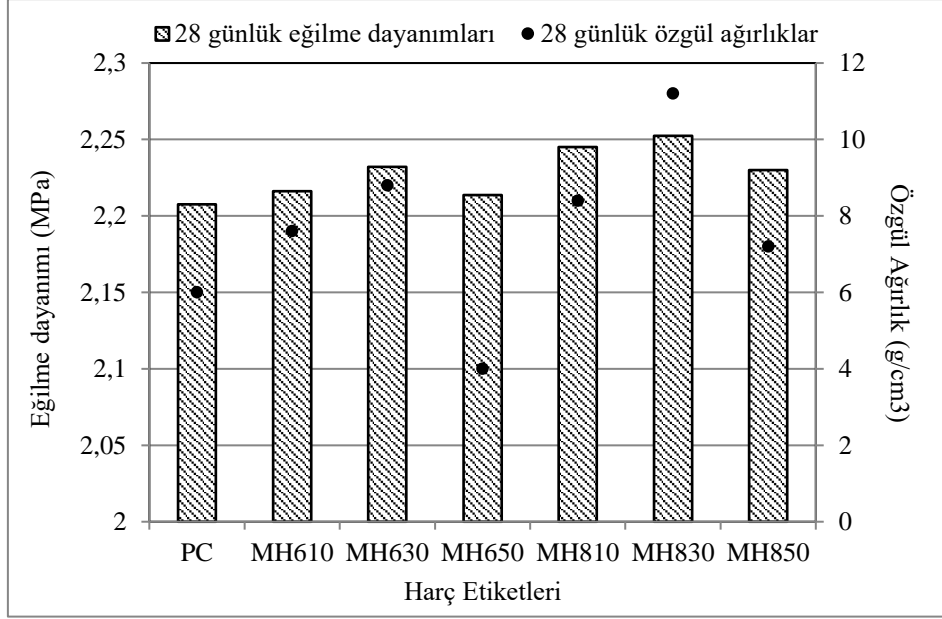
değişimleri ise Şekil 6’da verilmektedir. Tablo 7’ye göre, M610, M630, M650 etiketli harçların eğilme-basınç dayanımları PÇ ile yaklaşık benzerdir. Fakat M810, M830, M850 etiketli harçların eğilme-basınç dayanımları, PÇ’den daha yüksektir. Bu durum, kalsinasyon sıcaklığı ile ilişkilidir. Değişim grafikleri incelendiğinde, kalsine marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları, puzolanik aktivitenin artmasıyla %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

Table 7. Harçların özgül ağırlıkları ve eğilme-basınç dayanımları

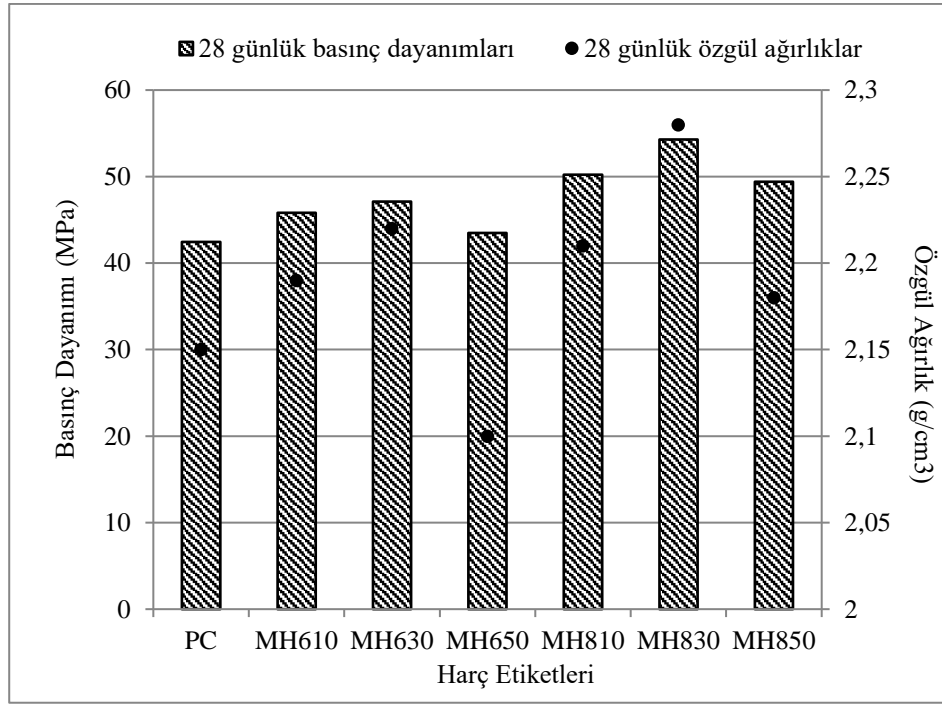
Harçlar	PC	MH610	MH630	MH650	MH810	MH830	MH850
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.15	2.19	2.22	2.10	2.21	2.28	2.18
Eğilme Dayanımı (MPa)	8.30	8.65	9.28	8.55	9.80	10.10	9.20
Basınç Dayanımı (MPa)	42.44	45.80	47.10	43.50	50.20	54.30	49.40



