



**SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK - BİLİM VE
TEKNOLOJİ DERGİSİ**

**SELCUK UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND
TECHNOLOGY
(SUJEST)**

EISSN 2147-9364

HAKEMLİ DERGİDİR

OWNER/SAHİBİ

Owner on Behalf of Engineering Faculty of Selcuk University **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**
Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Adına Dekan **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**

Chief Editor/Şef Editör

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

Editors/Editörler

Prof. Dr. Mustafa TABAKCI
Assist. Prof. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

Advisory Board/Danışma Kurulu

Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Ataturk University
Prof. Dr. Ercan AKSOY, Bitlis Eren University
Prof. Dr. Lena HALOUNOVA, Czech Technical University
Prof. Dr. Petros PATIAS, The Aristotle University
Prof. Dr. Sitki KULUR, Istanbul Technical University
Prof. Dr. Dervis KARABOGA, Erciyes University
Prof. Dr. Ibaraki SOICHI, Kyoto University
Prof. Dr. Matchavariani LIA, Tbilisi State University
Prof. Dr. Seref SAGIROGLU, Gazi University
Prof. Dr. Vijay P. SINGH, Texas A and M University

Language Editing/Yabancı Dil Editörü

Prof. Dr. Ali BERKTAY

Composition and Printing/Baskı ve Dizgi

Dr. Lutfiye Karasaka
Res. Assist. Ismail KOC

Correspondance Address/Yazışma Adresi

Selçuk Üniversitesi Muhendislik Fakültesi Dekanlığı
42075-Kampüs, Selçuklu, Konya-TURKEY

Tel : 0 332 241 0 634
Fax : 0 332 241 0 635
E-mail : sujest@selcuk.edu.tr
Web : <http://sujest.selcuk.edu.tr>

Editorial Board (Yayın Kurulu)

Ahmet Afsin Kulaksiz, Selcuk University, TURKEY

Alla Anohina-Naumeca, Riga Technical University, LATVIA

Ashok K. Mishra, Clemson University, USA

Baris Binici, Middle East Technical University, TURKEY

Coskun Bayrak, University of Arkansas, USA

Demetrio Fuentes Ferrera, University of Castilla-La Mancha, SPAIN

Fahrettin Ozturk, The Petroleum Institute, UAE

Haci Murat Yilmaz, Aksaray University, TURKEY

Heinz Ruther University of Cape Town, SOUTH AFRICA

Homayoun Moghimi, Payame Noor University, IRAN

Ihsan Ozkan, Selcuk University, TURKEY

John Trinder, The University of New South Wales, AUSTRALIA

Kerim Kocak, Selcuk University, TURKEY

Loredana Judele, Technical University of Iasi, ROMANIA

Mohamed Bouabaz, Université 20 août 1955-Skikda, ALGERIA

Mohd Arif Wani, California State University, USA

Mortaza Yari, University of Tabriz, IRAN

Ömer Aydan, University of the Ryukyus, JAPAN

Sanchoy K. Das, New Jersey Institute of Technology, USA

Selim Dogan, Selcuk University, TURKEY

Spase Shumka, Agricultural University of Tirana, ALBANIA

Tahira Geroeva, Baku State University, AZERBAIJAN

Vladimir Androkhonov, Novosibirsk Soil Research Institute, RUSSIA

Ali Kocak, Yildiz Technical University, TURKEY

Alpaslan Yazar, Selcuk University, TURKEY

Ataur Rahman, University of Western Sydney, AUSTRALIA

Cihan Varol Sam Houston State University, USA

Dan Stumbea, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, ROMANIA

Eva Burgetova, Czech Technical University, CZECH REPUBLIC

Georgieva Lilia, Heriot-Watt University, UNITED KINGDOM

Halil Kursad Ersoy, Selcuk University, TURKEY

Hi-Ryong Byun, Pukyong National University, SOUTH KOREA

Huseyin Devenci, Selcuk University, TURKEY

Iraida Samofalova, Perm University, RUSSIA

Juan Maria Menendez Aguado, University of de Oviedo, SPAIN

Laramie Vance Potts, New Jersey Institute of Technology, USA

Mila Koeva, University of Twente, NETHERLANDS

Mohamed Metwaly Abu Anbar, Tanta University, EGYPT

Moonis Ali Khan, King Saud University, KSA

Murat Karakus, University of Adelaide, AUSTRALIA

Saadettin Erhan Kesen, Selcuk University, TURKEY

Selcuk Kursat Isleyen, Gazi University, TURKEY

Shukri Maxhuni, Prizen University, KOSOVA REPUBLIC

Syed Tufail Hussain Sherazi, University of Sindh, PAKISTAN

Thomas Niedoba, AGH University of Science and Technology, POLAND

Zoran Sapuric, University American College Skopje, MACEDONIA

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK, BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ
Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology
(SUJEST)

ISSN 2147 – 9364 (Elektronik)

Cilt	6	Aralık	2018	Sayı	4
Volume	6	December	2018	Number	4

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Araştırma Makalesi (Research Article)

TÜRKİYE'DE ENERJİ TALEBİNİ TAHMİN ETMEK İÇİN DOĞRUSAL FORM KULLANARAK GSA (YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI) VE IWO (YABANI OT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI) TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

Implementation of GSA (Gravitation Search Algorithm) and IWO (Invasive Weed Optimization) for The Prediction of The Energy Demand in Turkey Using Linear Form

.....**Ismail KOC, Refik NUREDDİN, Humar KAHRAMANLI 529-543**

AN ENSEMBLE INERTIA WEIGHT CALCULATION STRATEGY IN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

An Ensemble Inertia Weight Calculation Strategy in Particle Swarm Optimization Algorithm

.....**İbrahim Berkan AYDİLEK (English) 544-558**

GÜVENİLİR HABERLEŞMEDE AÇIK KAPALI KAOTİK ANAHTARLAMA SİSTEMİNİN FPGA KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

FPGA Implementation of Chaotic On-Off Keying for Secure Communication

.....**Enis GÜNAY, Kenan ALTUN 559-571**

NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNE VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

Effect of Additives Including Nano Materials on Fuel Properties and Exhaust Emissions

.....**İsmet SEZER 572-591**

THERMAL SIMULATION SOFTWARE BASED ON EXCEL FOR SPACECRAFT APPLICATIONS

Thermal Simulation Software based on Excel for Spacecraft Applications

.....**Murat BULUT (English) 592-600**

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE ZEMİN KAYMA YÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ
Evaluation of The Shear Surfaces in The Soils Using Digital Photogrammetry Technique
.....Atila DEMİRÖZ, Özcan TAN, Ayhan GÖKTEPE, Hakan KARABÖRK 601-612

APPLICATION OF FUZZY TOPSIS METHOD AND DOPGA ALGORITHM IN PURCHASING DECISION PROCESS: 3D TELEVISION EXAMPLE
Application of Fuzzy Topsis Method and DOPGA Algorithm in Purchasing Decision Process: 3D Television Example
.....Engin Ufuk ERGUL (English) 613-632

SYNTHESIS of Ag-DOPED ZnO NANOFIBERS USING ELECTROSPINNING METHOD and THEIR PHOTOCATALYTIC ACTIVITIES
Synthesis of Ag-Doped ZnO Nanofibers Using Electrospinning Method and Their Photocatalytic Activities
.....Ozlem ALTINTAS YILDIRIM (English) 633-642

POWER COEFFICIENT IN ONE POINT LIQUID LIMIT TEST FOR SOILS OF NORTHERN TURKEY AT VARIOUS TEMPERATURES
Power Coefficient in One Point Liquid Limit Test for Soils of Northern Turkey at Various Temperatures
.....Emre ÜYETÜRK, Nejan HUVAJ (English) 643-653

ÇEKME BÖLGESİ LİFLİ BETON OLAN CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMER (GFRP) ve ÇELİK DONATILI ETRİYESİZ KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI ve HASAR ANALİZİ
Bending Behavior and Failure Analysis of GFRP and Steel Rebar Reinforced Beam without Transverse Reinforcement with Fiber Reinforced Concrete in Tension Zone
.....Lokman GEMİ, Mehmet Alpaslan KÖROĞLU 654-667

FİKİR MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİ, YAKLAŞIMLAR, YÖNTEMLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA
A Survey on Sentiment Analysis and Opinion Mining, Methods and Approaches
.....Barış ÖZYURT, Muhammet Ali AKCAYOL 668-693

FARKLI KESİT GENİŞLEMELİ GEOMETRİLERİN KLİMA SANTRALLERİ İÇİN TASARLANAN BİR ANEMOSTAT TİP DİFÜZÖRLÜ BOŞ HÜCREDEKİ AKIŞA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
Numerical Investigation of The Effect of Geometries with Different Cross Section Expansion on The Flow in An Empty Cell with An Anemostat Type Diffuser Designed for Air Conditioning Power Plants
.....Muhammed Safa KAMER, Kerim SÖNMEZ, Ahmet KAYA 694-711

HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ İLE EKSENEL BİR ÇOCUK KALP DESTEK POMPASI PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Investigation of Performance of an Axial Child Heart Assist Pump with Computational Fluid Dynamics

.....Rafet YAPICI, Resul TEKE, Ömer İNCEBAY, Hasan ÇINAR, Fehmi MUTLU 712-726

TAŞIYICI DUVAR UZUNLUKLARI DEPREM YÖNETMELİĞİ KURALLARINA UYGUN OLMAYAN DONATISIZ YIĞMA BİR YAPININ DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ A

Experimental Investigation of Unreinforced Masonry Building Having Insufficient Loadbearing Wall Length According to Turkish Earthquake Code Rules

.....Oktay Musa KAYIRGA, Fatih ALTUN 727-736

MADEN MAKİNELERİNİN FREKANS-GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ

Frequency-Noise Relation of Mining Machines

.....Zekeriya DURAN, Bülent ERDEM, Tuğba DOĞAN 737-752

EVALUATION OF MOST VISITED WEB SITES IN TURKEY IN ASPECTS OF STRUCTURE AND SECURITY

Türkiye'de En Çok Ziyaret Edilen Web Sitelerinin Altyapı ve Güvenlik Açısından Değerlendirilmesi
..Atakan DAŞDEMİR, Mustafa Nevzat ÖRNEK, Humar Kahramanlı ÖRNEK (English) 753-766

BETON KAZIKLI AÇIK DENİZ YAPISININ ANALİZİ

Analysis of Offshore Structure with Concrete Piles

.....Engin GÜCÜYEN, Recep Tuğrul ERDEM 767-778



TÜRKİYE'DE ENERJİ TALEBİNİ TAHMİN ETMEK İÇİN DOĞRUSAL FORM KULLANARAK GSA (YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI) VE IWO (YABANI OT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI) TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

¹Ismail KOC, ²Refik NUREDDİN, ³Humar KAHRAMANLI

^{1,2}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya

³Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya

¹ismailkoc@selcuk.edu.tr, ²refiknureddin@gmail.com, ³hkahramanli@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 14.06.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.04.2018)

ÖZ: Bu çalışma, Türkiye'deki ekonomik göstergelere dayalı enerji talep tahmini ile ilgilidir. Enerji talebini tahmin etmek için Yerçekimi Arama Algoritması (GSA) ve Yabani Ot Algoritması (IWO) tekniklerine dayanan iki farklı model önerilmektedir. GSA yöntemi, Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarından esinlenerek geliştirilmiş sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. IWO algoritması ise doğadaki yabancı otların istilacı karakterlerinden esinlenen, evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır. GSA ve IWO yöntemlerine dayalı enerji talep modelleri, gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini giriş parametresi şeklinde kullanan bir model olarak önerilmektedir. Önerilen yöntemler doğrusal regresyon modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Türkiye'nin gelecekteki enerji talebi ise üç farklı senaryo altında tahmin edilmektedir. Önerilen tahmin modellerinden elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 1979 ve 2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde IWO literatürdeki diğer yöntemlerle de kıyaslanmış ve IWO yöntemi en yüksek performansı verdiği görülmüştür. 1979 ve 2011 yılları arasındaki tüm veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde ise GSA, IWO yöntemiyle karşılaştırılmış ve GSA daha iyi bir performans elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji talebi, Enerji talep tahmini, GSA, IWO, Optimizasyon, Türkiye,

Implementation of GSA (Gravitation Search Algorithm) and IWO (Invasive Weed Optimization) for The Prediction of The Energy Demand in Turkey Using Linear Form

ABSTRACT: This paper deals with energy demand forecast based on economic indicators in Turkey. Two different models based on the Gravity Search Algorithm (GSA) and Invasive Weed Optimization Algorithm (IWO) techniques are proposed to estimate energy demand. GSA is heuristic optimization algorithm inspired by Newton's laws of motion and gravity. The IWO algorithm is an evolutionary optimization algorithm inspired by the invasive characters of weeds in the wild. Energy demand models based on GSA and IWO methods are proposed using gross domestic product (GDP), population, import and export data as input parameters. Proposed methods are developed using linear regression model. Turkey's future energy demand is estimated under three different scenarios. The experimental results obtained by prediction models are given comparatively. In the prediction model using data between 1979 and 2005, IWO is compared with other methods in the literature and IWO method shows the highest performance. However, in the forecasting model obtained using the entire data set between 1979 and 2011, GSA is compared with the IWO method and GSA achieves better performance than IWO.

Key Words: Energy demand, Energy demand forecasting, GSA, IWO, Optimization, Turkey

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin kullanılması, insanlık tarihinin her aşamasına işaret eden bir uygulamadır ve geçmişten günümüze ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasında vazgeçilmez bir faktör olmaya devam etmiştir. Ülkeler için en önemli gereksinimlerden biri olan enerji, bir ülkenin kalkınma düzeyinin bir göstergesi olarak işlev görür. Sosyal, ekonomik ve endüstriyel alanlarda zamanla yapılan ilerlemeler, ülkelerin enerji ihtiyaçlarında artışa neden olmuştur. Enerjinin, insan hayatını sürdürmede artan önemi tartışılmaz bir durumdur. Fakat nükleer santral kazalarının ve finansal krizlerin son zamanlarda meydana gelmesine rağmen, enerji talebi yükselmeye devam etmektedir (Güneş ve Aslan). Buna göre, enerji sektörünün sağlıklı bir şekilde gelişmesini sağlamak için planların talep, arz, iletim, dağıtım ve fiyatlandırma için geliştirilmesi oldukça gereklidir (Oğurlu, 2011). Muhtemelen, en önemli planlama çalışması, günümüzde artan enerji talebini dikkate alarak gelecekteki talebin belirlenmesini gerçekleştirmektir. Enerjinin depolanamaz olması ve enerji üretimiyle ilişkili yüksek maliyetler nedeniyle, enerji üretimi ve tüketimi arasında işleyen bir dengenin var olması hayati önem taşımaktadır (Mahmutoğlu ve Öztürk, 2015). Bu dengeyi sürdürülebilir hale getirme, enerji talep tahmininin doğru bir şekilde belirlenmesi ile mümkün görülmektedir. Öngörülen enerji talebi gerçek enerji talebinden daha az ise, bu durum bir enerji krizine neden olabilir ya da tahmini enerji talebi gerçek enerji talebinden daha büyükse, bu durum kaynakların azalmasına ve ekonominin hasar görmesine neden olabilir (Ünler, 2008).

Planlama çalışmalarının başarısı, tahminlerin doğruluğuna dayanmaktadır. 1990'lı yılların sonuna kadar enerji tahmin çalışmaları diğer ülkelerde uzunca bir süre yürütülmesine rağmen, Türkiye'de enerji tahmin çalışmalarının önem kazanması beklenmiyordu. 1970'lerin sonunda Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) enerji talebini belirlemek için matematiksel modeller uygulamaya başladı (Erdogdu, 2007).

Tiris (2005), küresel enerji talebinin 2002 yılından 2030 yılına kadar yılda yaklaşık %1.7 oranında artacağını belirtmiştir (Tiris, 2005). 2012 yılı verilerine göre, Türkiye'nin toplam birincil enerji talebi 121 MTEP'dir. Bu talep, %31 kömür, %31 doğalgaz, %25 benzin, %4 hidrolik, %3 ahşap atık materyali, hayvan ve bitki atıkları, jeotermal enerji, rüzgâr ve güneş enerjisi ve %3 daha başka kaynaklardan oluşmaktadır (WECTN,C 2013). Türkiye, istediği enerjinin %30'unu üretme kapasitesine sahipken, enerji talebinin geri kalanı ise ithal edilen kaynaklar üzerinden sağlanmaktadır (WECTNC, 2014).

Türkiye'nin birincil enerji tüketim kaynakları linyit kömürü, katı kömür, hidroelektrik enerji, benzin, doğalgaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hayvan ve bitki atığından oluşmaktadır (Kıran ve diğ., 2012b). Bununla birlikte, Türkiye, enerji talebinin çoğunu, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşıladığı için, dış kaynaklara güvenmek zorunda kalmıştır. 2002 yılından bu yana, Türkiye ekonomisinde görülen belirgin büyüme, enerji tüketiminde artışa neden olmuştur. Bu artan tüketim oranı ile, enerji ihtiyacının %70'ini ithalat yoluyla karşılayan Türkiye, kalkınma ve sanayileşme, bütçe ve arz yönünden sanayileşmeden kaynaklanan potansiyel herhangi bir sorunu önlemek için uzun vadeli enerji talebini doğru bir şekilde (planlama, enerji kaynaklarına ve yatırımlara erişim) tahmin etmektedir (WECTNC,2014).

Enerji tahmin konusunda Kankal ve diğ. (Kankal ve diğ., 2011), Dilaver ve Hunt (Dilaver ve Hunt, 2011), Ediger ve Tatlıdil (Ediger ve Tatlıdil, 2002), Ediger ve Akar (Ediger ve Akar 2007) ve Yumurtacı ve Asmaz (Yumurtacı ve Asmaz, 2004) tarafından istatistiksel model temelli çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bahsedilen modellerin yanı sıra meta-sezgisel yöntemler de enerji tüketimini tahmin etmek için uygulanmıştır (Yumurtacı ve Asmaz, 2004). Türkiye'nin farklı enerji türlerinin talebini tahmin edebilmek için karınca koloni optimizasyonu (Toksarı, 2007), genetik algoritma (Ozturk ve diğ. 2005), yapay sinir ağı (Sözen ve diğ. 2005), harmoni arama algoritması (Ceylan ve diğ., 2008), yapay arı algoritması (Uguz ve diğ., 2015), diferansiyel evrim algoritması (Beskirlil ve diğ., 2017) ve parçacık sürü optimizasyonu (Ünler, 2008, Kıran ve diğ., 2012a) yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada ise, doğrusal form kullanılarak enerji tahmin modelleri için önerilen Yabani Ot Algoritması (IWO) ve Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) yönteminde, enerji talebi tahmini için giriş

parametreler olarak GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri kullanılmıştır. Önerilen yöntemin tahmin başarısı ile Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen çalışmaların başarısı karşılaştırıldığında, 1979 ve 2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde IWO, Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen yöntemlerle de kıyaslanmış ve IWO yönteminin en yüksek performansı sağladığı saptanmıştır. 1979 ve 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılan tahmin modeli sonuçlarına göre ise GSA, IWO ile karşılaştırılmış ve GSA yönteminin daha iyi bir başarı yakaladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin 2012 - 2030 yılları arasındaki enerji arzının birincil tutarı tahmini, önerilen üç farklı senaryodan elde edilen değerler kullanarak gerçekleştirilmiştir.