Şekil 4. Katkılı çimento / harç özgül ağırlık ve özgül yüzey ilişkileri



Şekil 5. Harçların özgül ağırlıklar ile ortalama eğilme dayanımlarının değişimleri



Şekil 6. Harçların özgül ağırlıklar ile ortalama basınç dayanımlarının değişimleri

Sonuçlar

Çimento üretimlerinde yer değiştirme malzemesi kullanarak klinker miktarını azaltmak, enerji kaynaklarını etkin kullanarak, ürün performansından ödün vermeden, enerji

tasarruflu, ekonomik ve çevre dostu çözümler sağlar.

Çalışmada üretilen katkılı çimentoların normal kıvam su ihtiyacı, priz süreleri ve hacim

genleşme değerleri, TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

Optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları ise %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

Çalışmada incelenen kalsine marn, yüksek silis-alümin içeriği, mineralojik yapısı, priz süreleri, hacim sabitliği, düşük özgül ağırlığı, yüksek özgül yüzeye bağlı filler etkisi, puzolanik aktivitesi, harç dayanımları ve diğer puzolanlara göre daha bol miktarda doğada bulunuşu gibi olumlu özellikleri nedeniyle

Kaynaklar

- Andradea, D., Rêgoa, J., Moraisb, P., Rojas, M., (2018). Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica, *Construction and Building Materials*, 15, 918–26.
- Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., and Scrivener, K., (2012). Cement substitution by a combination of metakaoline and limestone, *Cement and Concrete Research* 42 (12), 1579–1589.
- Danner, T., Østnor T., and Justnes, H., (2012). Calcined marl as pozzolana for sustainable development of the cement and concrete industry, In *Proceedings of the 12th Canmet/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues*, SP-289, 357–365.
- Daştan, A., (2005). Pişmiş killerin puzolanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık, İstanbul.
- De Weerd, K., and Justnes, H., (2008). Microstructure of binder from the pozzolan reaction between lime and siliceous fly ash, and the effect of limestone addition, In *Proceedings of 1st International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites*, Nanjing, China, Rilem Pro 61, 107–116.
- De Weerd, K., and Justnes, H., (2009). Synergic reactions in triple blended cements. In *Proceedings of the 11th NCB International*

sürdürülebilir katkılı çimento üretimlerinde alternatif puzolan olarak kullanılabilir bir potansiyele sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışmayı, AR-1366 no'lu proje ile destekleyen Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje (BAP) birimine, malzeme analizlerindeki desteklerinden dolayı ise MTA Genel Müdürlüğü, Votorantim Çimento, Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Seminar on Cement and Building Materials, New Delhi, India, pp. 257–261.

- De Weerd, K., vd., (2010). Fly ash–limestone ternary composite cements: synergy effect at 28 days, *Nordic Concrete Research* 2, (42), 51–70.
- De Weerd, K., vd., (2011a). Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements. *Cement and Concrete Composites* 33(1), 30–38.
- De Weerd, K., vd., (2011b). Hydration mechanism of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research* 41(3),279–291.
- Erdoğan, T. Y., (2013). Beton. ODTÜ Yayını. Ankara.
- Justnes H, Østnor, T., and Danner, T., (2011). Calcined marl as effective pozzolana. In *Proceedings of the International Rilem Conference on Advances in Construction Materials through Science and Engineering*, Hong Kong, China, Rilem Pro 79, pp. 750–758.
- Massazza, F., (1993). Pozzolanic Cement, *Cement and Concrete Composites*, 15, 185-214.
- Mikhailenko, P., Cassagnabère, F., Emam, A., and Lachemi M., (2018). Influence of physico-chemical characteristics on the carbonation of cement paste at high replacement rates of metakaolin, *Construction and Building Materials*, 158, 164–172.
- TS 25, (2008) Doğal puzolan (tras) - Çimento ve betonda kullanılan - tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 197-1 (2012) Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

- TS 196-6 (2010) Çimento deney yöntemleri -
Bölüm 6: İncelik tayini, Türk Standartları
Enstitüsü, Ankara
- TS 196-3 (2017) Çimento deney yöntemleri-
Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini. Türk
Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 196-1 (2016) Çimento deney metotları -
Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları
Enstitüsü, Ankara

Sustainable blended cements containing alternative pozzolan calcined marl

Extended abstract

The use of pozzolans which are added as replacement material to cement clinker in certain proportions means less energy consumption and less CO₂ emissions without compromising product performance due to the reduced amount of clinker.

The searches of replacement material for sustainability of cement are ongoing. In general, many natural and synthetic additives (such as furnace slag, fly ash) are used to reduce the amount of clinker and to improve performance of cement. However, depending on the increasing demand for cement in the future, additives in the market may not be able to meet the demand or additives may be used at high amounts. Therefore, in order to meet this demand, there is a need to alternate additive materials.

Marl is a combination of 35-85% clay and 15-65% limestone in nature. In fact, marl is clay character, but it is contaminated by limestone. Natural marls can be converted to an alternative pozzolan if calcined at the appropriate temperature. The natural marl containing calcined clay and limestone at the appropriate temperature can produce synergic reactions during hydration since it contains both calcined clay and calcined limestone after calcination. On the other hand, marl can be obtained naturally and as easy in a greater amount than other pozzolans. For this reason, calcined marl is an alternative source of cement additive that can be used in the production of sustainable blended cement with high potential and open to exploration.

The aim of this study is to create scientific data for using as an alternative pozzolan of local natural marl in the cement industry. Therefore, in this study, the natural marl obtained from Sinop/Erfelek was calcined at different calcination temperatures (600°C and 800°C) and its pozzolanic activity was determined. Blended cements were obtained where calcined marl replaces cement by weight at ratios of 0, 10, 30 and 50 wt.%. Tests such as setting times, normal consistency, volume expansion, flexural-compressive strength were performed on obtained blended cements and

mortar samples produced with these cements. The test results were compared with each other and with portland cement.

According to the results obtained from the tests, pozzolanic activity and cement properties of blended cements containing calcined natural marl are comply with limit values of TS 25 and TS EN 197-1. On the other hand, flexural-compressive strengths of mortars produced by blended cement containing calcined marl with optimum temperature (800°C) were improved up to replacement ratio 50%.