YABANI OT ALGORİTMASI (INVASIVE WEED OPTIMIZATION)

Son zamanlarda geliştirilen popülasyon tabanlı meta-sezgisel yöntemlerden birisi olan yabani ot algoritması (IWO) 2006 yılında sayısal optimizasyon problemleri için Mehrabian ve Lucas tarafından önerilmiştir (Mehrabian ve Lucas, 2006). IWO, büyüyen ve sömürücü yabancı otların istilacı ve direnç karakterlerinden esinlenen, evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır (Pourjafari ve Mojallali, 2012). Aşağıda açıklandığı gibi, algoritma dört aşamadan oluşur:

A. Başlatma (Initialization)

Belirli sayıda yabani ot, n boyutlu arama alanının her tarafına rasgele dağıtılır.

B. Reprodüksiyon (Reproduction)

İlk aşamada rasgele üretilen yabancı otların bu aşamada tohum üretmesine izin verilir. Tohumların üretilmesi, kendi yeteneği ve kolonilerinin yeteneğiyle ilgilidir. Daha iyi fitness değerine sahip olan ot, daha fazla tohum üretirken, daha kötü fitness değerine sahip olan ot, daha az tohum üretir. Yabani otlar tarafından üretilen tohumlar, en kötü durumla başlayıp en iyi durumla biten doğrusal bir büyüme gerçekleştirirler. Yeniden çoğalma formülü Denklem 1'de verilmiştir:

$$weed_i = \frac{f_{current} - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} * (S_{max} - S_{min}) + S_{min} \quad (1)$$

Burada $f_{current}$, mevcut yabani otun uygunluk değeridir. S_{max} ve S_{min} sırasıyla bir otun maksimum ve minimum değerlerini ifade eder. f_{max} ve f_{min} , popülasyonun maksimum ve minimum fitness değerlerini temsil etmektedir.

C. Mekansal Dağılım (Spatial Dispersal)

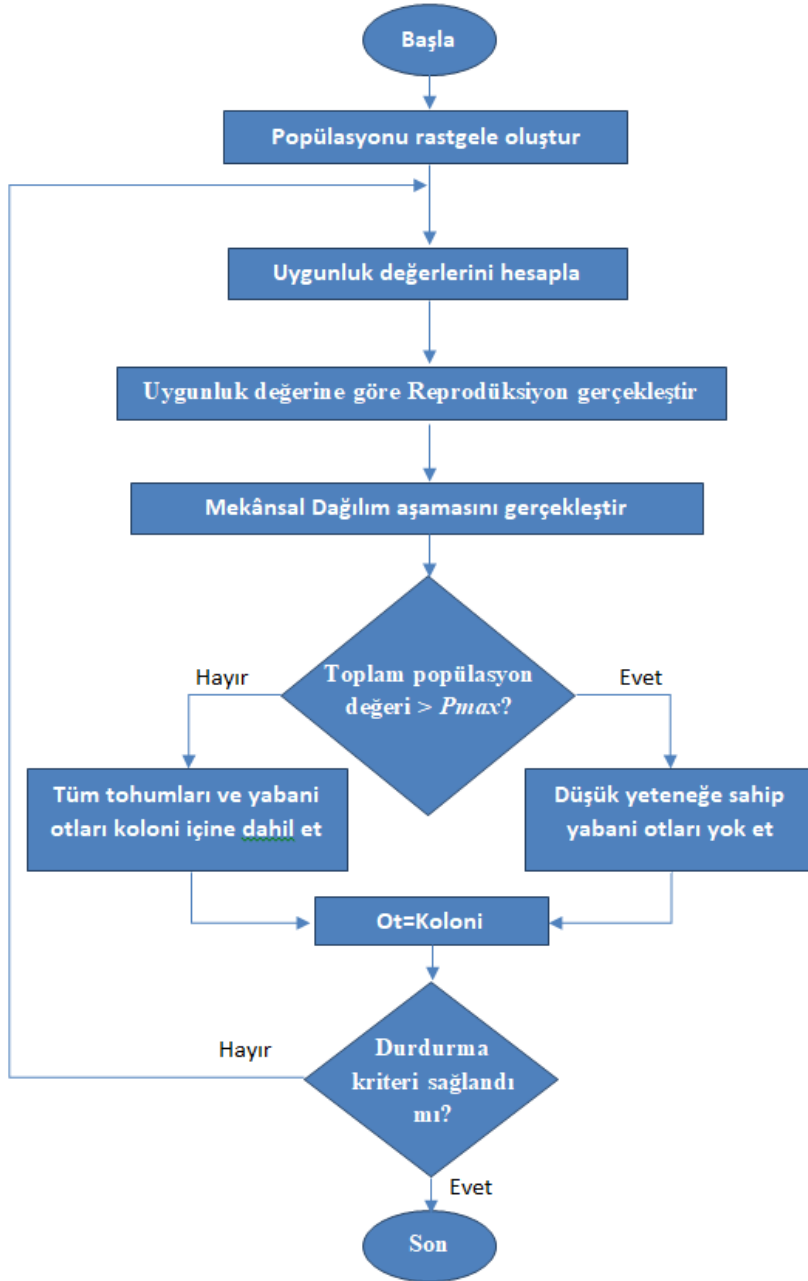
Bu aşamada, üretilen tohumlar rasgele olarak arama alanına yayılır ve ortalamaya göre sıfıra eşit ve değişken varyantına dayalı olarak, üretilen bu tohumlar ana ot yakınında bulunurlar. Burada, rastgele fonksiyonun standart sapması (σ) önceden belirlenmiş bir başlangıç değerinden ($\sigma_{initial}$) başlayıp, son bir değere (σ_{final}) kadar iterasyon boyunca azaltılacaktır. σ_{iter} sonucu Denklem 2'de verilmiştir.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{(iter_{max})^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (2)$$

Burada, $iter_{max}$ maksimum iterasyon sayısıdır, geçerli zaman adımında standart sapma σ_{iter} ve n doğrusal olmayan modülasyon indeksidir.

D. Rekabet Edebilirlik (Competitive Exclusion)

Hayatta kalmak için bitkiler arasında bir rekabet vardır. Kolonideki bitkiler çok hızlı çoğalır ve tüm bitkiler koloni olarak kabul edilir. Fakat kolonideki toplam bitki sayısı popülasyonun maksimum değerini (P_{max}) aşmamalıdır. Bu nedenle, daha fazla uygunluk gösteren bitkiler koloni içine dâhil edilirken, daha az uygunluk gösteren bitkiler koloniden çıkarılır. Son olarak, kolonideki uygunluk değeri yüksek bitkiler, üst bitkiler olarak kabul edilir ve adım 2-4, maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar tekrarlanır. IWO yönteminin akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.

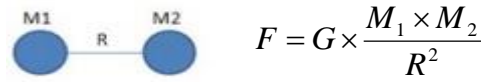


Şekil 1. IWO algoritmasının akış diyagramı

Figure 1. Flowchart of IWO algorithm

YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI (GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM)

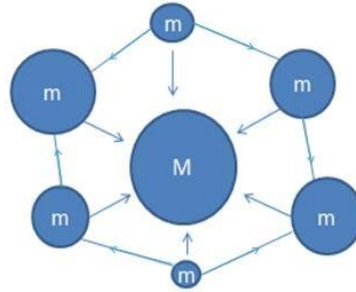
Rashedi ve diğ. (2009) tarafından Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarından esinlenerek geliştirilmiş sezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Rashedi ve diğ., 2009). Arama uzayındaki her bir parçacık, Yerçekimi Arama algoritmasında (GSA) bir kütle olarak kabul edilir, bu sebeple GSA'yı bir yapay kütle sistemi olarak tanımlamak mümkündür. Arama uzayındaki tüm kütleler Newton'un evrensel çekim kanununa göre birbirlerini çekerler ve yerçekimi kuvveti ile birbirlerine kuvvet uygularlar. Yerçekimi kuvvetine maruz kalan kütleler arama uzayı içerisinde hareket ederek optimum sonuca ulaşmaya çalışırlar. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir:



Şekil 2. Kütleler arası yerçekimsel kuvvet

Figure 2. Gravitational force between two masses

Şekil 2'de G , yerçekimi sabitini ifade etmektedir. Bu kuvvete maruz kalan kütleler arama uzayı içerisinde hareket ederek optimum çözüme ulaşırlar. Bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3 Kütlelerin birbirleri ile etkileşimi

Figure 3. Interaction of masses with each other

Noktasal kütlelerin bu şekildeki hareketi Newton'un ikinci hareket kanununa uygun olarak gerçekleşir. Arama uzayındaki her bir kütle için; konumu, eylemsizlik kütlesi, aktif yerçekimsel kütlesi ve pasif yerçekimsel kütlesi olmak üzere dört özelliği vardır. Her kütle arama uzayında belli bir pozisyonda bulunur. Buldukları konum, çözümlenmesi beklenen problem için birer alternatif çözümdür. Kütleler, üzerlerine herhangi bir kuvvet etki ettiğinde bu kuvvete karşı koymak isteyerek bir direnç gösterir. Bu direnç eylemsizlik kütlesi olarak adlandırılır (Rashedi ve diğ., 2009).

Eylemsizlik kütlesi fazla olan kütle daha yavaş hareket etmek isteyecek, az olanı ise daha hızlı hareket edecektir. Bu durumda oluşan yerçekimi alanı gücüne aktif yerçekimsel kütle denir. Yerçekimi alanı ile bir nesnenin iletişim gücüne pasif yerçekimsel kütle denir.

GSA'da her bir nesnenin kütle miktarı o nesnenin performansını gösterir. Algoritma süresince en ağır olan kütle diğer kütlelere göre daha yavaş hareket edecek ve diğerlerini kendine çekecek bir çekim kuvveti uygulayacaktır. Jenerasyon sayısı bitiminde ya da herhangi bir sonlandırma eylemi olduğunda kütle en fazla olan nesne, problemin optimum çözümünü oluşturmuş olacaktır.

GSA yöntemini başlatmak için i . kütle için (ajan) konumunun Denklem 3'teki gibi tanımlandığı s kümeli bir çözüm olsun:

$$x_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n), \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

Burada x_i^d , d . boyuttaki i . kütle için konumunu ifade etmektedir, n ise arama uzayının boyutudur.

Her bir ajanın kütlesi, uygunluk değeri ile temsil edilmektedir. Ajanın mevcut kütle dizisindeki

diğer ajanların uygunluğu Denklem 4'teki gibi hesaplanır.

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (4)$$

M_i değeri mevcut kütlelerin toplam kütleyle oranına eşittir ve Denklem 5'te verilmiştir.

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^s q_j(t)} \quad (5)$$

Bu denklemlerde yer alan $M_i(t)$ ve $fit_i(t)$ sırasıyla t anındaki i . ajanın kütlelerini ve uygunluk değerini ifade etmektedir. $best(t)$ ve $worst(t)$ ifadeleri t anında minimum ve maksimum değerleri ifade etmektedir ve Denklem 6 ve 7'deki gibi tanımlanır.

$$best(t) = \min(fit_j(t)) \text{ and } j \in 1, \dots, s \quad (6)$$

$$worst(t) = \max(fit_j(t)) \text{ and } j \in 1, \dots, s \quad (7)$$

Bir ajanın ivmesi hesaplanırken, diğer kütleler tarafından o ajan üzerine etki eden toplam güç hesaplanır. Söz konusu ajana uygulanan toplam güç Denklem 8'deki gibi hesaplanmaktadır. Toplam güç hesaplandıktan sonra ajanın ivmesi hareket kanununa göre Denklem 9'da verildiği gibi hesaplanır. Ajanın ivme değeri o andaki hızıyla toplanıp yeni hız vektörü Denklem 10'a göre bulunur. En son olarak da, ajanın yeni konumu Denklem 11'e göre hesaplanır.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest \& j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)M_i(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (8)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} = F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest \& j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (9)$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (10)$$

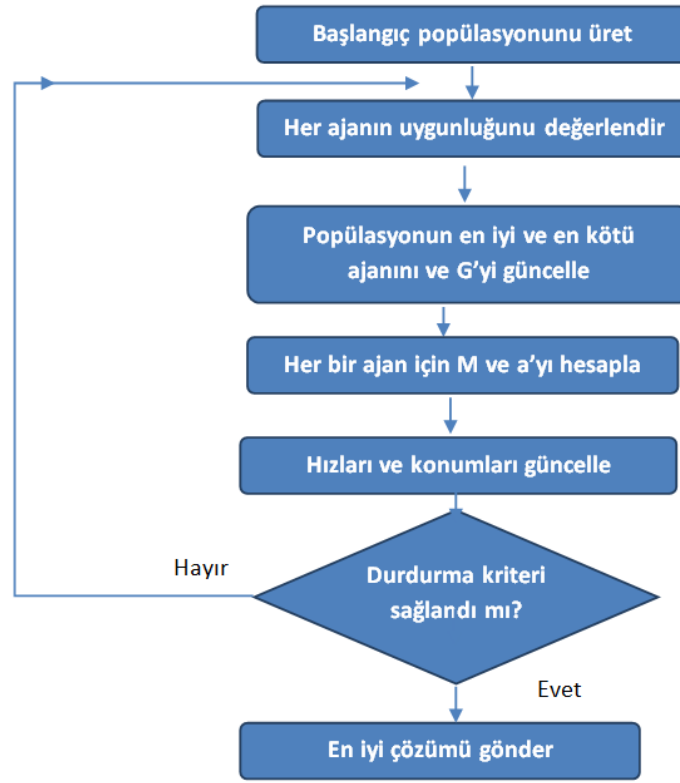
$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (11)$$

Denklemlerde yer alan $rand_i$ ve $rand_j$ değerleri $[0,1]$ aralığında dağıtılan rastgele iki sayıdır. ϵ çok küçük bir değerdir. Bu değeri kullanmanın amacı denklemin tanımsızlığını ortadan kaldırmaktır. $R_{ij}(t)$, i ve j ajanları arasındaki öklid uzunluğunu ifade etmektedir ve Denklem 12'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (12)$$

GSA'da $G(t)$ yerçekimsel sabiti, β sabit katsayıyı, t şu anki iterasyon sayısını, t_{max} maksimum iterasyon sayısını, G_0 ise bir başlangıç değerini ifade etmektedir. Denklem 13'te G_0 'a bağlı olarak her bir iterasyondaki $G(t)$ ifadesi verilmiştir. Ayrıca, GSA'ya ait akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

$$G(t) = G_0 e^{-B(\frac{t}{t_{max}})} \quad (13)$$



Şekil 4. GSA'nın akış diyagramı

Figure 4. GSA flow diagram

ENERJİ TALEP TAHMİNİ PROBLEMİNE ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULANMASI (APPLYING THE PROPOSED METHOD TO THE ENERGY DEMAND ESTIMATION PROBLEM)

Enerji talebi modelleri, bir ülkenin enerji ihtiyacını belirleme üzerindeki etkisinin büyük olduğu kabul edilen dört ekonomik temelli ölçüt kullanılarak geliştirildi: GSYİH, Nüfus, İthalat ve İhracat. Bu kriterlere ilişkin veriler IWO ve GSA yöntemleri yardımıyla enerji talebi modelleri geliştirmek için kullanılmıştır. Çizelge 1'de 1979 ile 2011 yılları arasındaki Türkiye'nin GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat ile enerji talebi değeri gösterilmektedir. Bu veriler, Türkiye İstatistik Kurumu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Raporları ve önceki çalışmalar (ETKB)'den elde edilmiştir.

Çizelge 1. 1979-2011 yılları arasında Türkiye'nin enerji talebi, GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracatı
Table 1. Turkey's energy demand, GDP, population, imports and exports from 1979 to 2011

Yıl	Enerji Talebi (TWh)	GSYİH (\$ 10 ⁹)	Nüfus (\$ 10 ⁶)	İthalat (\$ 10 ⁹)	İhracat (\$ 10 ⁹)
1979	30.71	82	45.53	5.07	2.26
1980	31.97	68	44.44	7.91	2.91
1981	32.05	72	45.54	8.93	4.7
1982	34.39	64	46.69	8.84	5.75
1983	35.7	60	47.86	9.24	5.73
1984	37.43	59	49.07	10.76	7.13
1985	39.4	67	50.31	11.34	7.95
1986	42.47	75	51.43	11.1	7.46
1987	46.88	86	52.56	14.16	10.19
1988	47.91	90	53.72	14.34	11.66
1989	50.71	108	54.89	15.79	11.62
1990	52.98	151	56.1	22.3	12.96
1991	54.27	150	57.19	21.05	13.59
1992	56.68	158	58.25	22.87	14.72
1993	60.26	179	59.32	29.43	15.35
1994	59.12	132	60.42	23.27	18.11
1995	63.68	170	61.53	35.71	21.64
1996	69.86	184	62.67	43.63	23.22
1997	73.78	192	63.82	48.56	26.26
1998	74.71	207	65	45.92	26.97
1999	76.77	187	66.43	40.67	26.59
2000	80.5	200	67.42	54.5	27.78
2001	75.4	146	68.37	41.4	31.33
2002	78.33	181	69.3	51.55	36.06
2003	83.84	239	70.23	69.34	47.25
2004	87.82	299	71.15	97.54	63.17
2005	91.58	361	72.97	116.77	73.48
2006	99.59	483	72.97	139.58	85.54
2007	107.63	531	70.59	170.06	107.27
2008	106.27	648	71.13	201.96	132.03
2009	106.14	730	73.23	140.93	102.14
2010	109.27	615	74.47	185.54	113.88
2011	114.48	731	74.72	240.84	134.91

Çizelge 1, Türkiye'nin sürekli gelişme sürecinde olduğunu ve ekonomik değerlerinin yıllar içinde arttığını göstermektedir. Ayrıca, Çizelge 1'den ekonomik değerlerdeki artış ile enerji tüketimindeki artış arasında bir korelasyon olduğu sonucuna varılabilir. Bu korelasyon dikkate alınarak, enerji talebi tahminleri lineer model kullanılarak Denklem 14'teki gibi modellenmiştir:

Dört değişkenin lineer formunu düzenleyen denklem şu şekilde yazılabilir:

$$E_{linear} = w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5 X_4 \quad (14)$$

Enerji talebi tahmininin temel amacı, veriler için en uygun değerleri bulmaktır. Denklem 14'teki X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 değerleri fiili GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat değerlerini göstermektedir. Verilen yıllara göre en uygun enerji talebi tahminini yapabilen ağırlık değerleri (W_1 , W_2 , W_3 , W_4 ve W_5) sözü edilen bu değerlere göre hesaplanır. Kullanılan amaç fonksiyon Denklem 15'te gösterilmektedir:

$$\min f(v) = \sum_{i=1}^R (E_i^{observed} - E_i^{predicted})^2 \quad (15)$$

Burada $E_i^{observed}$ ve $E_i^{predicted}$ değerleri sırasıyla gerçek ve tahmini değerleri, R ise toplam gözlem sayısını belirtmektedir.