Keywords: *Calcined marl, Blended Cement, Mortar, Pozzolan*



Geosentetik türlerinin inşaat mühendisliğindeki uygulamaları ve sağladığı kolaylıklar

Mehmet Hayrullah AKYILDIZ*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7239-3518

Geliş: 21.12.2018 Kabul Tarihi: 15.05.2019

Öz

Geosentetik malzemelerin son yıllarda getirdiği hızlı ve ekonomik çözümler Dünya üzerindeki kullanımlarını giderek arttırmakta ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında oldukça kullanılmaktadır. Geosentetikler yol inşaatlarında ve birçok inşaat alanında kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında geosentetiklerin kullanımı hızlı bir şekilde gelişme göstermektedir. Geosentetiklerin, inşaat mühendisliği ve geoteknik mühendisliğine ekonomik ve çevresel yönden sağladıkları katkılardan dolayı kullanımları artış göstermektedir. Diğer yapı malzemelerine göre kolay taşınabilmeleri, hafif olmaları, kolay uygulanabilmesi, proje sürelerini kısaltmaları ve uzun ömürlü olması sebebiyle geosentetiklerin kullanım alanları giderek hızlanmaktadır. Yol inşaatının her aşamasında (altyapı, üstyapı, sanat yapıları) geosentetiklere rastlamak mümkündür. Geosentetikler yol inşaatlarında drenaj, filtrasyon, ayırma, koruma, güçlendirme, geçirimsizlik gibi çeşitli inşaat kısımlarında kullanılabilirlerdir.

Anahtar kelimeler: Geosentetikler, İnşaat Mühendisliği Uygulamaları, Geoteknik, Ekonomi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

GEOSENTETİK TÜRLERİ

Geotekstilller

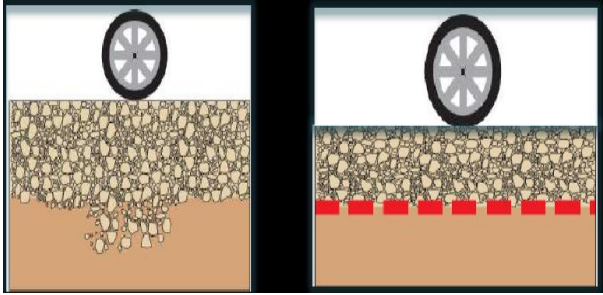
Geotekstilller; polyester, polipropilen, poliamid, polietilen, polivinil klorid hammaddelerinden üretilen geçirgen örtülerdir.

Örgülü Geotekstilller

Çift taraflı ve dik dokundukları için diyagonal mukavemet göstermektedirler. Yüksek çekme dayanımına sahiptir. Düşük uzamalarda yüksek dayanımlara ulaşırlar.

Örgüsüz Geotekstilller

Örgüsüz geotekstilller; polipropilen ve polyester hammaddelerinden oluşmaktadır. Çekme dayanımları çok düşük olduğundan dolayı filtrasyon ve ayırma alanlarında kullanılmaktadır (Özkol 2006).



Şekil.1. Yol inşaatında geosentetikler

Şekil 1'de yol altyapısına geotekstil uygulandığında ayırma fonksiyonu sayesinde tabakaların birbirine karışması engellenmiştir. (Yoder 1975) Örgüsüz geotekstilller; drenajda, zayıf zeminlerde ve erozyon kontrolü gibi kısımlarda tercih edilmektedir. Drenaj, zayıf zeminlerde ve yol inşaatlarında daha çok ayırma amaçlı kullanılırken erozyon kontrolünde ise filtrasyon amacıyla kullanılmaktadır.

Geotekstilller, zemine nazaran çok geçirgendir. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı sağlanabilir. Suyun tahliye edilmesi gereken inşaat uygulamalarında tercih edilebilmektedir (Öztekın 1992).

Geogridler

İnşaat Mühendisliği uygulamalarında, geogrid malzemelerin temel görevi zeminin taşıma kapasitesini arttırmasıdır. Geogridlerin en önemli özelliklerinden biri de zemin tabakalarının bütün halinde çalışmasını

sağlamasıdır. Geogridler bu nedenle, şev stabilizasyonu, yolun altyapı ve üstü yapısı gibi kısımlarında kullanılmaktadır.

Geogrid malzemeler zemin iyileştirme yöntemi olarak da kullanım alanı bulmaktadır. Geogrid malzeme zemindeki oturmaları engeller.

Yolların bozulmasına neden olan bir diğer etkende, yol çalışanlarının imalat sırasında yaptıkları sorumsuz ve bilinçsiz uygulamalardır. Örneğin, yol dolgusu yapılırken uygun olmayan dolgu malzemesi kullanılması, dolgu tabakalarının yüksek tutulması, yetersiz sıkıştırma ve sıkıştırma işlemi yapılırken dolgu malzemesinin yetersiz sulanması yolun ömrü açısından yola zarar veren etkenlerdir.

Yol üstü yapısı açısından zarar veren etkenler ise alltemel ve temel tabakalarının kalınlığının düşük tutulması, uygun olmayan malzeme kullanılması, asfalt karışımında yetersiz bitüm kullanılması ve imalat sırasında finişer ekibinin hatalı işçiliği de yola zarar veren etkenlerdendir. Bu nedenle yol tabakalarının belli kısımlarında zemin taşıma gücüne katkıda bulunma ve zemin güçlendirme amacıyla değişik türlerde geogrid malzeme kullanılmaya başlanmıştır.

Geomembranlar

Geomembran hammaddesi üç şekilde işlenebilir. Hammadde olarak Polivinil Clorür (PVC), Thermoplastic Olefin (TPO), Polipropylene plastic (PP), High Density Poliethylene (HDPE), Lineer Low Density Poliethylene (LLDPE), Very Low Density Poliethylene (VLDPE) kullanılabilir (Koerner 1999).

Yapılarda geçirimsizliği sağlamak için kullanılırlar. Yalıtım ve yüzey koruma sağlamak amacıyla kullanılan geosentetik çeşidi olan geomembranlar, kimyasal maddelere ve UV ışınlarına karşı son derece dayanıklı sentetik malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil.2. Geomembran uygulaması

Şekil 2’de HDPE geomembran örneği gösterilmiştir. HDPE geomembranların kullanım alanlarına çöp toplama ve geri dönüşüm sahaları, atık depolama mühendislik projeleri örnek gösterilebilir (www.geomembran.net).

Katı atık depolama sahalarında geçirimsizliği sağlamak için kullanılan geomembranların üstüne gelecek yüklerin geomembranlara zarar vermemesi, delinme ve yırtılmalara sebep olmaması için geomembranların üzerinde geotekstiller kullanılır (Akyıldız 2010).

Geonetler

Polietilenden üretilen geonetler, genellikle geotekstiller, geomembranlar ve diğer geosentetiklerle beraber kullanılarak geokompozitler gibi beraber hareket ederler. Geonetler, sıvı veya gazı istenilen çıkış noktasına kendi düzlemi boyunca istenilen noktaya doğru taşıyarak yapılarda drenajı sağlarlar. Geonetler, şekil itibariyle geogridlere benzerler. Sadece, geonetler geogridlerden görevi itibariyle farklıdır (Dernek 1998). Geogrid daha çok güçlendirme görevinde kullanılırken, geonetler drenaj için tercih edilmektedir.

Geosentetik Kil Kaplama

Geosentetik kil kaplamalar, tipik olarak iki geotekstil arasında ince bir kuru bentonit tabakası içeren ürünlerdir. Bentonit ıslanınca sızdırmaz bir tabaka teşlik eder. Alttaki ve üstteki geotekstil, dikiş veya iğneleme yöntemiyle birbirine tutturulur. Geomembrana yapıştırılmış bentonit tabakası şeklinde de geosentetik kil kaplama vardır (Akyıldız 2010).