LİTERATÜRDE İWO ve GSA'NIN DİĞER ALGORİTMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON of IWO and GSA with OTHER MODELS in the LITERATURE)

IWO ve GSA yöntemlerinin enerji talebi sorununun çözümünde başarılı olup olmadığının gözlenmesi için, Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ., (2012a) tarafından kullanılan diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Önceki araştırmalarda, ACO, PSO, HAPE ve son olarak DE de dâhil olmak üzere farklı sezgisel algoritmalar enerji talebi tahmin problemine uygulanmıştır. Önerilen modeli literatürdeki algoritmalara göre değerlendirmek ve karşılaştırmak için IWO ve GSA yöntemleri de diğer algoritmalar gibi 1979-2005 arasındaki veriler kullanılarak tahmin modeli oluşturulmuştur. IWO için başlangıç popülasyon büyüklüğü 50 ve maksimum popülasyon sayısı 100, minimum ve maksimum tohum sayıları sırasıyla 1 ve 5 alınmıştır. Ayrıca başlangıç ve bitiş standart sapma değerleri ise 0.5 ve 0.0001 olarak alınmış varyant azaltma katsayısı da 0.5 olarak kabul edilmiştir. GSA için ise; popülasyon sayısı IWO yöntemindeki gibi 100 alınmış, β değeri 2 alınırken G_0 değeri 100 olarak kabul edilmiştir. Deneysel çalışmaları eşit bir şekilde değerlendirebilmek için ise, maksimum fonksiyon hesaplama sayısı (maxFEs) 500.000 alınmıştır. Lineer form için IWO'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 16'daki gibidir:

$$E_{IWO_Linear} = -57.7420 + 0.0037X_1 + 1.9468X_2 + 0.3430X_3 - 0.4562X_4 \quad (16)$$

$$f(v)_{IWO_Linear} = 39.1535$$

Lineer form için GSA'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 17'deki gibidir:

$$E_{GSA_linear} = -53.9784 - 0.0093X_1 + 1.8781X_2 + 0.4253X_3 - 0.4738X_4 \quad (17)$$

$$f(v)_{GSA_Linear} = 43.6001$$

Lineer formlar için IWO, GSA, DE, HAPE, ACO ve PSO algoritmalarının katsayıları ve hata değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. IWO ve GSA yöntemi dışındaki diğer algoritmalara daha ait veriler daha önce yapılan çalışmalardan alınmıştır. Çizelge 2, IWO yönteminin enerji talebi tahmin probleminde Ünler (2008) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen diğer metotlardan çok daha başarılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca önerilen bu yöntem, enerji tahmini için yeni önerilmiş olan DE yönteminden de daha başarılı bir sonuç elde etmiştir.

Çizelge 2. Katsayıların ve lineer biçimdeki bağıl hataların karşılaştırılması

Table 2. Comparison of coefficients and relative errors in linear form

Katsayılar	IWO	GSA	DE	HAPE	ACO	PSO
w_1	-57.7420	-53.9784	-55.8991	-55.9091	-51.3046	-55.9022
w_2	0.0037	-0.0093	0.0038	0.0038	0.0124	0.0021
w_3	1.9468	1.8781	1.9123	1.9126	1.8102	1.9126
w_4	0.3430	0.4253	0.3735	0.3734	0.3524	0.3431
w_5	-0.4562	-0.4738	-0.4835	-0.4833	-0.4439	-0.4240
Hata	39.1535	43.6001	41.7120	41.7029	45.7239	42.6139

Çizelge 3 ve 4, lineer formlar için 1996 ile 2005 yılları arasında GSA ve IWO yöntemlerini kullanarak tahmin edilen enerji talebi değerlerini ve enerji talebini göstermektedir. IWO ve GSA yöntemlerini kullanarak lineer form için bulunan sapma değerleri, 1979 ve 2005 yılları arasında gözlemlenen değerlere yakın enerji talep tahmin değerlerini elde ettiğini göstermektedir. Çizelge 3 ve 4 ayrıca, tahmini ve gözlemlenen değerler arasındaki sapma değeri ve bağıl hatayı da göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda bakıldığında IWO, GSA'dan daha iyi sonuçlar elde etmiştir. GSA yöntemi için en yüksek sapma değeri lineer form için % -3.95 iken ve bu oran IWO'da % -3.48'dir.

Çizelge 3. IWO modeline ait 1996 ve 2005 yılları arasındaki enerji talebi tahminleri

Table 3. Energy demand estimates of the IWO model between 1996 and 2005

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	Tahmin Edilen Enerji Talebi	Hata	Bağıl Hata (%)
1996	69.86	69.32	-0.54	-0.77
1997	73.78	71.90	-1.88	-2.55
1998	74.71	73.02	-1.69	-2.26
1999	76.77	74.10	-2.67	-3.48
2000	80.5	80.28	-0.22	-0.28
2001	75.4	75.81	0.41	0.55
2002	78.33	79.08	0.75	0.96
2003	83.84	82.10	-1.74	-2.07
2004	87.82	86.53	-1.29	-1.47
2005	91.58	92.19	0.61	0.67

Çizelge 4. GSA modeline ait 1996 ve 2005 yılları arasındaki enerji talebi tahminleri

Table 4. Energy demand estimates of the GSA model between 1996 and 2005

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	Tahmin Edilen Enerji Talebi	Hata	Bağıl Hata (%)
1996	69.86	69.56	-0.30	-0.43
1997	73.78	72.30	-1.48	-2.00
1998	74.71	72.92	-1.79	-2.40
1999	76.77	73.74	-3.03	-3.95
2000	80.5	80.79	0.29	0.37
2001	75.4	75.83	0.43	0.57
2002	78.33	79.32	0.99	1.27
2003	83.84	82.79	-1.05	-1.25
2004	87.82	88.41	0.59	0.68
2005	91.58	94.55	2.97	3.24

IWO ve GSA YÖNTEMLERİ ARACILIĞIYLA 2012'DEN 2030'A KADAR ENERJİ TALEBİNİN GELECEKTEKİ PROJEKSİYONLARI (FUTURE PROJECTIONS of ENERGY DEMAND between 2012 and 2030 through IWO and GSA METHODS)

Önerilen yöntem, literatürdeki diğer araştırmalarla kıyaslanarak başarısı kanıtlandıktan sonra, Türkiye'nin enerji talebine ilişkin 2012 ve 2030 yılları arasındaki tahminler, 1979 ile 2011 yılları arasında

güncellenmiş veriler kullanılarak lineer formlar için yeni katsayılar belirlenerek yapılmıştır. Önceki bölümde verilen parametre değerleri olduğu gibi alınmıştır, ancak tek fark veri aralığının 1979 ile 2011 yılları arasında kullanılmış olmasıdır. Böylece daha yüksek miktarda verinin kullanılması ile daha gerçeğe yakın tahminlerin yapılması sağlanmış olmaktadır.

IWO ve GSA yöntemleri ile 1979 ile 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak lineer form için 10 kez bağımsız çalıştırılmış ve en iyi sonuç burada verilmiştir. 1979 ile 2011 yılları arasındaki verilere göre gerçekleştirilen tahmin modelinde GSA yönteminin IWO yöntemine nazaran daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. 1979-2005 arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde ise IWO yönteminin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, veri sayısının artmasına bağlı olarak GSA yönteminin global aramadaki üstünlüğünden dolayı IWO yöntemine üstünlük sağladığı söylenebilir. Lineer form için IWO'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 18'deki gibidir:

$$E_{IWO_Lineer} = -28.14013 + 0.00582X_1 + 1.37398X_2 + 0.13009X_3 + 0.05630X_4 \quad (18)$$
$$f(v)_{IWO_Lineer} = 367.45717$$

Lineer form için GSA'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 19'deki gibidir:

$$E_{GSA_linear} = -57.15262 + 0.02461X_1 + 1.89247X_2 + 0.08863X_3 - 0.05971X_4 \quad (19)$$
$$f(v)_{GSA_Lineer} = 180.36962$$

2012-2030 yılları arasında Türkiye'nin enerji talebini tahmin etmek için güncellenmiş verilerin ışığı altında şu senaryolar hazırlanmıştır:

- Senaryo 1: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %4, nüfus artış hızı %0.5, ithalat artış hızı %2.5 ve ihracatın büyüme oranı %3 olarak gerçekleşti.
- Senaryo 2: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %5, nüfus artış hızı %0.6, ithalat artış hızı %3.5 ve ihracatın büyüme oranı %3.5 olarak gerçekleşti.
- Senaryo 3: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %6, nüfus artış hızı %0.6, ithalat artış hızı %3 ve ihracatın büyüme oranı %3 olarak gerçekleşti.

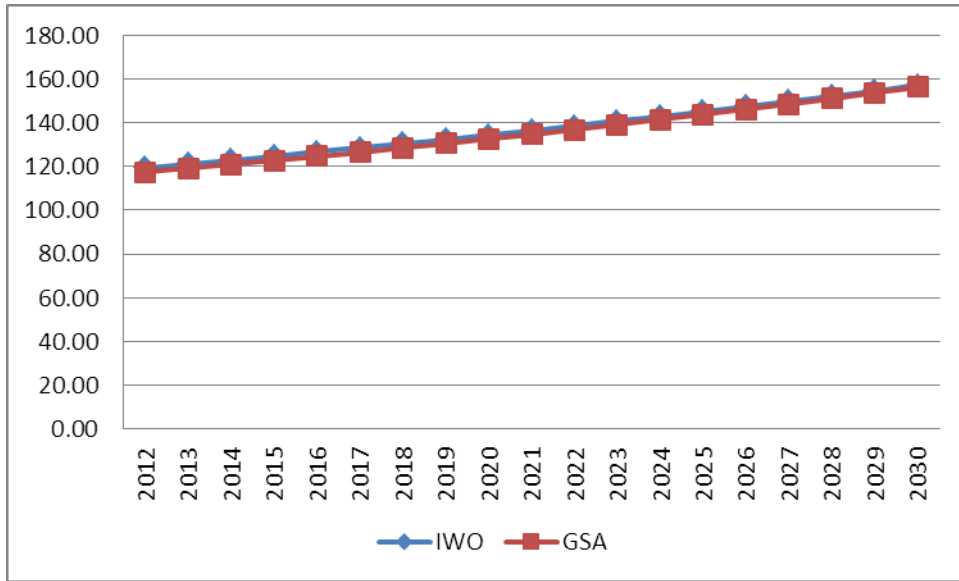
IWO ve GSA metodlarının her ikisi için de verilen senaryolardan elde edilen katsayılar kullanarak, 2012-2030 yılları arasındaki lineer form için enerji talep tahmin değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5'te IWO ve GSA'nın üç farklı senaryo altında gelecek yıllara ilişkin sonuçları gösterilmiştir. Gelecekteki enerji talebinin tahmini için önerilen bu üç senaryo kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Fakat senaryo 1 ve 2'de IWO yöntemi GSA'ya nazaran daha yüksek tahmin sonuçları elde ederken, senaryo 3'te GSA daha yüksek enerji talep sonuçları üretmiştir. Son olarak, elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin her gelen yıl için enerji talebinin artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca önerilen metodlar için senaryo 1, 2 ve 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonları Şekil 5, 6 ve 7'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5. Önerilen metotlar için Senaryo 1, 2 ve 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

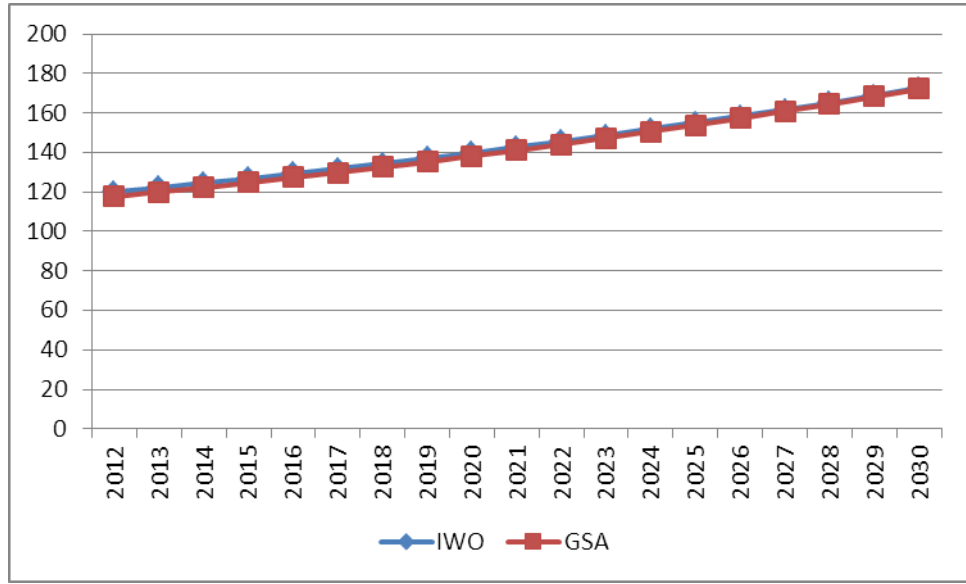
Table 5. For the proposed methods, according to Scenarios 1, 2 and 3, the future projection of the total energy demand

Yıl	Gözlemlenen enerji talebi	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
		IWO	GSA	IWO	GSA	IWO	GSA
2012	120,09	119,40	117,25	119,8973	117,7446	119,7452	117,858
2013	120,29	121,13	119,01	122,1505	120,0239	121,8384	120,2663
2014	123,94	122,90	120,80	124,468	122,3725	123,9875	122,7606
2015	129,27	124,70	122,64	126,852	124,7932	126,1948	125,3456
2016	N/A	126,55	124,52	129,3049	127,2892	128,4624	128,0259
2017	N/A	128,43	126,45	131,8293	129,8638	130,7925	130,8067
2018	N/A	130,36	128,41	134,4277	132,5203	133,1875	133,6932
2019	N/A	132,32	130,43	137,1027	135,2624	135,6499	136,6912
2020	N/A	134,33	132,50	139,8573	138,0938	138,1823	139,8065
2021	N/A	136,39	134,61	142,6943	141,0185	140,7874	143,0456
2022	N/A	138,49	136,78	145,6167	144,0404	143,468	146,415
2023	N/A	140,64	139,00	148,6275	147,164	146,227	149,9219
2024	N/A	142,83	141,27	151,7302	150,3937	149,0675	153,5737
2025	N/A	145,08	143,61	154,9279	153,7342	151,9927	157,3784
2026	N/A	147,37	146,00	158,2243	157,1905	155,0061	161,3442
2027	N/A	149,72	148,45	161,623	160,7678	158,111	165,4801
2028	N/A	152,13	150,97	165,1277	164,4713	161,3114	169,7954
2029	N/A	154,58	153,55	168,7423	168,3069	164,6109	174,3
2030	N/A	157,10	156,21	172,4711	172,2804	168,0136	179,0044



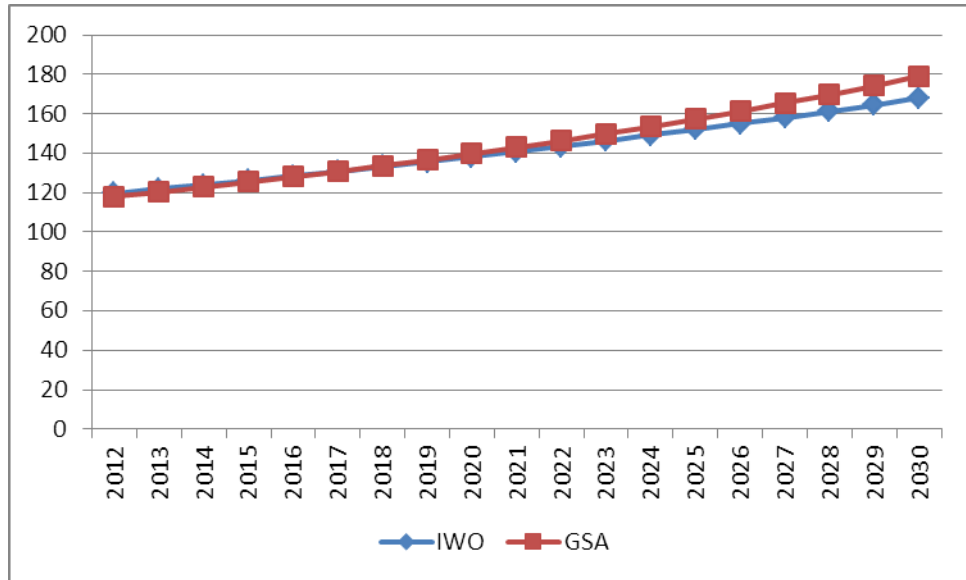
Şekil 5. Senaryo 1'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

Figure 5. Future projections of total energy demand according to Scenario 1



Şekil 6. Senaryo 2'ye göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

Figure 6. Future projections of total energy demand according to Scenario 2



Şekil 7. Senaryo 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

Figure 7. Future projections of total energy demand according to Scenario 3

SONUÇ (RESULTS)

Enerji talebi tahmini hem gelişmekte olan ülkeler hem de gelişmiş ülkeler için ekonomi ve ülke kaynakları bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de uzun vadeli enerji talebinin tahmininde IWO ve GSA kullanılmıştır. Türkiye'de bazı ekonomik göstergelerin artışı ile enerji tüketimindeki artış arasındaki korelasyon göz önüne alınarak enerji talep tahminini gerçekleştirmek için bu çalışmada lineer form kullanılmıştır. Türkiye'nin uzun vadeli enerji talebi 2012'den 2030'a, IWO ve GSA yöntemleri ile 3 farklı senaryo altında Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH), ithalat, ihracat ve nüfus göstergeleri kullanılarak tahmin edilmiştir. IWO ve GSA yöntemlerinin enerji talebi sorununa yönelik başarısını kanıtlamak için IWO ve GSA yöntemi literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen IWO yönteminin diğer yöntemlerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. Fakat 1979

ve 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılan tahmin modeli sonuçlarına göre ise GSA, IWO ile karşılaştırılmış ve GSA daha düşük hata değeri elde ederek daha iyi bir performans yakalamıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Beskirli M., Hakli H., Kodaz H., 2017, "The Energy Demand Estimation for Turkey using Differential Evolution Algorithm", *Sādhanā*, pp. 1-11.
- Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O., 2008, "Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an application to Turkey", *Energy Policy*, Vol. 36(7), pp. 2527-2535.
- Dilaver, Z., Hunt, L. C., 2011, "Industrial Electricity Demand for Turkey: A Structural Time Series Analysis", *Energy Economics*, Vol. 33(3), pp. 426-436.
- Ediger, V. Ş., Akar, S., 2007, "ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by fuel in Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(3), pp. 1701-1708.
- Ediger, V. Ş., Tatlıdil, H., 2002, "Forecasting The Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns", *Energy Conversion and Management*, Vol. 43(4), pp. 473-487.
- Erdogdu, E., 2007, "Electricity Demand Analysis using Cointegration and ARIMA Modelling: A case Study of Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(2), pp. 1129-1146.
- Güneş, G., Aslan, E. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı Ve Sürdürülebilir Turizme Olan Etkileri-Türkiye Örneği"
- Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Özşahin, T. Ş., 2011, "Modeling and Forecasting of Turkey's Energy Consumption Using Socio-Economic and Demographic Variables", *Applied Energy*, Vol. 88(5), pp. 1927-1939.
- Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T., 2012a, "A Novel Hybrid Approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to Forecast Energy Demand of Turkey", *Energy Conversion and Management*, Vol. 53(1), pp. 75-83.
- Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T., 2012b, "Swarm Intelligence Approaches to Estimate Electricity Energy Demand in Turkey", *Knowledge-Based Systems*, Vol. 36, pp. 93-103.
- Mahmutoğlu, M., Öztürk, F., 2015, "Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri", *Paper presented at the EY International Congress on Economics II (EYC2015)*, November 5-6, 2015, Ankara, Turkey.
- Mehrabian, A. R., Lucas, C., 2006, "A Novel Numerical Optimization Algorithm Inspired from Weed Colonization", *Ecological Informatics*, Vol. 1(4), pp. 355-366.
- Oğurlu, H., 2011, *Matematiksel Modelleme Kullanarak Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Yük Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ozturk, H. K., Ceylan, H., Canyurt, O. E., Hepbasli, A., 2005, "Electricity Estimation Using Genetic Algorithm Approach: a Case Study of Turkey", *Energy*, Vol. 30(7), pp. 1003-1012.
- Pourjafari, E., Mojallali, H. 2012 "Solving Nonlinear Equation Systems with a New Approach Based on Invasive Weed Optimization Algorithm and Clustering", *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 4, pp. 33-43.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S., 2009, GSA: "A Gravitational Search Algorithm", *Information Sciences*, Vol. 179(13), pp. 2232-2248.
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E., Özkaymak, M., 2005, "Turkey's Net Energy Consumption", *Applied Energy*, Vol. 81(2), pp. 209-221.
- Tiris, M., 2005, "Global Trends for Energy", *Paper presented at the Turkish Workshop on Sustainable Development: Meeting the Challenges*, JuÖlich.
- Toksarı, M. D., 2007, "Ant Colony Optimization Approach to Estimate Energy Demand of Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(8), pp. 3984-3990.
- Uguz, H., Hakli, H., Baykan, Ö. K., 2015, "A New Algorithm Based on Artificial Bee Colony Algorithm for Energy Demand Forecasting in Turkey", *Paper presented at the Advanced Computer Science*

- Applications and Technologies (ACSAT)*, 2015 4th International Conference on.
- Ünler, A., 2008, "Improvement of Energy Demand Forecasts using Swarm Intelligence: The case of Turkey with Projections to 2025", *Energy Policy*, Vol. 36(6), pp. 1937-1944.
- WECTNC., 2013, *World Energy Council*, Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-63182014, Energy Report.
- WECTNC., 2014, *World Energy Council*, Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-63182015, Energy Report.
- Yumurtacı, Z., Asmaz, E. 2004, "Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050", *Energy Sources*, Vol. 26(12), pp. 1157-1164.

AN ENSEMBLE INERTIA WEIGHT CALCULATION STRATEGY IN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

İbrahim Berkan AYDİLEK

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü,
ŞANLIURFA
berkanaydilek@harran.edu.tr

(Geliş/Received: 23.10.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.04.2018)

ABSTRACT: The ultimate success of particle swarm optimization depends on the velocity values of previous particles. Velocity is multiplied with inertia weight coefficient, and has a significant effect on search capability of the particle swarm optimization. When looking at previous studies that are carried out to calculate this coefficient, it is seen that inertia weight coefficient has been handled in several ways. In this article; a new ensemble inertia weight calculation strategy is proposed that uses other constant, random, linear decreasing, global local best, simulated annealing and chaotic inertia weight calculation methods. Other methods results are combined and used to make a final output decision in a proper way. In experimental tests, 30 common optimization benchmark test problems are used. Proposed ensemble strategy is proven by statistical tests and gives successful results in all optimization benchmark test problems.

Key Words: *Inertia weight, Particle swarm optimization*

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasında Bir Topluluk Atalet Ağırlığı Hesaplama Stratejisi

ÖZ: Parçacık sürüsü optimizasyonunun nihai başarısı, önceki parçacıkların hız değerlerine bağlıdır. Hız, atalet ağırlık katsayısı ile çarpılır ve parçacık sürüsü optimizasyonunun arama yeteneği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu katsayıyı hesaplamak için yapılan önceki çalışmalara bakıldığında atalet ağırlık katsayısının çeşitli şekillerde ele alındığı görülmektedir. Bu makalede; diğer sabit, rasgele, doğrusal azalan, küresel yerel en iyi, benzetimli tavlama ve kaotik atalet ağırlığı hesaplama yöntemlerini kullanılan yeni bir topluluk atalet ağırlığı hesaplama stratejisi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, diğer yöntemlerin sonuçları uygun bir şekilde birleştirilerek nihai çıktı kararı üretmek için kullanılmaktadır. Deneysel testlerde, bilinen 30 optimizasyon kıyaslama test problemi kullanılmaktadır. Önerilen topluluk stratejisi istatistiksel testlerle kanıtlanmış ve tüm optimizasyon kıyaslama test problemlerinde başarılı sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Atalet ağırlığı, Parçacık sürü optimizasyonu,*

INTRODUCTION

Ensemble decision is interpreted as making the same decision together or as acting upon majority's decision. Decision making can be a difficult task if some other alternative decisions exist. In such cases, making a final decision based on ensemble decision may be the best preference. The aim of optimization process can be defined as to find the optimum values. Metaheuristic optimization techniques are preferred instead of conventional search techniques on problems that have hard or impossible solutions in an acceptable time. Metaheuristic algorithms cannot provide to find always the best solution. But these algorithms do not leave the problem unsolved, and can provide solutions quickly. Particle swarm

optimization (PSO) algorithm mimics swarm behaviors in the nature. It imitates birds and fish that live in flocks. These animals exhibit social behaviors in together that is very apt for finding food in the nature. Particle swarm optimization algorithm was inspired from the search behaviors of these animals showing swarm behaviors. PSO is composed of swarm particles. Each particle has its own velocity, position and the personal best value. The swarm made up of particles and one of the particles is accepted as global best value. Personal and global values determine the next velocity and position of the particle thus, convergence process to the optimum solution is realized. Fast convergence may be caused the lower the sensitivity of solution, otherwise if it is to slow, time needed to reach the solution extends and may lead to some problems such as local optimum. A significant parameter that determines convergence quality and speed in PSO is called inertia weight. A number of previous studies have been done to calculate inertia coefficient in an effective way (Shi and Eberhart, 1998; Eberhart and Shi, 2001; Xin et al., 2009; Arumugam and Rao, 2006; Al-Hassan et al., 2007; Feng et al., 2008). In these studies, it was indicated that some inertia weight calculation methods have been successful rather than others in such problems. Some of these successful methods are: constant, random, linear decreasing, simulated annealing and chaotic inertia weight calculation methods. However, while these studies are suitable for such problems, nevertheless, they may not obtain good results in such other problems (Kennedy and Eberhart, 1995; Ala'raj and Abbod, 2016; Xu et al., 2016). PSO algorithm runs in a predetermined number of iteration times. At each iteration, if optimal inertia value corresponding to the best fitness value is determined, more accurate and consistent results may be obtained. However, optimization problems in real world always can change, so this parameter value can be handled in a dynamic way too (Kordestani et al., 2016). One of the advantages of PSO algorithm is that it can quickly converge to the global optimum. Easily applicable and fewer number of parameter values are to be adopted. Inertia weight parameter transmits information about the velocity and direction of the previous particle. If this value is too high, the convergence speed and search speed of the algorithm increases. If this parameter value is too low, the particles cannot transmit information about their previous velocity and direction to the next particles (Taherkhani and Safabakhsh, 2016). To assess optimization algorithm, convergence speed and success in finding global optimum are some of the main criteria. Providing balance between global and local search is important for the success of optimization algorithm (Shi and Eberhart, 2001). Some optimization algorithms try to achieve to keep this balance by use of various techniques. After a while the emergence of the standard PSO algorithm, inertia weight has been proposed (Shi and Eberhart, 1998). Higher inertia weight values lead to higher changes in velocity, particles search for new positions. At lower values, particles make updates in the local search area (Zhang et al., 2015).

LITERATURE REVIEW

Ala'raj and Abbod (Ala'raj and Abbod, 2016) develop a new combination method to increase classification accuracy. By developing a new combination rule, classifiers are combined. Thus, classifiers work together like a group or a team and share the decisions they made. Classifiers solve the same problem together by using the consensus approach. In general, the idea behind consensus approach is acting like a team cooperatively.

Xu et al. (Xu et al., 2016) propose heuristic preference relations and group decision making. In this study, a new method is developed to check and increase consistency between individual preferences and consensus among experts. A consensus criterion is developed to assess the level of consensus between experts. In this way, the level of closeness between one expert and others are determined. The experts make decisions collectively.

Bharti and Singh (Bharti and Singh, 2016) propose a selection method based on binary particle swarm optimization. Fitness based adaptive inertia weight value checks exploration and exploitation capabilities of particles in the search space. By integrating contrast and change with binary particle swarm optimization, the search capacity of algorithm is increased. The performance of grouping algorithm increases based on the properties chosen with this method. Fitness value, which changes

depending on the level of similarity between clusters and within the cluster, and inertia weight strategy which takes a dynamic value are presented. By using the fitness value of each particle, the inertia weight value of other particle is adjusted dynamically. Overall iteration fitness value is determined according to the clustering function.

Taherkhani and Safabakhsh (Taherkhani and Safabakhsh, 2016) propose an adaptive method to find inertia weight value for each particle in different dimensions. They regard particle success and the amount of replacement for each particle as feedback. It is demonstrated that the proposed model generally has optimal performance. The results clearly demonstrate that the proposed model is superior to other current models. If the best values of the particle in the last two iterations are close to each other, inertia weight shows a higher change. However, if the best particle values in the last two iterations are different, inertia weight value shows a lower change. Each particle has a unique inertia weight value and all of them are taken into consideration to adjust the general inertia weight of the particle. The advantage of this study is that it is demonstrated that successful results are obtained when inertia weight is dynamically set. However, making assessments based on the last two iterations and ignoring the general fitness value of the current iteration are considered as deficits in this study.

Pluhacek et al. (Pluhacek et al., 2013) propose a developed PSO algorithm. Algorithm uses inertia weight that decreases linearly. Three different chaos are examined by adopting an approach that generates random numbers. It is demonstrated that main PSO formula reaches success with dissipative standard map-based number generator version. Thus, early convergence problem is prevented and it is demonstrated that it is proven to have an edge over other versions. The limitation of this study is that convergence is too slow and thus needs long period of time, because of which it requires high numbers of iterations.

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

Particle swarm optimization is developed inspired from social behaviors of bird and fish swarms (Kennedy and Eberhart, 1995). In PSO, every candidate solution is named as a particle. These particles form the artificial swarm. Algorithm obtains particles' social and cognitive information and aims to find an acceptable optimum value (Çavdar, 2016). The initial population can be prepared with random position and velocity in the search space. Later on, optimization starts when particles pass on their next velocity and positions and fitness value is calculated. Fitness function differs depending on the related study (Gheisari and Meybodi, 2016). In Eq. (1) and Eq. (2), for example; i . particle's position is shown as X_i and velocity is shown as V_i . t represents actual, $t+1$ represents the next iteration values. Best value of a particle is shown as P_i and the global best particle is shown as P_g (Lim and Isa, 2014).

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1r_1(P_i(t) - X_i(t)) + c_2r_2(P_g(t) - X_i(t)) \quad (1)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (2)$$

Here, w is called as inertia weight and has an important effect upon exploration and exploitation, which form the basis of optimization. While a w with a high value in the search space increases global search capability, a w with low value improves local search (Armano and Farmani, 2016). w value has a great effect on time spent for reaching solution and on the sensitivity of solution value obtained. r_1 and r_2 are random numbers between 0 and 1. c_1 and c_2 are called as acceleration coefficient and determine acceleration amount that is applied on particle cognitive best and group social or global best (Arasomwan and Adewumi, 2013).

USED INERTIA WEIGHT STRATEGIES AND OPTIMIZATION TEST FUNCTIONS

Some of the successful inertia weight strategies used in the previous studies (Shi and Eberhart, 1998; Eberhart and Shi, 2001; Xin et al., 2009; Arumugam and Rao, 2006; Al-Hassan et al., 2007; Feng et al., 2008) are presented in Table 1 (Arasomwan and Adewumi, 2013; Maca and Pech, 2015; Nickabadi et al., 2011; Bansal et al., 2011). In the previous studies, inertia weights are calculated with constant, random or with adaptive varying approaches. Adaptive approach calculations are made according to iteration number, local or global best values. Constant method uses a constant 0.7 value. Random method takes value between 0.5 and 1. Linear decreasing, Global-local best, simulated annealing, the chaotic methods take values as given formulas in the table.

Table 1. Used inertia weight strategies

Inertia Weight	Formula of Inertia Weight	Reference
Constant	$w = 0.7$	(Shi and Eberhart, 1998)
Random	$w = 0.5 + \frac{Rand()}{2}$	(Eberhart and Shi, 2001)
Linear Decreasing	$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times k$	(Xin et al., 2009)
Global-Local Best	$w = 1.1 - \frac{gbest_i}{pbest_i}$	(Arumugam and Rao, 2006)
Simulated Annealing	$w = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) \times 0.95^{k-1}$	(Al-Hassan et al., 2007)
The Chaotic	$w = (w_1 - w_2) \times \frac{iter_{max} - iter}{iter_{max}} + w_2 \times z$ $z = 4 \times z \times (1 - z)$	(Feng et al., 2008)

Widely known and used optimization functions in experiments are given in Table 2 (Arasomwan and Adewumi, 2013; Nickabadi et al., 2011; Surjanovic and Bingham, 2013; Bansal et al., 2011; Uymaz et al., 2015). All CEC 2017 benchmark test functions' (Awad et al., 2016) global optimum values are set as 0 and variables search range is [-100, +100].

Table 2. CEC 2017 optimization test functions

Type	No.	Description
Unimodal functions	1	Shifted and Rotated Bent Cigar Function
	2	Shifted and Rotated Sum of Different Power Function
	3	Shifted and Rotated Zakharov Function
Simple Multimodal Functions	4	Shifted and Rotated Rosenbrock's Function
	5	Shifted and Rotated Rastrigin's Function
	6	Shifted and Rotated Expanded Scaffer's F6 Function
	7	Shifted and Rotated Lunacek Bi_Rastrigin Function
	8	Shifted and Rotated Non-Continuous Rastrigin's Function
	9	Shifted and Rotated Levy Function
	10	Shifted and Rotated Schwefel's Function
Hybrid functions	11	Hybrid Function 1 (N=3)
	12	Hybrid Function 2 (N=3)
	13	Hybrid Function 3 (N=3)
	14	Hybrid Function 4 (N=4)
	15	Hybrid Function 5 (N=4)
	16	Hybrid Function 6 (N=4)
	17	Hybrid Function 6 (N=5)
	18	Hybrid Function 6 (N=5)
	19	Hybrid Function 6 (N=5)
	20	Hybrid Function 6 (N=6)
Composition Functions	21	Composition Function 1 (N=3)
	22	Composition Function 2 (N=3)
	23	Composition Function 3 (N=4)
	24	Composition Function 4 (N=4)
	25	Composition Function 5 (N=5)
	26	Composition Function 6 (N=5)
	27	Composition Function 7 (N=6)
	28	Composition Function 8 (N=6)
	29	Composition Function 9 (N=3)
	30	Composition Function 10 (N=3)

PROPOSED ENSEMBLE INERTIA WEIGHT STRATEGY

Ensemble decision result obtained from individuals are combined and used successfully to make a final decision. Group decision making is an approach in which several experts on the topic come together to choose the best among suitable alternatives. Group decision making is used widely to use the minds of some experts (Xu et al., 2016). In studies like constructing decision forests (Ho, 1998) or credit score calculation, it has recently been observed that rather than more than one artificial intelligence classifier, combined classifier structures give better results (Ala'raj and Abbod, 2016). In the studies, majority voting, weighted average or accumulation which are simple rule combinations and basic components methods are mostly preferred (Ala'raj and Abbod, 2016). In combined methods, each classifier is trained independently and produce its own decisions. Later on, a final decision is obtained from combined decisions (Ala'raj and Abbod, 2016; Zang et al., 2014; Rokach, 2010). In this paper, more than one inertia weight strategies are used. Best optimal inertia weight value is formed to a group decision. In this way, final optimization result is provided more successful. At each iteration of particle swarm optimization, the new values of particles are calculated. In the proposed method, fitness values are calculated using

inertia weight divided into 'n' item sub-interval in the same iteration. 'n' is the number of the used inertia weight methods. Transferring the individual from which the best fitness function value is obtained to the following calculations is called as elitism. It is a successful and popular method to generate new generation (Whitley, 1994; Xiang et al., 2015; Lim and Isa, 2014; Liang and Leung, 2011). In this way, fitness value of the iteration is calculated using the elite inertia weight value. In Figure 1, the flowchart of proposed method is shown. During each iteration (i), n number calculations are done by each inertia weight method with particles (positions(X) and velocities(V)) that are corresponding to the best fitness and then the next iteration starts.

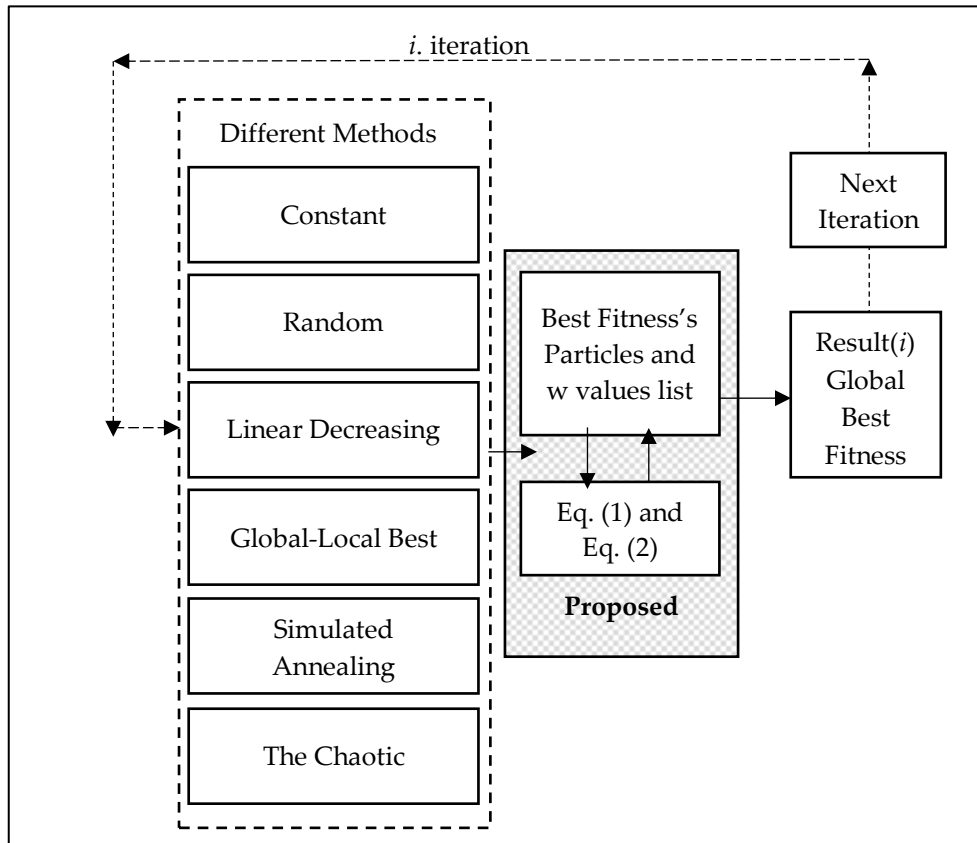


Figure 1. Flowchart of proposed ensemble inertia weight strategy

Proposed method calculates the most optimal inertia weight value within iteration. In this method, the best particle among these fitness values was used for related iteration. The deficit of suggested method is that it needed more run time compared to other methods. The success of the proposed method depends on trying and finding the most suitable inertia weight value by looking other inertia weight method values. In this way, the best possible inertia weight is searched by constricting the solution pool rapidly on the basis of iteration number. In the current methods, more constricted or random values are used. Ensemble decision is made using elitism when comparing inertia weight strategies and optimization functions. For example, suppose that, on iteration (i), linear decreasing method has best fitness value among the all other inertia weight strategies. This best method particle and also w values are extracted from strategies to in a list as follows: [0.7, 0.61, 0.8, 0.55, 0.9]. After that, there will be six calculations by Eq. (1) and Eq. (2) by use of best particles' current positions(X), velocities(V) and this w values list. Finally, calculated best fitness is accepted as final output result (i).

EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

All experimental tests run in a computer with Intel core i7-4770HQ @ 2.20GHz CPU, 16,0 GB system memory and Windows10 operation system by using Matlab2017a software. In studies, the parameter values of particle swarm optimization algorithm are as follows: variable dimension (d)= 10, personal learning coefficient (c_1) = 2, global learning coefficient (c_2) = 2, population size (swarm size) = 10, number of iterations = 1000, w_{max} = 0.9 and w_{min} = 0.4. 25 independent runs are made. As it can be seen in Table 3, proposed inertia weight strategy yielded more successful results compared to other methods on functions that are between 1 and 10. It can be inferred that most obtained results are nearly at least ten times better than the other methods. In Table 4, summary run results of functions between 11 and 20 are given. Proposed method is better than other constant, random, linear decreasing, global local best, simulated annealing and the chaotic methods in the context of mean values. And finally, on last ten functions, it can be seen in Table 5, proposed method outperforms others in the context of mean values. A more detail view of changings in fitness function based on iteration can be seen in Figure 2. In every iteration, proposed ensemble approach seeks better fitness value by use of other six inertia weight strategies w values and global best particle.