Geosentetik kil kaplama, geçirimsizliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Orta tabakada yer alan bentonit şilte neme maruz kaldığında genişir. Bu şekilde, malzeme üzerine uygulanan basınç kuvveti ile geçirimsizlik sağlanır.

Geotüp

Geotüp sentetik malzemesi, geotekstil rulolarının bir araya getirilmesi ile oluşan kapsül şeklindeki elemandır. Geotüpler, gözenekli yapıdadırlar. Suyu doymuş malzeme veya sulu çamurla dolduruldukları zaman içerisindeki su, geotüpü oluşturan geotekstillerin gözeneklerinden dışarı atılıp katı malzeme geotüplerin bünyesinde tutulur (Leschinsky ve ark. 1996).

Son yıllarda geotekstil tüpler ile yüksek su içeriğine sahip tarama çamurlarının susuzlaştırılması oldukça etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır (Moo-Young ve ark. 2002).

Geohücre (geocell)

Zemin güçlendirme ve erozyon kontrolü sağlamak için kullanılan U.V ışınlarına dayanıklı üç boyutlu yapıda geosentetik malzemelerdir. Hüresel dolgu sistemi (HDS) olarak da nitelendirilmektedir. Karayolu şevlerinde, derelerde, kanallarda, hendeklerde, zemin iyileştirmede kullanılmaktadır. Geohücreler, zemin taşıma gücünü artırır ve oturumları minimize eder. Şekil 3’de eğimli yüzeylerin güçlendirilmesi amacıyla geocell kullanılmıştır. Geocell kullanılması ile birlikte zemin güçlendirilmiş ve erozyon kontrolü sağlanmıştır. (www.kartugplastik.com)



Şekil.3. Yol şevlerinde erozyon koruması

Geofoamlar

Geosentetik türlerinden geofoam, geoteknik uygulamalarında kullanılan köpük malzemesidir. Geofoamlar gazlara karşı geçirgen yapıdadır. Pek çok geoköpük malzemesi polimerik (plastik) veya camsı köpük esaslıdır (Yılmaz ve ark 2005). Geofoam dolgu uygulamaları çok hızlıdır. İstenilen ölçülerde kesilip şekillendirilebilir. Şaşırtmalı olarak uygulanır. Dolgu uygulamalarında proje süresini etkileyen faktörlerden biri toprak dolgu malzemelerinin oturma süresidir. Bu durum yıllar alabilmektedir. Geofoam dolgu malzemeleri diğer toprak dolgu malzemelerine oranla daha çabuk uygulanabilir. Geofoam dolguların kolay uygulanabilmesinin nedenlerinden biri diğer toprak malzemesine oranla 100 kat daha hafif olmasıdır. 1 m³ geofoam dolgusu yaklaşık 20-30 kilografa karşılık gelmektedir.



Şekil.4. Geofom bloklor

Şekil 4'de geofom bloklorun imalat aşaması gösterilmiştir. İşçilerin geofom blokloru hafif oldukları için rahat bir şekilde kaldırdıkları görülmektedir. Ancak aynı boyutlardaki bir toprak malzemenin ağırlığı geofom bloklorun ağırlığından 100 kat ağır olduğundan ağır iş makinelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Geofomlar yapılardaki zemine gelen yükleri büyük miktarda azaltır. Taşıma kapasitesi ve şev kayması problemlerinde güvenliği artırır.

Geofomlar istinat yapılarında ve köprü yaklaşım dolgu kısımlarında da sıkça kullanım alanı bulmaktadır.

Diğer toprak malzemelere göre geofom dolguların yoğunluğu az olduğu için istinat duvarına çok az yanıl basınç uygulanmaktadır. Bu nedenle istinat duvarlarında geri dolgu imalatında kullanılmaktadır.

Ülkemizde ilk geofom yol dolgusu İstanbul Çevre Yolu'nun Uzunçayır çıkışının Harem yönü trafiğinin bir kısmının Acıbadem Mahallesiine yönlendirilmesi projesi kapsamında yol dolgusu olarak kullanılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Geosentetik malzemeler sahadaki geoteknik problemleri anında çözen aynı zamanda pratik, ucuz ve imalatı kolay olan malzemelerden meydana gelmektedir. Diğer yapı malzemelerine göre kolay taşınabilmeleri, hafif olmaları, kolay uygulanabilmesi ve uzun ömürlü olması sebebiyle geosentetiklerin kullanım alanları giderek hızlanmaktadır.

Geleneksel yöntemlerle uygulama zorluğu, hatta imkansızlığı, tatminkar olmayan performans veya tasarımda, uygulamada karşılaşılan sorunlar geosentetikli alternatif çözümü gündeme getirebilmektedir. (Akyıldız 2010).

Geosentetikler bazen kısa vadede geleneksel yöntemlere göre daha maliyetli olabilmektedir.

Ancak proje sürelerindeki önemli kısaltmalar, kullanılan malzeme miktarında azalmaya gidilmesi ve geleneksel yöntemlere göre daha uzun süreli dayanım sağlaması, 3-5 yılda bir tekrar sökülüp tekrar yapılmayacağı düşünüldüğünde uzun vadede geosentetikler ekonomik olarak daha cazip duruma gelebilmektedir (Yetiz 2018).

Geosentetik malzemeler şev stabilizasyonlarında zemin güçlendirme ve iyileştirme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Geosentetikler; geomembran, geofom, geotekstil, geogrid, geohücre, geotüp, geonet, geotekstil kil kaplama ve geokompozitler olarak sıralanabilir. Geotekstilller, ince ve kaba daneli zemin arasına yerleştirildiğinde ayırma görevi görmektedir. Bu şekilde yolun üstünden geçen dinamik ve tekrarlı yükler altında kaba ve ince daneli zemin birbirine karışmamış olur. İnce ve kaba daneli zeminlerin birbirine karışması durumunda zemin üst yapısında bozulmalar ve çökmeler meydana gelebilmektedir. Zeminin güçlendirilmesi sağlanarak yumuşak zeminlerde agrega miktarında azalmaya gidilebilir. Geotekstilller drenaj amacıyla kullanıldığında bünyesinde bulundurduğu sıvı veya gazları istenilen çıkışa doğru sürükler. Zemine yerleştirilen geotekstilller, zemini trafik ve olumsuz hava koşullarından koruyarak yüzeysel koruma da sağlamaktadır.

Tekrarlı yüklere maruz kalan kaplamasız yollarda, tabakalar geotekstil malzemeler ile korumaya alınırsa yapının ömrü uzamakta ve basınca karşı gösterdiği direnç artmaktadır. Şekil 4'de dolgu malzemesiyle geogrid birlikte kullanılarak zeminin taşıma gücüne katkıda bulunulmuştur.



Şekil.4. Geogridle yapılan dolgu uygulaması

Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada geosentetik türleri ve görevleriyle ilgili bilgilere genel bir bakış yapılmıştır. Geosentetik türlerinin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki kullanım nedenlerine ve özellikle yol inşaatlarında sağladığı ekonomik, hızlı ve pratik çözümlere değinilmiştir. Geosentetik malzemelerin güçlendirme, ayırma, drenaj, koruma, filtrasyon, geçirimsizlik gibi görevlerine ve bu görevleri hangi geosentetik türleriyle sağladığına değinilmiştir. Ayrıca geosentetik malzemelerin diğer doğal inşaat malzemelerine göre daha hızlı ve pratik çözümler sunduğu görülmüştür. Geosentetik malzemeler kullanılarak proje süresi kısalabilmektedir. Geosentetik malzemeler kullanıldığında geleneksel inşaat uygulamalarında kullanılan ağır makinelere ihtiyaç duyulmayabilmektedir. Bu sayede makinelerin kira, amortisman ve mazot giderleri de maliyet kaleminden düşülebilir. Mazot, benzin vb. yakıtlar kullanılmadığı için geosentetik malzemeler çevreye daha az zarar vermektedirler. Bu nedenler ışığında geosentetiklere duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artacak ve gelecekte kullanımları giderek yaygınlaşacaktır.