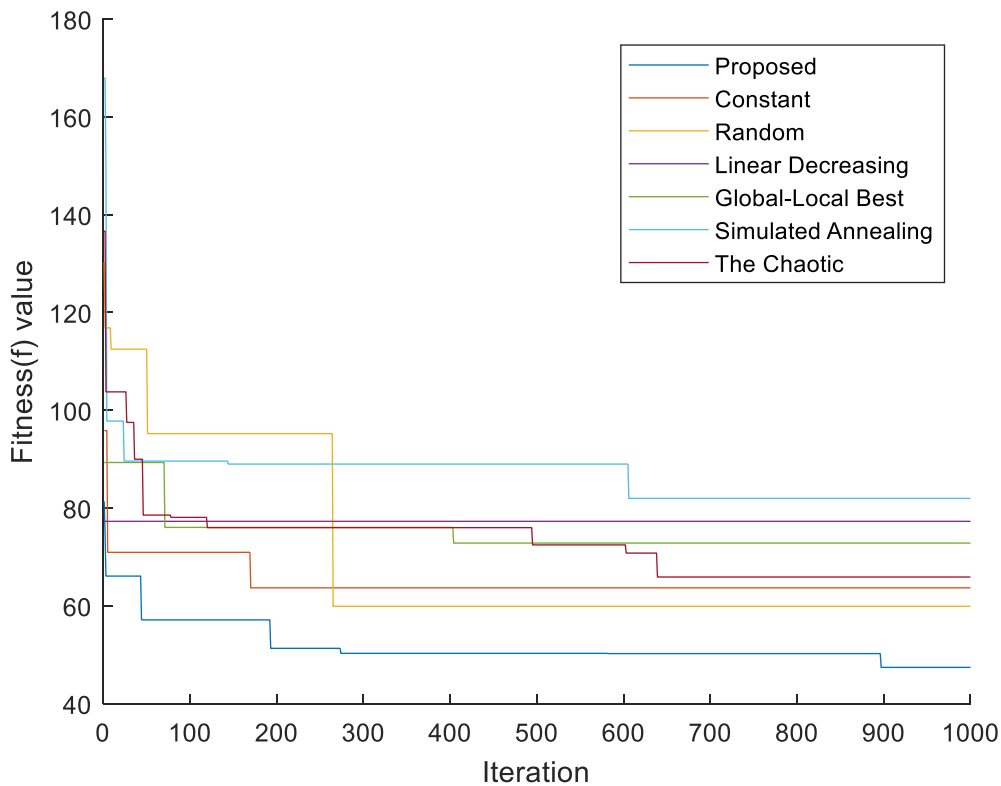


Figure 2. Iteration and fitness values

Table 3. Run results summary (F1-F10)

Fn.	Method	Constant	Random	Linear Decreasing	Global Local Best	Simulated Annealing	The Chaotic	Proposed
F1	Min.	4.879E+09	5.310E+09	7.513E+09	4.320E+09	4.810E+09	4.502E+09	2.337E+09
	Max.	2.679E+10	3.170E+10	2.834E+10	2.270E+10	2.801E+10	3.016E+10	7.636E+09
	Median	1.458E+10	1.424E+10	1.452E+10	1.522E+10	1.567E+10	1.081E+10	5.242E+09
	Mean	1.480E+10	1.577E+10	1.532E+10	1.373E+10	1.648E+10	1.196E+10	5.066E+09
	Std.	6.028E+09	6.327E+09	5.465E+09	5.698E+09	6.818E+09	5.793E+09	1.363E+09
F2	Min.	1.911E+09	9.988E+08	7.079E+09	1.205E+10	2.446E+09	5.533E+07	1.304E+08
	Max.	1.872E+14	2.846E+15	1.600E+15	4.945E+15	7.235E+14	1.418E+16	1.915E+10
	Median	8.242E+11	2.271E+11	5.686E+11	1.105E+12	3.797E+11	1.941E+11	3.388E+09
	Mean	1.184E+13	1.179E+14	6.825E+13	2.096E+14	3.913E+13	5.685E+14	4.675E+09
	Std.	3.753E+13	5.684E+14	3.193E+14	9.874E+14	1.486E+14	2.836E+15	4.592E+09
F3	Min.	1.459E+04	1.486E+04	1.094E+04	6.483E+03	1.285E+04	1.177E+04	1.064E+04
	Max.	4.459E+04	6.667E+04	5.471E+04	4.931E+04	4.495E+04	6.402E+04	2.457E+04
	Median	3.194E+04	3.224E+04	2.808E+04	2.739E+04	2.557E+04	2.820E+04	1.662E+04
	Mean	3.027E+04	3.399E+04	2.918E+04	2.811E+04	2.704E+04	2.857E+04	1.666E+04
	Std.	7.915E+03	1.206E+04	1.220E+04	9.667E+03	9.227E+03	1.249E+04	3.491E+03
F4	Min.	4.557E+02	2.887E+02	2.460E+02	3.684E+02	2.480E+02	2.284E+02	1.574E+02
	Max.	3.516E+03	4.025E+03	2.453E+03	3.795E+03	3.866E+03	3.446E+03	4.962E+02
	Median	1.114E+03	1.606E+03	1.321E+03	9.402E+02	1.057E+03	1.281E+03	2.808E+02
	Mean	1.380E+03	1.627E+03	1.288E+03	1.213E+03	1.383E+03	1.411E+03	2.943E+02
	Std.	8.562E+02	9.576E+02	6.287E+02	9.129E+02	8.768E+02	9.523E+02	8.272E+01
F5	Min.	8.029E+01	9.396E+01	8.788E+01	7.110E+01	7.968E+01	8.489E+01	5.969E+01
	Max.	1.789E+02	2.493E+02	2.027E+02	1.597E+02	2.194E+02	1.908E+02	8.641E+01
	Median	1.258E+02	1.338E+02	1.299E+02	1.138E+02	1.255E+02	1.180E+02	7.577E+01
	Mean	1.287E+02	1.418E+02	1.327E+02	1.159E+02	1.268E+02	1.229E+02	7.605E+01
	Std.	2.420E+01	3.633E+01	2.749E+01	2.595E+01	2.989E+01	2.798E+01	6.877E+00
F6	Min.	4.963E+01	5.862E+01	4.004E+01	4.313E+01	4.322E+01	4.008E+01	2.909E+01
	Max.	9.926E+01	9.713E+01	9.566E+01	1.089E+02	9.524E+01	1.061E+02	5.014E+01
	Median	7.771E+01	7.777E+01	6.531E+01	7.276E+01	6.733E+01	6.589E+01	4.314E+01
	Mean	7.571E+01	7.699E+01	6.928E+01	7.234E+01	6.814E+01	7.104E+01	4.139E+01
	Std.	1.379E+01	1.052E+01	1.494E+01	1.693E+01	1.594E+01	1.740E+01	6.046E+00
F7	Min.	1.899E+02	2.138E+02	1.737E+02	1.578E+02	1.919E+02	1.992E+02	1.474E+02
	Max.	5.302E+02	5.179E+02	5.738E+02	4.553E+02	4.530E+02	3.953E+02	2.414E+02
	Median	3.371E+02	3.132E+02	3.728E+02	3.055E+02	2.957E+02	3.184E+02	1.923E+02
	Mean	3.400E+02	3.341E+02	3.768E+02	2.986E+02	3.116E+02	3.060E+02	1.941E+02
	Std.	7.490E+01	6.959E+01	9.936E+01	9.370E+01	7.674E+01	5.435E+01	2.606E+01
F8	Min.	9.281E+01	7.289E+01	5.963E+01	6.540E+01	6.890E+01	7.692E+01	5.461E+01
	Max.	1.366E+02	1.532E+02	1.575E+02	1.484E+02	1.420E+02	1.352E+02	8.637E+01
	Median	1.138E+02	1.199E+02	1.137E+02	1.047E+02	1.071E+02	9.960E+01	7.765E+01
	Mean	1.120E+02	1.198E+02	1.107E+02	1.017E+02	1.067E+02	1.021E+02	7.553E+01
	Std.	1.183E+01	1.964E+01	1.989E+01	1.846E+01	2.048E+01	1.526E+01	8.143E+00
F9	Min.	1.393E+03	1.277E+03	1.457E+03	9.202E+02	1.083E+03	3.532E+02	3.532E+02
	Max.	4.201E+03	4.127E+03	4.588E+03	4.540E+03	3.267E+03	4.559E+03	1.636E+03
	Median	2.311E+03	2.545E+03	2.369E+03	2.287E+03	1.820E+03	2.033E+03	1.023E+03
	Mean	2.421E+03	2.531E+03	2.573E+03	2.366E+03	1.936E+03	2.066E+03	1.032E+03
	Std.	8.248E+02	7.601E+02	7.455E+02	9.141E+02	5.840E+02	1.012E+03	2.958E+02
F10	Min.	9.061E+02	1.434E+03	1.330E+03	1.221E+03	1.476E+03	1.428E+03	1.357E+03
	Max.	2.066E+03	2.026E+03	2.146E+03	2.088E+03	2.114E+03	2.191E+03	1.944E+03
	Median	1.828E+03	1.788E+03	1.806E+03	1.838E+03	1.856E+03	1.861E+03	1.671E+03
	Mean	1.750E+03	1.784E+03	1.790E+03	1.794E+03	1.874E+03	1.827E+03	1.649E+03
	Std.	2.565E+02	1.657E+02	2.464E+02	2.204E+02	1.527E+02	1.874E+02	1.166E+02

Table 4. Run results summary (F11-F20)

Fn.	Method	Constant	Random	Linear Decreasing	Global Local Best	Simulated Annealing	The Chaotic	Proposed
F11	Min.	8.648E+02	4.216E+02	3.898E+02	6.105E+02	5.605E+02	2.972E+02	1.708E+02
	Max.	8.797E+03	1.081E+04	1.171E+04	1.437E+04	1.611E+04	2.213E+04	1.612E+03
	Median	2.209E+03	1.419E+03	1.263E+03	1.837E+03	1.548E+03	1.790E+03	6.151E+02
	Mean	2.996E+03	2.446E+03	2.915E+03	2.842E+03	2.618E+03	3.996E+03	6.602E+02
	Std.	2.222E+03	2.657E+03	3.292E+03	3.062E+03	3.474E+03	5.313E+03	3.046E+02
F12	Min.	5.827E+07	3.066E+07	6.222E+07	1.973E+08	4.793E+07	7.880E+07	8.583E+06
	Max.	2.321E+09	1.809E+09	5.131E+09	1.615E+09	2.367E+09	3.497E+09	1.872E+08
	Median	3.314E+08	5.107E+08	6.179E+08	6.079E+08	5.478E+08	4.773E+08	8.519E+07
	Mean	5.168E+08	5.601E+08	7.702E+08	7.177E+08	7.459E+08	6.988E+08	9.464E+07
	Std.	5.205E+08	3.941E+08	1.023E+09	4.087E+08	6.392E+08	7.262E+08	4.341E+07
F13	Min.	1.471E+05	9.264E+04	3.795E+04	1.452E+05	4.023E+04	5.770E+04	1.701E+04
	Max.	2.300E+08	7.157E+07	2.228E+08	2.374E+08	1.570E+08	8.205E+08	1.098E+06
	Median	2.813E+06	1.597E+06	1.991E+06	4.283E+06	5.009E+06	4.875E+06	2.234E+05
	Mean	2.123E+07	4.973E+06	1.819E+07	1.942E+07	1.264E+07	4.579E+07	3.159E+05
	Std.	4.951E+07	1.404E+07	5.047E+07	4.752E+07	3.072E+07	1.639E+08	2.533E+05
F14	Min.	2.205E+02	1.761E+02	2.809E+02	2.849E+02	2.097E+02	1.008E+03	1.169E+02
	Max.	7.244E+05	8.301E+04	2.406E+04	1.358E+06	5.745E+04	9.752E+04	1.317E+03
	Median	2.812E+03	3.817E+03	4.797E+03	3.468E+03	5.152E+03	2.961E+03	4.030E+02
	Mean	3.281E+04	7.650E+03	7.613E+03	6.223E+04	9.536E+03	9.820E+03	5.194E+02
	Std.	1.442E+05	1.633E+04	7.157E+03	2.701E+05	1.257E+04	1.962E+04	3.314E+02
F15	Min.	2.102E+03	1.101E+03	2.403E+03	2.734E+03	4.957E+03	2.035E+03	2.814E+02
	Max.	5.509E+05	3.472E+05	8.124E+04	2.665E+05	2.045E+05	9.908E+04	1.150E+04
	Median	1.911E+04	1.663E+04	2.163E+04	1.599E+04	1.562E+04	2.092E+04	3.977E+03
	Mean	4.232E+04	3.902E+04	2.716E+04	3.374E+04	3.062E+04	2.713E+04	4.429E+03
	Std.	1.071E+05	6.810E+04	2.336E+04	5.225E+04	4.291E+04	2.453E+04	2.936E+03
F16	Min.	1.646E+02	2.718E+02	3.414E+02	1.559E+02	3.044E+02	1.383E+02	1.827E+02
	Max.	1.174E+03	1.081E+03	1.368E+03	1.148E+03	9.625E+02	1.025E+03	4.538E+02
	Median	6.407E+02	6.102E+02	6.832E+02	5.932E+02	5.949E+02	5.760E+02	3.015E+02
	Mean	6.571E+02	6.233E+02	6.703E+02	6.232E+02	6.351E+02	5.709E+02	3.047E+02
	Std.	2.282E+02	1.784E+02	2.417E+02	1.970E+02	1.763E+02	2.255E+02	6.981E+01
F17	Min.	1.297E+02	1.559E+02	1.795E+02	1.225E+02	1.375E+02	1.768E+02	9.090E+01
	Max.	4.530E+02	3.604E+02	3.578E+02	4.337E+02	1.094E+03	4.504E+02	2.210E+02
	Median	3.065E+02	2.826E+02	2.770E+02	2.801E+02	2.662E+02	3.069E+02	1.527E+02
	Mean	2.994E+02	2.755E+02	2.677E+02	2.620E+02	2.922E+02	2.989E+02	1.510E+02
	Std.	8.173E+01	5.706E+01	5.222E+01	8.256E+01	1.795E+02	8.063E+01	3.037E+01
F18	Min.	5.365E+05	1.603E+05	2.011E+05	1.834E+05	6.503E+05	6.935E+05	1.183E+05
	Max.	1.258E+09	8.184E+08	1.063E+09	2.559E+09	2.715E+08	1.631E+09	1.715E+06
	Median	1.049E+07	9.266E+06	1.017E+07	8.382E+07	1.257E+07	2.218E+07	4.817E+05
	Mean	1.471E+08	1.108E+08	9.324E+07	2.286E+08	5.599E+07	1.616E+08	5.769E+05
	Std.	2.990E+08	1.886E+08	2.244E+08	5.162E+08	7.622E+07	4.235E+08	4.487E+05
F19	Min.	1.813E+03	1.118E+04	5.812E+02	4.727E+03	4.098E+03	7.226E+02	6.209E+02
	Max.	4.657E+07	1.474E+08	4.375E+07	2.354E+08	5.713E+07	2.799E+06	3.069E+04
	Median	9.378E+04	2.603E+05	3.451E+05	1.021E+05	1.522E+05	1.462E+05	5.366E+03
	Mean	2.635E+06	8.183E+06	3.228E+06	1.942E+07	5.482E+06	4.554E+05	8.160E+03
	Std.	9.321E+06	2.989E+07	8.726E+06	5.658E+07	1.325E+07	6.719E+05	7.608E+03
F20	Min.	9.936E+01	1.360E+02	1.349E+02	9.265E+01	2.012E+02	1.344E+02	1.000E+02
	Max.	4.009E+02	3.691E+02	4.019E+02	4.216E+02	4.210E+02	3.654E+02	2.509E+02
	Median	2.625E+02	2.828E+02	2.620E+02	2.743E+02	3.139E+02	2.453E+02	1.857E+02
	Mean	2.728E+02	2.575E+02	2.747E+02	2.741E+02	3.140E+02	2.521E+02	1.755E+02
	Std.	7.415E+01	6.895E+01	6.747E+01	7.903E+01	5.675E+01	6.449E+01	4.539E+01

Table 5. Run results summary (F21-F30)

Fn.	Method	Constant	Random	Linear Decreasing	Global Local Best	Simulated Annealing	The Chaotic	Proposed
F21	Min.	1.973E+02	1.469E+02	1.962E+02	1.581E+02	1.387E+02	1.629E+02	1.316E+02
	Max.	3.380E+02	3.598E+02	3.813E+02	3.565E+02	4.089E+02	3.970E+02	2.572E+02
	Median	2.794E+02	2.508E+02	2.870E+02	2.837E+02	2.880E+02	2.509E+02	1.881E+02
	Mean	2.730E+02	2.637E+02	2.799E+02	2.635E+02	2.809E+02	2.639E+02	1.807E+02
	Std.	3.980E+01	5.652E+01	4.531E+01	5.351E+01	5.702E+01	5.960E+01	3.287E+01
F22	Min.	3.600E+02	3.353E+02	4.555E+02	2.984E+02	4.061E+02	4.007E+02	2.220E+02
	Max.	1.919E+03	2.084E+03	1.840E+03	1.754E+03	1.813E+03	1.906E+03	7.334E+02
	Median	1.324E+03	1.378E+03	1.295E+03	9.928E+02	1.155E+03	1.113E+03	4.854E+02
	Mean	1.273E+03	1.293E+03	1.202E+03	1.053E+03	1.203E+03	1.109E+03	5.018E+02
	Std.	4.047E+02	4.939E+02	3.619E+02	3.758E+02	4.188E+02	3.776E+02	1.316E+02
F23	Min.	4.060E+02	4.151E+02	4.250E+02	4.004E+02	3.941E+02	4.030E+02	3.610E+02
	Max.	6.757E+02	6.328E+02	5.964E+02	5.958E+02	6.417E+02	7.214E+02	3.932E+02
	Median	4.779E+02	4.694E+02	4.942E+02	4.898E+02	4.858E+02	4.756E+02	3.805E+02
	Mean	4.868E+02	4.824E+02	5.006E+02	4.835E+02	4.881E+02	4.897E+02	3.806E+02
	Std.	5.331E+01	5.744E+01	4.495E+01	4.043E+01	6.667E+01	7.042E+01	9.132E+00
F24	Min.	3.570E+02	4.675E+02	3.691E+02	3.481E+02	3.839E+02	2.141E+02	2.400E+02
	Max.	7.447E+02	6.496E+02	6.829E+02	6.326E+02	6.285E+02	6.552E+02	4.393E+02
	Median	4.865E+02	5.199E+02	4.976E+02	5.047E+02	5.316E+02	4.818E+02	3.915E+02
	Mean	5.106E+02	5.297E+02	5.046E+02	5.050E+02	5.167E+02	4.811E+02	3.655E+02
	Std.	8.322E+01	4.739E+01	7.299E+01	6.096E+01	6.267E+01	9.248E+01	5.560E+01
F25	Min.	6.846E+02	6.974E+02	5.673E+02	7.609E+02	7.032E+02	6.249E+02	5.410E+02
	Max.	4.906E+03	3.583E+03	3.319E+03	2.218E+03	2.489E+03	2.941E+03	7.684E+02
	Median	1.566E+03	1.147E+03	1.420E+03	1.276E+03	1.468E+03	1.038E+03	6.274E+02
	Mean	1.636E+03	1.308E+03	1.533E+03	1.316E+03	1.435E+03	1.275E+03	6.491E+02
	Std.	8.961E+02	6.501E+02	6.082E+02	3.969E+02	5.474E+02	6.595E+02	7.012E+01
F26	Min.	1.085E+03	1.079E+03	1.008E+03	8.084E+02	1.024E+03	1.085E+03	6.936E+02
	Max.	2.905E+03	2.667E+03	2.949E+03	2.800E+03	2.222E+03	2.494E+03	1.098E+03
	Median	1.904E+03	1.776E+03	2.034E+03	1.629E+03	1.646E+03	1.677E+03	8.428E+02
	Mean	1.861E+03	1.743E+03	1.949E+03	1.687E+03	1.666E+03	1.702E+03	8.560E+02
	Std.	4.125E+02	4.699E+02	4.992E+02	5.871E+02	2.777E+02	3.394E+02	1.212E+02
F27	Min.	4.197E+02	4.262E+02	4.367E+02	4.728E+02	4.382E+02	4.538E+02	4.128E+02
	Max.	7.652E+02	6.244E+02	7.900E+02	8.457E+02	8.760E+02	7.084E+02	4.494E+02
	Median	5.513E+02	5.250E+02	5.527E+02	6.018E+02	5.630E+02	5.514E+02	4.325E+02
	Mean	5.615E+02	5.318E+02	5.605E+02	6.128E+02	5.739E+02	5.494E+02	4.331E+02
	Std.	9.230E+01	5.623E+01	8.336E+01	9.129E+01	8.984E+01	6.074E+01	1.012E+01
F28	Min.	6.971E+02	6.648E+02	5.593E+02	4.956E+02	7.060E+02	6.818E+02	4.293E+02
	Max.	1.411E+03	1.775E+03	1.623E+03	1.316E+03	1.404E+03	1.500E+03	7.158E+02
	Median	1.081E+03	9.883E+02	1.046E+03	1.007E+03	1.016E+03	1.016E+03	6.227E+02
	Mean	1.050E+03	1.018E+03	1.022E+03	9.774E+02	1.030E+03	1.039E+03	6.245E+02
	Std.	2.148E+02	2.417E+02	2.642E+02	2.092E+02	1.778E+02	1.890E+02	6.396E+01
F29	Min.	4.879E+02	3.549E+02	4.657E+02	3.719E+02	4.480E+02	4.763E+02	3.420E+02
	Max.	1.115E+03	7.796E+02	8.846E+02	1.041E+03	1.072E+03	8.526E+02	5.219E+02
	Median	6.472E+02	6.145E+02	6.656E+02	5.964E+02	6.980E+02	6.345E+02	4.202E+02
	Mean	6.669E+02	6.090E+02	6.632E+02	6.307E+02	6.812E+02	6.594E+02	4.205E+02
	Std.	1.518E+02	1.021E+02	1.168E+02	1.596E+02	1.584E+02	1.048E+02	3.784E+01
F30	Min.	5.819E+06	1.561E+05	3.846E+06	4.777E+06	2.189E+06	2.533E+06	2.334E+05
	Max.	8.587E+07	1.429E+08	1.592E+08	5.219E+07	6.927E+07	8.866E+07	6.360E+06
	Median	1.642E+07	1.836E+07	2.089E+07	1.785E+07	2.298E+07	2.100E+07	3.109E+06
	Mean	2.527E+07	3.170E+07	3.048E+07	2.112E+07	2.623E+07	2.945E+07	2.932E+06
	Std.	2.295E+07	3.582E+07	3.578E+07	1.424E+07	1.850E+07	2.292E+07	1.566E+06

The run time of the proposed method depends on the number of the other method number and is far higher than the others. As can be seen in Figure 3, the proposed strategy has high computational time than the other methods. In a single iteration, the proposed strategy used six-different strategies and also the new particles obtained by these strategies were evaluated by fitness function. Then, the best one was selected. So, in a single iteration the proposed method used six function evaluations. The number of function evaluation (number of particles \times number of maximum iteration) is not same for the proposed method. The proposed method used six times more the number of function evaluation. This explains the difference of computational time in Figure 3 between proposed strategy and other methods.

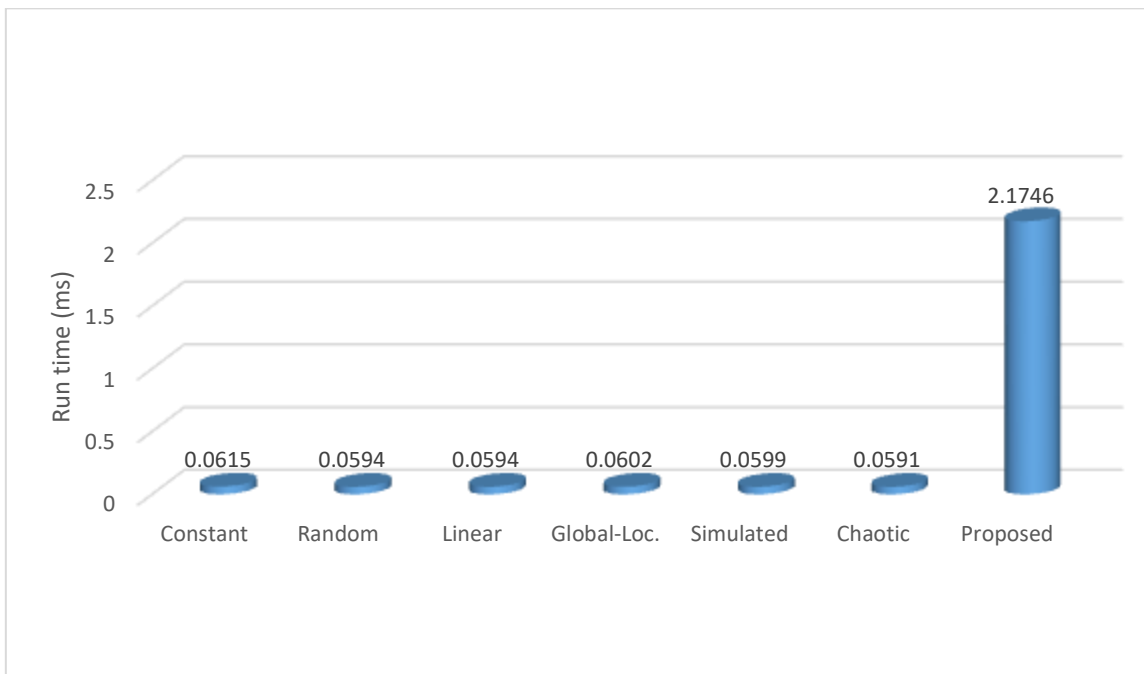


Figure 3. Inertia weight strategies run time

In Figure 4, changing of inertia weight value upon iteration is given. First constant is always 0.7. Second random method takes values are between 0.5 and 1. Linear decreasing method starts from 0.9 and decreases to 0.4 by iterations. Rest methods also take values by use of global, personal best and iteration values. Proposed method uses one of the each other w value upon an iteration and can be tracked on last chart. When the general results are examined, it is seen that ultimate accomplishment is based on the convergence in the first iterations. Therefore, it is seen that initial inertia weight value the non-constant method which changes depending on iteration and which can change in wide range of values was superior compared to the other methods. In Figure 4, it is seen that proposed method prevents the production of uniform inertia weight value by scanning a larger area in iterations. All values in the other methods are tried respectively and the relevant iteration calculations are made using the particle that corresponds to the best fitness value. It is concluded that lower values are preferred as convergence to the optimal value of the function is attained at higher iteration values.

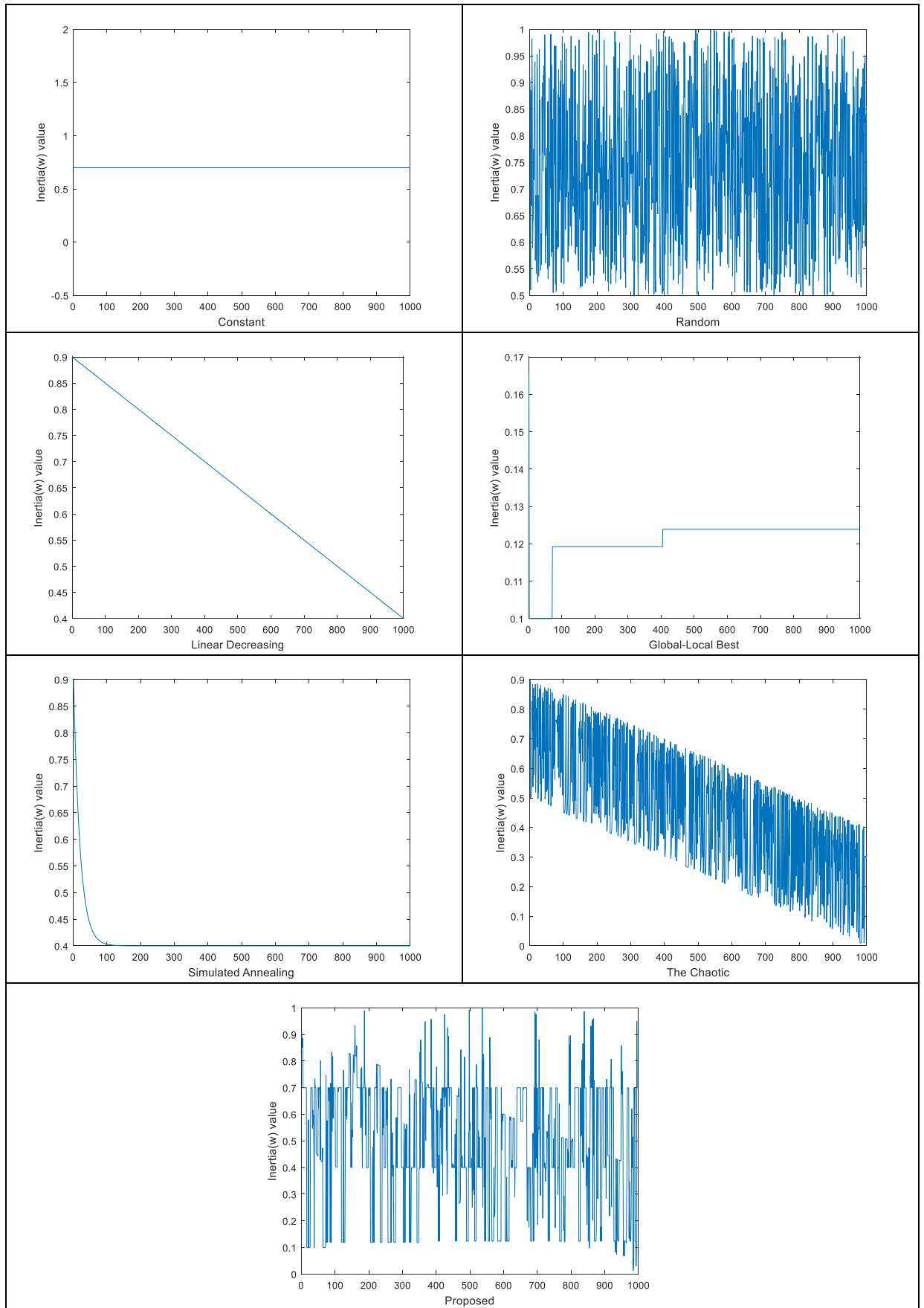


Figure 4. Iteration and inertia weight values

STATISTICAL TESTS

In order to see obtained results in performance are statistically significant or not, Wilcoxon rank sum test is employed. In statistical test 5% significance level (p -value=0.05) is adopted. If a lower value than this p -value is indicates that the two compared methods are statistically different. In Table 6, proposed method is compared with other methods one by one. In the obtained results is showed that all p -values are lower than 0.05 and proposed method is statistically significant different than the others.

Table 6. Wilcoxon rank sum test results

Fn.	Proposed/ Constant	Proposed/ Random	Proposed/ Linear Dec.	Proposed/ Global-Loc.	Proposed/ Simulated	Proposed/ The Chaotic
F1	2.297E-08	4.638E-09	1.597E-09	5.559E-07	1.167E-08	4.102E-07
F2	1.836E-08	2.924E-06	2.898E-09	1.597E-09	2.870E-08	6.891E-08
F3	1.993E-07	4.541E-07	4.609E-05	1.814E-06	1.652E-05	1.128E-04
F4	2.898E-09	7.380E-09	2.722E-07	4.126E-09	1.465E-08	3.017E-07
F5	4.122E-09	1.414E-09	1.414E-09	6.180E-08	4.122E-09	2.284E-09
F6	1.597E-09	1.416E-09	9.513E-08	1.836E-08	5.548E-08	4.975E-08
F7	1.167E-08	2.898E-09	2.297E-08	7.552E-05	3.996E-08	2.297E-08
F8	1.416E-09	1.308E-08	1.455E-07	3.344E-07	6.147E-07	1.640E-08
F9	2.572E-09	3.259E-09	1.799E-09	5.544E-08	6.886E-08	1.875E-04
F10	1.367E-03	1.784E-03	2.204E-02	1.115E-03	1.355E-06	3.566E-04
F11	5.212E-09	1.385E-05	3.293E-05	4.541E-07	1.268E-05	4.240E-05
F12	2.454E-07	4.460E-08	8.294E-07	1.416E-09	9.513E-08	2.054E-08
F13	1.115E-06	6.795E-07	5.910E-05	2.297E-08	1.059E-07	6.147E-07
F14	1.115E-06	4.102E-07	1.309E-07	1.230E-06	1.309E-07	2.029E-09
F15	8.294E-07	4.670E-06	1.230E-06	9.513E-08	4.460E-08	1.997E-06
F16	2.454E-07	2.870E-08	2.297E-08	4.460E-08	1.465E-08	1.513E-05
F17	4.460E-08	9.288E-09	6.574E-09	5.618E-06	1.177E-07	6.574E-09
F18	1.167E-08	3.206E-08	2.454E-07	5.559E-07	4.638E-09	3.669E-09
F19	3.994E-08	8.274E-09	3.203E-08	2.211E-07	1.177E-07	6.143E-07
F20	5.123E-06	8.190E-05	1.647E-06	1.160E-05	5.855E-09	6.415E-05
F21	2.870E-08	5.618E-06	1.640E-08	3.213E-06	3.344E-07	8.294E-07
F22	3.994E-08	1.229E-06	2.566E-08	7.504E-07	2.867E-08	2.720E-07
F23	1.416E-09	1.416E-09	1.416E-09	1.416E-09	1.416E-09	1.416E-09
F24	9.280E-09	1.414E-09	1.464E-08	1.464E-08	3.203E-08	1.115E-06
F25	3.256E-09	1.040E-08	2.293E-08	1.797E-09	2.893E-09	2.865E-08
F26	1.800E-09	2.286E-09	1.800E-09	1.309E-07	1.800E-09	1.800E-09
F27	4.704E-08	1.307E-08	4.122E-09	1.414E-09	4.122E-09	1.414E-09
F28	2.574E-09	5.855E-09	1.059E-07	2.870E-08	1.800E-09	2.286E-09
F29	2.284E-09	4.457E-08	2.896E-09	2.211E-07	4.634E-09	2.027E-09
F30	1.597E-09	6.184E-08	1.167E-08	4.126E-09	1.465E-08	9.288E-09

CONCLUSIONS

In this paper, a new ensemble inertia weight strategy is designed by the use of other successful previous inertia weight strategies. In an optimization iteration, different methods calculate their fitness. After, this best fitness valued methods' particle is utilized by all inertia weight strategies. Thus, obtained best

fitness value is accepted as final output value of this iteration. In order to see performances of the proposed method, experiments are done. In experiments CEC 2017 that has 30 benchmark test functions are used. Independent 25 runs are made with all functions. Proposed method outperforms all other methods in all 30 functions and Wilcoxon rank sum test is proven that differences in performance are statistically significant.

REFERENCES

- Ala'raj, M., Abbod, M.F., 2016, "Classifiers Consensus System Approach for Credit Scoring", *Knowledge-Based Systems*, Vol. 104, pp. 89-105, doi:10.1016/j.knosys.2016.04.013
- Al-Hassan, W., Fayek, M.B., Shaheen, S.I., "Psoa: An Optimized Particle Swarm Technique for Solving the Urban Planning Problem", *In Computer Engineering and Systems, The 2006 International Conference on*, Cairo, Egypt, pp. 401–405 5-7 Nov. 2006, IEEE, 2007.
- Arasomwan, M.A., Adewumi, A.O., 2013, "On the Performance of Linear Decreasing Inertia Weight Particle Swarm Optimization for Global Optimization", *The Scientific World Journal*. 2013.
- Armano, G., Farmani, M.R., 2016, "Multiobjective Clustering Analysis Using Particle Swarm Optimization", *Expert Systems with Applications*, Vol. 55, pp. 184–193, doi:10.1016/j.eswa.2016.02.009
- Arumugam, M.S., Rao, M.V.C., 2006, "On the Performance of the Particle Swarm Optimization Algorithm with Various Inertia Weight Variants for Computing Optimal Control of a Class of Hybrid Systems", *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Awad, N. H., Ali, M. Z., Liang, J. J., Qu, B. Y., Suganthan P. N., *Problem Definitions and Evaluation Criteria for the CEC 2017 Special Session and Competition on Single Objective Bound Constrained Real-Parameter Numerical Optimization*, Technical Report, Nanyang Technological University, Singapore, November 2016.
- Bansal, J.C., Singh, P.K., Saraswat, M., Verma, A., Jadon, S.S., Abraham, A., 2011, "Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization", *In: Proceedings of Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC-2011)*, Salamanca, Spain, pp 633–640, 19-21 October. 2011.
- Bharti, K.K., Singh, P.K., 2016, "Opposition Chaotic Fitness Mutation Based Adaptive Inertia Weight BPSO for Feature Selection in Text Clustering", *Applied Soft Computing*, Vol. 43, pp. 20-34.
- Çavdar, T., 2016, "PSO Tuned ANFIS Equalizer Based on Fuzzy C-means Clustering Algorithm", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 70(6), pp. 799–807, doi:10.1016/j.aeue.2016.03.006.
- Eberhart, R.C., Shi, Y., "Tracking and Optimizing Dynamic Systems with Particle Swarms", *In Evolutionary Computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on*, Seoul, South Korea, Vol. 1, pp. 94–100, 27-30 May 2001.
- Feng, Y., Teng, G.F., Wang, A.X., Yao, Y.M., "Chaotic Inertia Weight in Particle Swarm Optimization", *In Innovative Computing, Information and Control*, Kumamoto, Japan, 2007. ICICIC'07. Second International Conference on, page 475, 5-7 September 2007. IEEE, 2008.
- Gheisari, S., Meybodi, M.R., 2016, "BNC-PSO: Structure Learning of Bayesian Networks by Particle Swarm Optimization", *Inform Sciences*, Vol. 348, pp. 272-89.
- Ho, Tin Kam, 1998, "The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20 (8), pp. 832–844. doi:10.1109/34.709601
- Kennedy, J., Eberhart, R., "Particle Swarm Optimization", *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw.*, 4 (1995), pp. 1942–1948.
- Kordestani, J.K., Rezvanian, A., Meybodi, M.R., 2016, "An Efficient Oscillating Inertia Weight of Particle Swarm Optimisation for Tracking Optima in Dynamic Environments", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 2016, Vol. 28(1-2), pp.137-49.