Kaynaklar

Akyıldız, M.H. 2010. Katı atık düzenli depolama alanlarında geçirimsizliğe etki eden parametrelerin araştırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Aksoy, M. 1993. Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Bayram, A. 2006. Hava alanları pist dolgularının geosentetik malzemeler kullanılarak güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bouzza, A. 2002 'Geosynthetic clay liners', Geotextiles and Geomembranes, Elsevier Pub.Co.17 p

Dernek, Ö. 1998. Jeosentetikler ve karayollarında kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koerner, R.M. 1999. Designing with geosynthetics, Prentice Hall, New Jersey.

Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling, H.I., Gilbert, P.A. 1996. Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: Some Design Aspects, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No.8.

Moo-Young, H.K., Douglas, A.G., Mo, X. 2002. "Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes", Geotextiles and Geomembranes 20(5): 289-303.

Özer, A.T., Akınay, E. 2017. Geofoam blok yol dolgusunun kısa vadede performansının aletsel gözlemler ışığında değerlendirilmesi. İTÜ 7. Geoteknik Sempozyumu

Özkoç, O. 2006. Geosentetik donatılı istinat yapılarının analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztekin, A. 1992. Geotekstil üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 106 s.

Yetiz, F. 2018. Akçakale-Ceylanpınar karayolunda geofoam ve zemin dolgu alternatifleri arasındaki stabilite analizi ve maliyet karşılaştırması

Yılmaz, H.R., Eskişar, T., Aklık, P. 2005. Geofoam malzemesinin geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları ve önemi., TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, s. 14-19.

Yoder, E.J., Witczak, M.W. 1975. Principles of pavement design

www.geomembran.net. Erişim tarihi: 05.10.2017

www.istanbulteknik.com/geosentetikler

www.kartugplastik.com

Applications of geosynthetic types in civil engineering and facilities provided

geosynthetic types of these tasks to provide these tasks and civil engineers in the field how the benefits and contributions are presented in the field.

Extended abstract

The rapid and economical solutions of geosynthetic materials in the recent years are increasing their use on the world and are widely used in geotechnical engineering applications. Geosynthetics are used in road construction and many construction sites. The use of geosynthetics in civil engineering applications is rapidly developing.

In the light of these reasons, the need for geosynthetics will increase day by day and their use in the future will become increasingly widespread.

Keywords: *Geosynthetic, Civil Engineering Works, Geotechnics, Economy*

The use of geosynthetics due to their economic and environmental contributions to civil engineering and geotechnical engineering is increasing. The usage areas of geosynthetics are getting faster due to their easy transportation, light weight, easy application, shortening of project times and long life.

Geosynthetics can be found at every stage of the road construction (infrastructure, superstructure, art structures). Geosynthetics can be used in various constructions such as drainage, filtration, separation, protection, strengthening, impermeability in road constructions.

Geosynthetic materials are composed of materials that can solve the geotechnical problems in the field at the same time as practical, inexpensive and easy to manufacture. Due to its easy transportation, light weight, easy application and long service life according to other building materials, the usage areas of geosynthetics are accelerating.

Geosynthetics can sometimes be seen more costly in the short term than traditional methods. however, due to significant shortening of project times, decreasing the amount of materials used and providing longer term durability than traditional methods, it can be economically more attractive in the long term when it is considered that it will not be removed again after 3-5 years.

As a result; In this study, the reasons of the use of geosynthetic types in civil engineering and especially the economic, fast and practical solutions provided in road construction are mentioned.

Geosynthetic products such as strengthening, separation, drainage, protection, filtration, the