- Liang, Y., Leung, K.S., 2011, "Genetic Algorithm with Adaptive Elitist-Population Strategies for Multimodal Function Optimization", *Applied Soft Computing*, Vol. 11(2), pp. 2017-34.
- Lim, W.H., Isa, N.A.M., 2014, "An Adaptive two-layer Particle Swarm Optimization with Elitist Learning Strategy", *Information Sciences*, Vol. 273, pp. 49-72.
- Maca, P., Pech, P., 2015, "The Inertia Weight Updating Strategies in Particle Swarm Optimisation Based on the Beta Distribution", *Mathematical Problems in Engineering*.
- Nickabadi, A., Ebadzadeh, M.M., Safabakhsh, R., 2011, "A Novel Particle Swarm Optimization Algorithm with Adaptive Inertia Weight" *Applied Soft Computing*, Vol. 11(4), pp.3658-70.
- Pluhacek, M., Senkerik, R., Davendra, D., Oplatkova, Z.K., Zelinka, I., 2013, "On the Behavior and Performance of Chaos Driven PSO Algorithm with Inertia Weight", *Computers & Mathematics with Applications*, Vol. 66(2), pp.122-34.
- Rokach, L., 2010, "Ensemble-based Classifiers", *Artificial Intelligence Review*, Vol. 33 (1-2), pp.1-39.
- Shi, Y., Eberhart, R., "A Modified Particle Swarm Optimizer", *In Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on*, Anchorage, AK, USA, pp. 69-73, 4-9 May 1998.
- Shi, Y.H., Eberhart, R.C., "Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization", *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Seoul Korea, Vol. 1, pp. 101-106, 27-30 May 2001.
- Surjanovic, S., Bingham, D., 2013, *Virtual Library of Simulation Experiments: Test Functions and Datasets*, Retrieved May 13, 2016, from <http://www.sfu.ca/~ssurjano>.
- Taherkhani, M., Safabakhsh, R., 2016, "A Novel Stability-Based Adaptive Inertia Weight for Particle Swarm Optimization", *Applied Soft Computing*, Vol. 38, pp. 281-95.
- Uymaz, S.A., Tezel, G., Yel, E., 2015, "Artificial Algae Algorithm (AAA) for Nonlinear Global Optimization", *Applied Soft Computing*, Vol. 31, pp. 153-71.
- Whitley, D., 1994, "A Genetic Algorithm Tutorial", *Statistics and Computing*, Vol. 4, pp. 65-85.
- Xiang, Y., Zhou, Y.R., Liu, H.L., 2015, "An Elitism Based Multi-Objective Artificial Bee Colony Algorithm", *European Journal of Operational Research*, Vol. 245(1), pp. 168-93.
- Xin, J., Chen, G., Hai, Y., "A Particle Swarm Optimizer with Multistage Linearly-Decreasing Inertia Weight", *In Computational Sciences and Optimization, 2009, CSO 2009, International Joint Conference on*, Sanya, Hainan, China, Vol. 1, pp. 505-508, 24-26 April 2009.
- Xu, G.L., Wan, S.P., Wang, F., Dong, J.Y., Zeng, Y.F., 2016, "Mathematical Programming Methods for Consistency and Consensus in Group Decision Making with Intuitionistic Fuzzy Preference Relations", *Knowledge-Based Systems*, Vol. 98, pp.30-43.
- Zang, W., Zhang, P., Zhou, C., Guo, L., 2014, "Comparative Study Between Incremental and Ensemble Learning on Data Streams: Case Study", *Journal of Big Data*, Vol. 1 (1), pp.1-16.
- Zhang, L.M., Tang, Y.G., Hua, C.C., Guan, X.P., 2015, "A New Particle Swarm Optimization Algorithm with Adaptive Inertia Weight based on Bayesian Techniques", *Applied Soft Computing*, Vol. 28, pp. 138-49.

GÜVENİLİR HABERLEŞMEDE AÇIK KAPALI KAOTİK ANAHTARLAMA SİSTEMİNİN FPGA KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

¹Enis GÜNAY, ²Kenan ALTUN

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ

²Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, SİVAS

¹egunay@erciyes.edu.tr, ²kaltun@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 01.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 05.04.2018)

ÖZ: Bu çalışmada kaotik tabanlı sayısal haberleşme örneği olan Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama (AKKA) (Chaotic On Off Keying-COOK) haberleşme sisteminin bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri(Field Programming Gate Array-FPGA) kullanılarak deneysel uygulaması incelenmiştir. Ayrıca çalışmada Hücrel Sinir Ağı (HSA) (Cellular Neural Network –CNN) tabanlı bir kaos üretici ve Sprott kaos üretici kullanılarak AKKA haberleşme sisteminin BER (bit error rate - BER) ve SNR (signal to noise ratio - SNR) karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bit hata oranı, Hücrel sinir ağları, Kaotik açık kapalı anahtarlama

FPGA Implementation of Chaotic On-Off Keying for Secure Communication

ABSTRACT: In this study, one of the example of the Chaotic based digital communication which is Chaotic On Off Keying-COOK is simulated by using computer. In addition to this, by using Field Programming Gate Array-FPGA experimental application is done. Also, in the scope of the study, BER (bit error rate - BER) and SNR (signal to noise ratio - SNR) comparison of COOK communication system is done by using Cellular Neural Network –CNN and Sprott based chaos generator.

Key Words: Bit error rate, Cellular neural network, Chaotic on-off keying

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dar bantlı haberleşme sistemlerinde bilgi sinyalinin geniş bantlı bir taşıyıcı işaret tarafından modüle edilmesi, bilgi sinyalinin bant genişliğinde bir artışa neden olmakla birlikte, güç spektral yoğunluğunda ise azalmaya neden olmaktadır. BER performansı etkilenmeden yaşanan bu güç spektral yoğunluğundaki azalma, bilgi sinyalinin iletim hattı gürültüsü içerisinde saklanılabilir hale getirir ve istenmeyen kullanıcılar tarafından bilgi sinyalinin fark edilmesinin zorlaştırmaktadır (Tam ve diğ., 2006).

Yayıllı spektrum haberleşme sistemlerinde bilgi iletimi esnasında bilgi sinyalinin kullandığı bant genişliğinden daha fazlasını kullanarak, alıcı devrelerde daha düşük sinyal gürültü oranı elde edilmesini sağlar. Diğer taraftan bant genişliğindeki bu yayılma kesişim (interception) oranını azaltır. Sinyal bozucu (jamming) uygulamalara karşı dirençlilik sağlarken çoklu-erişim kapasitesi ve yine çoklu yön koruma gibi özellikleriyle yayıllı spektrum haberleşme yöntemleri son yıllarda artan bir ilgiye sahip olmaktadır (Lau ve Tse, 2003).

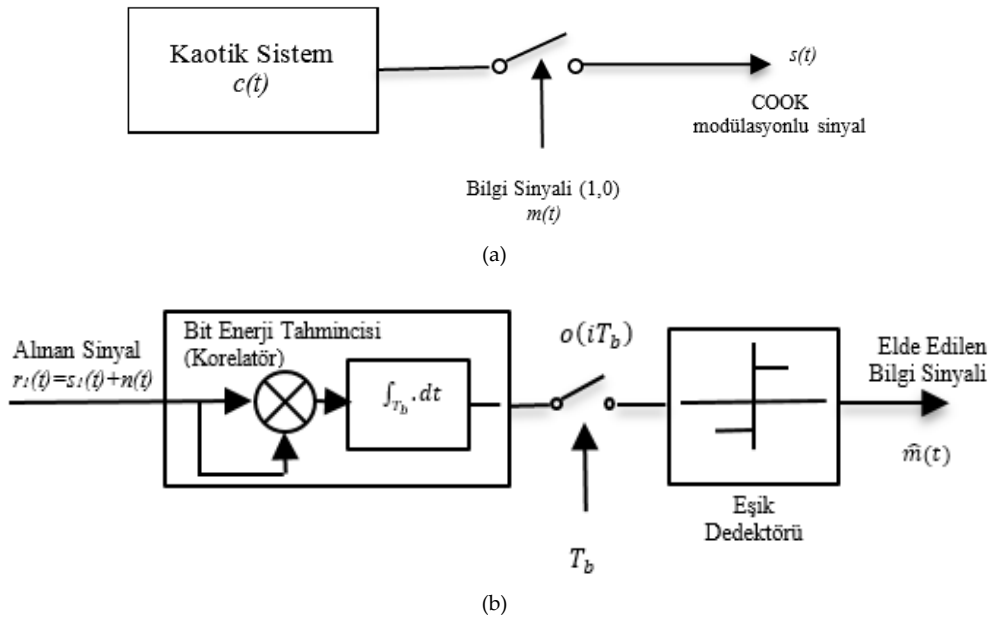
Buna ek olarak kaos tabanlı işaret üreteçleri kullanılarak gerçekleştirilen dar bantlı haberleşme sistemleri geleneksel olarak bilinen yayıllı spektrum haberleşme sistemlerine göre daha avantajlıdır. Bu

üreteç devrelerindeki kaotik devre yapılarının basitliği, ucuzluğu, kaotik sinyalin başlangıç değerlerine bağlı olarak tahmin edilememesi ve periyodik olmayan yapısı, sayısal bilgi sinyallerinin kolaylıkla saklanmasına katkı sağlamaktadır (Stavroulakis, 2006).

Kaotik haberleşme sistemlerinin senkronize olabileceklerini gösteren Pecora-Carroll'un 1990'da yaptıkları çalışma, kaotik işaretlerin yayılı spektrum (spread spectrum) haberleşme sistemlerinde kullanılmasının önünü açmıştır (Pecora ve Carroll, 1990). Bu çalışmayla birlikte, kaotik sistemlerin sürekli senkronize olmasına gerek duyulan analog tabanlı kaotik modülasyon ve kaotik maskeleyen sistemleri ile anlık kaotik senkronizasyon kullanan sayısal modülasyon tabanlı kaos anahtarlamalı haberleşme teknikleri geliştirilmiştir. Böylelikle kaos tabanlı yayılı spektrum haberleşme sistemleri, kaotik haberleşme yöntemleri arasına girmiştir. Kaos kaymalı anahtarlama (chaos shift keying - CSK) (Dedieu ve diğ., 1993), açık kapalı kaotik anahtarlama (chaotic on off keying - COOK) (Abdullah ve Valenzuela, 2011), diferansiyel kaos kaydırmalı anahtarlama - DKKA (Differential Chaos Shift Keying - DCSK) (Kolumban ve Kennedy, 1997; Majeed, 2014), kaudratür kaos kaydırmalı anahtarlama (quadrature chaos shift keying -QCSK) (Galias ve Maggio, 2001) bu tekniklerden bazıları göstermektedir. Bu çalışmada incelenecek sayısal haberleşme metodu olan açık kapalı kaotik anahtarlama (AKKA) ilk olarak Kolumban tarafından önerilmiş, yukarıda bahsi geçen sayısal işaret işlemeye yönelik kaotik haberleşme yöntemleri içerisinde, karmaşıklığı daha az ve gürültü bağıışıklığı iyi olan bir haberleşme metodu olarak ortaya çıkmıştır (Tam ve diğ., 2007).

AKKA sistemi DKKA sisteminin sadece bir kaotik işaretini kullanan kaos tabanlı sayısal modülasyon tekniğidir. Şekil 1'de bir AKKA haberleşme sistemine ait verici ve alıcı devreleri blok olarak gösterilmektedir. Bu haberleşme sistemi ile sayısal olarak iletilmek istenen bilgi sinyali S_i geniş bir frekans bandına, kaotik bir taşıyıcı sinyal kullanılarak gönderilmektedir. AKKA sayısal modülasyon tekniğinde iletim kanalında iletilecek modüleli sinyali iletilecek bilgi sinyalinin bit değerine göre belirlenir. Bilgi sinyali anahtarlama anında "1" bilgisini içeriyorsa kaotik üreticinin ürettiği sinyal, "0" bilgisini içeriyorsa alıcıya sıfır bilgisi gönderilir.

AKKA haberleşme sisteminin verici devresinden iletilen modüleli sinyal $s(t)$ iletim kanalından alıcı devredeki demodülatöre iletilir. Demodülatör devresinde iletim kanalında modüleli sinyale eklenen gürültü $n(t)$ ile birlikte toplanır ve $r(t)$ kendisi ile çarpılarak integrali alınır (korelatör birimi) ve eşik dedektörüne iletilir. Korelasyon sonucu elde edilen sinyal eşik dedektörüne gelir ve burada belirlenen eşik seviyesine göre bilgi sinyali elde edilir (Tam ve diğ., 2007; Abdullah ve Valenzuela, 2012).



Şekil 1. a) AKKA haberleşme sisteminin verici blok şeması, b) AKKA haberleşme sisteminin alıcı blok şeması (Kılıç ve diğ., 2004; Günay, 2010).

Figure 1. a) Transmitter block diagram of COOK communication system, b) Receiver block diagram of COOK communication system (Kılıç et al., 2004; Günay, 2010).

$$s(t) = \begin{cases} c(t), & 1 \text{ bilgisi için} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi için} \end{cases} \quad (1)$$

AKKA haberleşme sisteminde verici devrede üretilen kaotik sinyal, anahtarlama süresince (T_b) bilgi sinyali ile korelasyonu sağlanır.

$$\begin{aligned} o(iT_b) &= \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} r^2(t) dt = \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} [s(t) + n(t)]^2 dt \\ &= \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s^2(t) dt + 2 \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s(t) \cdot n(t) dt + \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} n^2(t) dt \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem (2)'de iletim hattı boyunca iletilen sinyale gürültü eklenmiş, AKKA haberleşme sistemine ait verici devre çıkışı matematiksel ifadesi görülmektedir. İletilen bu sinyal alıcı devre girişinde kendisi ile korele edilerek denklem (3)'de de görüldüğü üzere bir eşik dedektöründen geçirilmektedir.

$$o(iT_b) = \begin{cases} \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} c^2(t) dt, & 1 \text{ bilgisi} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi} \end{cases} \quad (3)$$

Alıcı devrede bulunan integratör çıkışında elde edilen bilgi sinyali içerisinde bulunan her bir sembol, anahtarlama T_b süresi boyunca sıfır eşik seviyesine sahip bir detektöre uygulanmaktadır. Dedektörde örneklenen işaret eşik seviyesinden büyükse çıkış +1 olmakta, değilse sıfır olmaktadır. Bu karar yapısı seçilen eşik değerine bağlıdır (Albassam ve Sumesh, 2015; Çiçek ve diğ., 2015; Taoufik ve diğ., 2010).

KAOTİK ÜRETEÇLERİN NÜMERİK ANALİZİ VE BENZETİMİ (NUMERICAL ANALYSIS AND SIMULATION OF CHAOTIC GENERATORS)

AKKA haberleşme sisteminde kullanılacak olan kaos üretici ise bölgesel yapıdaki hücre (cell) adı verilen nöronların oluşturduğu karmaşık davranışlara sahip dinamik bir sistem olarak tanımlanan Hücreli Sinir Ağları (HSA) tabanlıdır (Chua ve Yang, 1988). HSA'nın kullanım alanları içerisinde kaotik işaret işleme ve görüntü işleme konuları sıklıkla yer almaktadır (Chua ve diğ., 1993; Chua, 1998). HSA kullanılarak kaotik işaretlerin yeniden modellenmesi amacıyla literatürde Durum Kontrollü HSA (DK-HSA) yapıları önerilmiştir (Arena ve diğ., 1995). Genelleştirilmiş hücre modelinin boyutsuz, doğrusal olmayan durum denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + G_o + G_s + i_j \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde x_j durum değişkenini (state control), a_j sabit parametreyi, i_j eşik değerini (threshold) gösterirken, j ise hücre indeksini göstermektedir. G_o ve G_s diğer yapıların çıkış ve durum değişkeni parametrelerini ifade etmektedir. HSA yapısının çıkış fonksiyonu olan y_j denklem (5) ile tanımlanmaktadır.

$$y_j = \frac{1}{2} (|x_j + 1| - |x_j - 1|) \quad (5)$$

DK-HSA durum denklemleri ilk olarak Arena tarafından Chua devresinin modellenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir (Arena ve diğ., 1995). Müteakip çalışmalarda birçok kaotik işaret

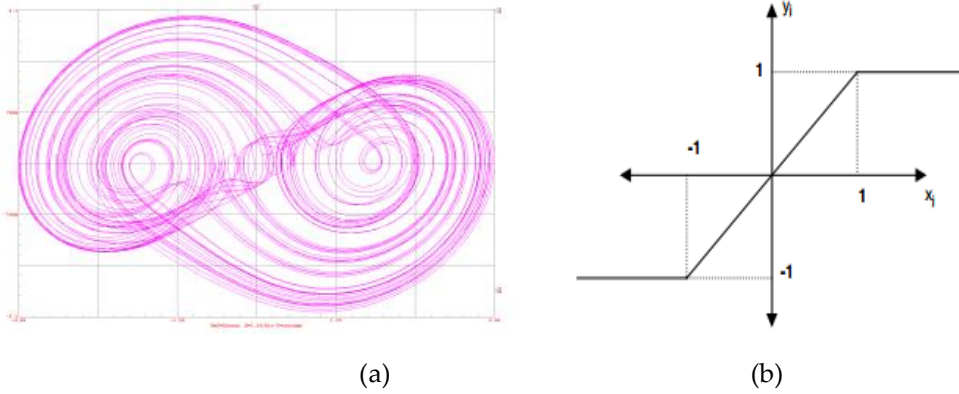
üreticini DK-HSA kullanarak modellemenin mümkün olacağı ortaya konulmuştur (Kılıç ve diğ., 2004; Günay,2012). DK-HSA tabanlı kaotik üreteçler, RC-tabanlı olmaları bakımından diğer kaotik üreteçlere nazaran tümleştirmeye daha uygun yapıdadırlar (Kılıç ve diğ.,2004; Günay,2010).

DK-HSA'nın genelleştirilmiş denklemleri denklem (4) ve (5)'de verilmişti, buradan yola çıkılarak elde edilen kaotik sinyal üreticisine ait dinamik sistemler denklem (6)'da verilmektedir (Chua,1998).

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= -x_1 + c_{11}x_1 + c_{12}x_2 \\
 \dot{x}_2 &= -x_2 + c_{22}x_2 + c_{23}x_3 \\
 \dot{x}_3 &= -x_3 + c_{31}x_1 + c_{32}x_2 + c_{33}x_3 + c_{31}y_1 \\
 \dot{y}_1 &= \frac{1}{2}(|x_1 + 1| - |x_1 - 1|)
 \end{aligned} \tag{6}$$

$c_{11}=c_{12}=c_{22}=c_{23}=1, c_{31}=-0.5, c_{32}=-0.4, c_{33}=0.5, c_{31}=1$

DK-HSA yapı kullanılarak elde edilen yeni kaotik yapıya ait kaotik işaretin x_1 - x_2 dinamikleri Şekil 2(a)'da verilirken, kaos sinyal üreticisine ait çıkış karakteristiği Şekil 2(b)'de verilmektedir. Denklem (6)'da verilen DK-HSA tabanlı kaos üreticisi kullanılarak sürekli senkronizasyon gerektiren kaotik yapı ve analog tabanlı devrelerde kaotik maskeleye de kullanılmıştır (Arena ve diğ.,1995).



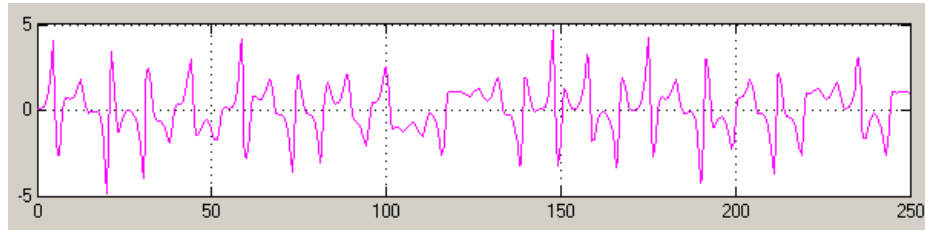
Şekil 2. DK-HSA tabanlı kaotik üreticinin:(a) x_1 - x_2 düzlemine ait kaotik çekeri, (b) $x(t)$ - $y(t)$ çıkış fonksiyonu.

Figure 2. The chaotic generator of the SC-CNN based: (a) the chaotic attractor of the x_1 - x_2 plane, (b) the $x(t)$ - $y(t)$ output function.

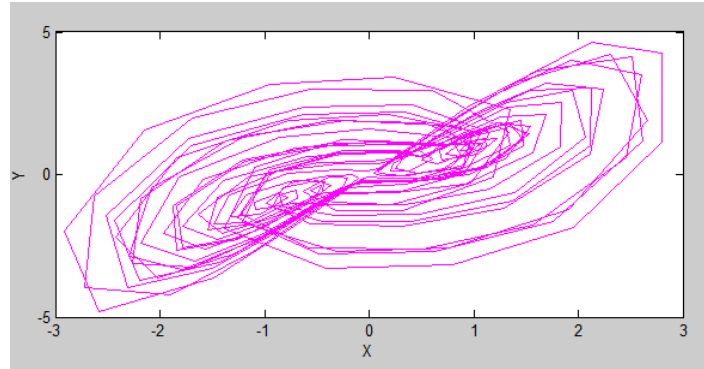
Diğer taraftan Sprott_94_B kaos üreticisi, kaotik işaret üretimine yönelik çalışmalar içerisinde basit yapısı ve zengin kaotik davranışları nedeniyle dikkat çekmektedir (Sprott, 1994).

Denklem (7)'de Sprott_94_B sistemine ait boyutsuz durum denklemleri görülmektedir.

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= y \cdot z \\
 \frac{dy}{dt} &= x - y \\
 \frac{dz}{dt} &= 1 - x \cdot y
 \end{aligned} \tag{7}$$



(a)



(b)

Şekil 3. (a) Sprott_94_B kaotik üreticinin x dinamiği. (b) x-y düzleminde gözlenen kaotik çeker.

Figure 3. (a) x dynamics of the Sprott 94 B chaotic generator (b) The chaotic attractor observed in the x-y plane.

Denklem (7)'de verilen Sprott_94_B sisteminin, doğrusal olmayan karakteristiklerini kullanarak meydana getirdiği kaotik x dinamiğinin zamana göre davranışı ve sistemin x-y faz uzayında görülen kaotik çeker yapısı Şekil 3 (a) ve (b) sırasıyla gösterilmektedir.

Bütün bunların yanında literatürde DK-HSA kaotik üreticilerinin kullanıldığı sürekli senkronizasyon örnekleri yer alırken (Yiwei ve diğ., 2008), sayısal bilgi iletimi konusunda bir uygulama örneğine rastlanılmamıştır. Bu çalışmayla, AKKA haberleşme sisteminin BER-SNR performans analizi, DK-HSA tabanlı kaos üretici ve Sprott_94_B kaos üretici açısından karşılaştırmalı olarak FPGA kullanılarak yapılmıştır.

KAOTİK ÜRETEÇLERİN FPGA GERÇEKLEŞTİRİMİ (FPGA IMPLEMENTATION OF CHAOTIC GENERATORS)

Kaos sinyal üreticileri kaotik haberleşme sistemlerinde kullanılan en temel yapıdır. Kaotik sinyaller donanımsal açıdan sayısal ve analog tabanlı devreler olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilebilirler. Analog devre tabanlı kaos üreticilerindeki parametrelerin elde edilmesindeki zorluklar kaotik haberleşmede sayısal tabanlı kaos yapılarının kullanımının önünü açmıştır.

Literatürde sayısal devre tabanlı kaotik üreticiler sayısal işaret işlemciler (Digital Signal Processing-DSP), uygulamaya özel tümleşik devreler (Application Specific Integrated Circuits-ASIC) ve FPGA gibi yapılar kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Kharel ve diğ., 2010; Yiwei ve diğ., 2008; Azzaz ve diğ., 2012).

Bu yapılar arasında ASIC tabanlı kaotik üreticiler yüksek performanslarına karşılık ilk tasarım maliyetleri oldukça yüksektir ve esnek bir tasarım yapısına sahip değildirler. Nitekim tasarlanan devre yapılarında yapılması düşünülen bir değişiklik maliyetlerin artmasına ve yaygın kullanımının kısıtlanmasına neden olmaktadır.

DSP çipleri, işlemleri sıralı (sequential) olarak gerçekleştirdiğinden çalışma frekansları oldukça düşüktür. Diğer taraftan kaotik sistemlerin en az iki veya üç diferansiyel denklemden oluştuğu düşünüldüğünde bu işlemlerin hesaplanması uzun zaman almaktadır.

FPGA tabanlı devre yapılarında ise FPGA çipleri paralel işlem yapabildikleri için yüksek çalışma frekansları elde edilebilmektedir. Yüksek frekanslarda çalışma ise yayılı spektrum haberleşme

sistemlerinde bilgi sinyalinin arka planda gizlenmesini kolaylaştırmaktadır (Günay ve Altun, 2016). FPGA platformları sayısal tabanlı olmaları, düşük maliyetleri, yüksek frekansta işlem yapabilme kapasiteleri ve tekrar programlanabilme özellikleri sayesinde diğer sayısal tabanlı kaos üreteçleri arasında ön plana çıkmaktadırlar (Günay ve Altun, 2016).

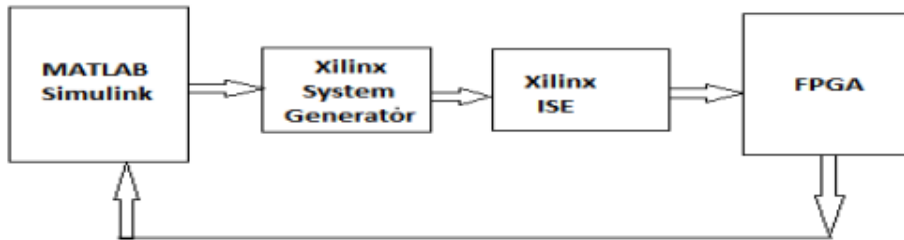
Bu çalışmada kullanılan kaotik işaret üreteçleri Xilinx System Generator kullanılarak Şekil 4'de gösterildiği gibi deneysel uygulaması hazırlanmıştır. Bu aşamada Denklem (6) ile elde edilen dinamik yapı oluşturularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Xilinx Atlys Spartan-6 Geliştirme Kartı

Figure 4. Xilinx Atlys Spartan-6 Development Card

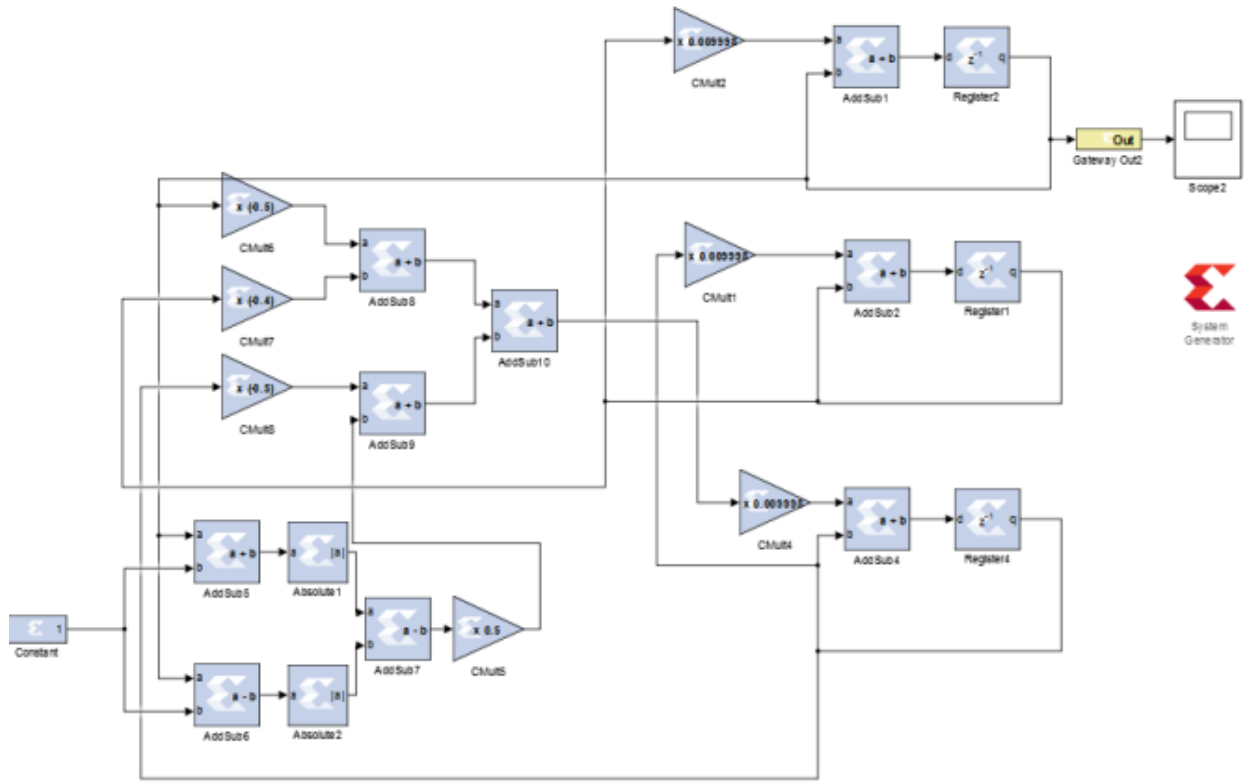
Günümüzde FPGA yapılarının tasarımında kullanılan donanım dili VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language), yerini tasarım aşaması daha kolay olan şematik yöntemlere bırakmaktadır (Chua, 1998). FPGA programlanmasında diğer bir yöntem ise Matlab/Simulink toolbox'da Xilinx özel bloklarla gerçekleştirilen şematik tasarımdır (Arena ve diğ., 1995). Bu tasarım aşamaları Şekil 5'de gösterilmektedir. Buna göre Xilinx bloklar ile şematik olarak çizilen sistem modeli daha sonra system generator kullanılarak giriş çıkış bitleri ve VHDL kodlar elde edilir. Nitekim elde edilen VHDL kodlar FPGA kartına yüklenerek sayısal tabanlı kaotik üreteç tamamlanır (Saidani ve diğ., 2010).



Şekil 5. FPGA tabanlı Xilinx System Generator ile hardware Co-simulation.

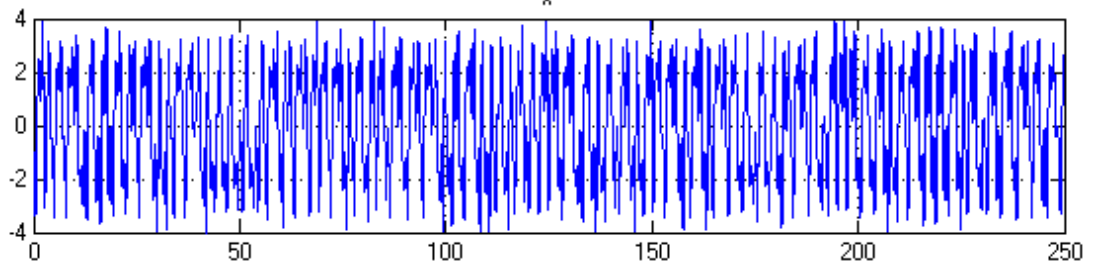
Figure 5. Hardware Co-simulation with FPGA-based Xilinx System Generator.

Xilinx system generator matematiksel işlem blokları kullanılarak algoritma üretebilen çok kullanışlı bir araçtır. VHDL programlama diline göre kolay tasarımı, geliştirilebilmesi önemli avantajıdır. Buradan yola çıkarak daha önce üç hücreli ağ yapısı olarak tasarlanan kaotik denklemler Şekil 6'da gösterildiği gibi Xilinx bloklar kullanılarak tasarlanmış ve Şekil 7'deki gibi çıkış işareti elde edilmiştir.



Şekil 6. DK-HSA tabanlı kaotik üreticinin Xilinx System Generator Kullanılarak elde edilen devre şeması.

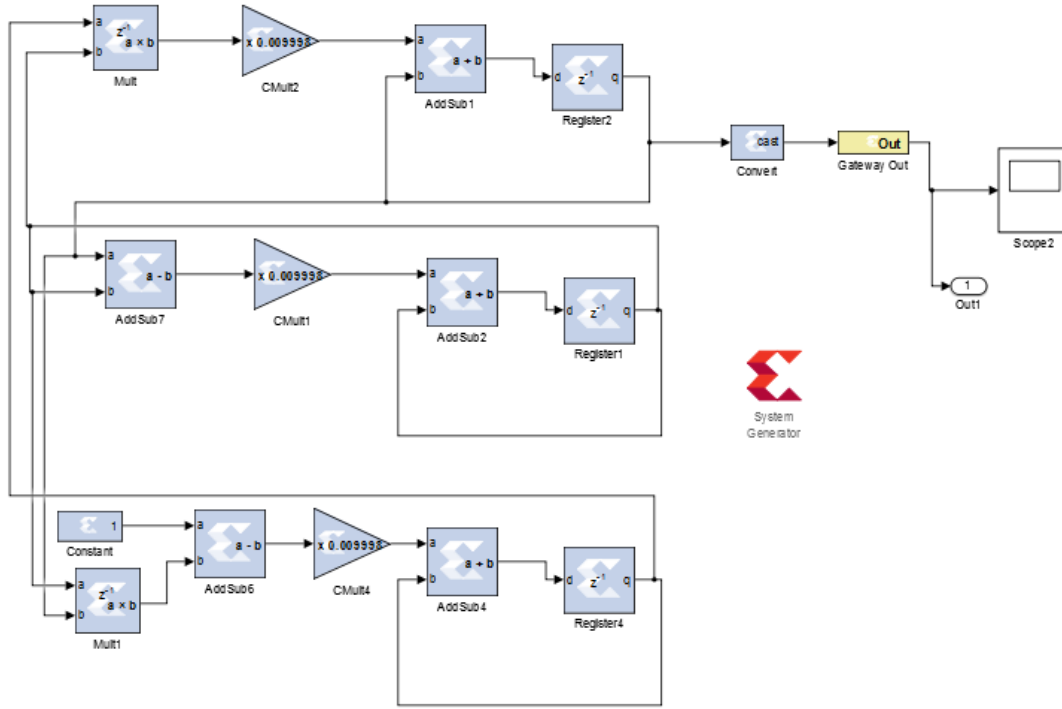
Figure 6. Circuit diagram of the chaotic generator of SC-CNN based on Xilinx System Generator.



Şekil 7. HSA tabanlı elde edilen kaotik üreticinin X_1 dinamiği çıkış işaretini.

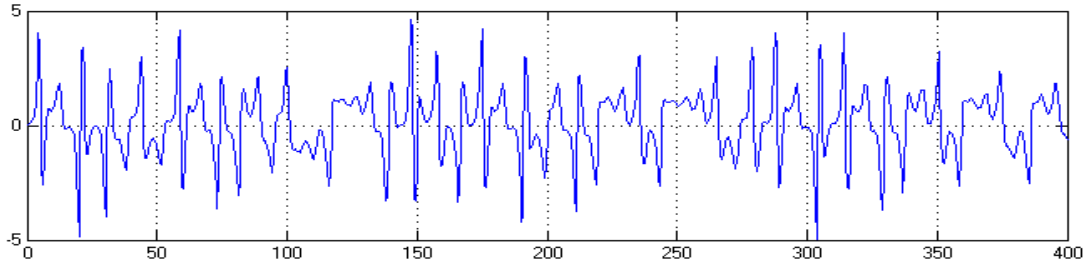
Figure 7. The X_1 dynamics output signal of the chaotic generator obtained from CNN-based.

Ayrıca bit hata oranı karşılaştırmalarında kullanılacak bir diğer üretic yapısı Sproot'a ait Xilinx bloklar kullanılarak tasarlanmış devre yapısı Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 9'da ise Sproot kaotik üreticinin X_1 dinamiğine ait çıkış işaretini gösterilmektedir.



Şekil 8. Sprot kaotik üreticinin Xilinx System Generator kullanılarak elde edilen devre şeması.

Figure 8. The circuit diagram obtained by using the Xilinx System Generator of the chaotic generator of the sprot.



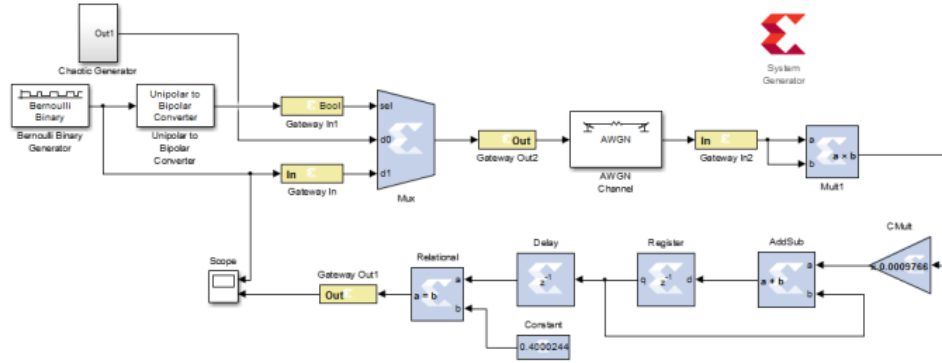
Şekil 9. Sprot kaotik üreticinin Xilinx System Generator kullanılarak elde edilen devre şeması.

Figure 9. Circuit diagram of the sprot chaotic generator using Xilinx System Generator

AKKA HABERLEŞME SİSTEMİNİN FPGA İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (FPGA IMPLEMENTATION OF COOK COMMUNICATIONS SYSTEM)

Kaotik işaret üreticisi üreten devreler gerek parametre değişimi ile gerekse de farklı başlangıç şartlarıyla karakteristik özellikleri değişen devreler olması sebebiyle yeniden yapılandırılabilir sistemler arasında dikkat çeken bir yapıya sahiptir. Ancak kaotik devre yapılarının bu değişime uygun sistemlerde tasarlanarak gerçekleştirilmesi bu avantajların kullanımını gerçek kılar (Wang ve diğ., 2005). Bu amaçla önceki bölümlerde de açıklandığı gibi FPGA yapılar esnek ve kolay tasarım özelliklerinden dolayı kaotik devre yapıları için uygundur (Wang ve diğ., 2006; Liu ve diğ., 2014; Math Works).

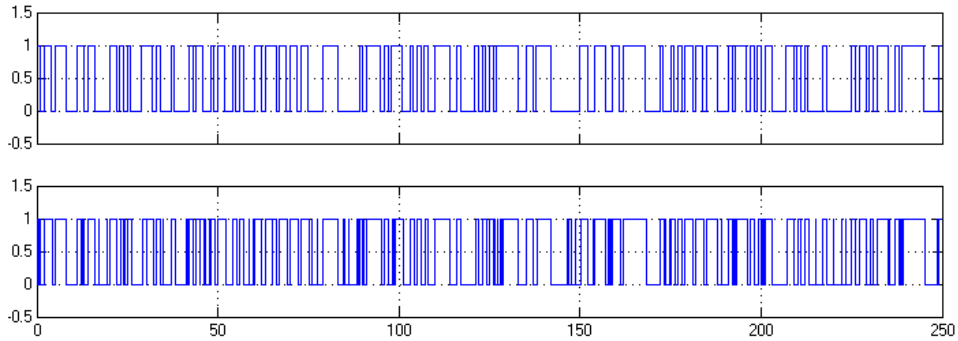
FPGA yapılarını üretimden sonra bile istenen fonksiyon ve yapıya göre donanımının değiştirilmeye açık olması, bu yapıların uygulanabilirliğini artırmaktadır. Xilinx toolbox'lar kullanılarak Xilinx System Generator ile tasarlanan AKKA haberleşme sistemine ait blok şema Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 10. Xilinx System Generator Kullanılarak FPGA tabanlı elde edilen AKKA devre şeması.

Figure 10. The FPGA-based COOK circuit diagram using Xilinx System Generator.

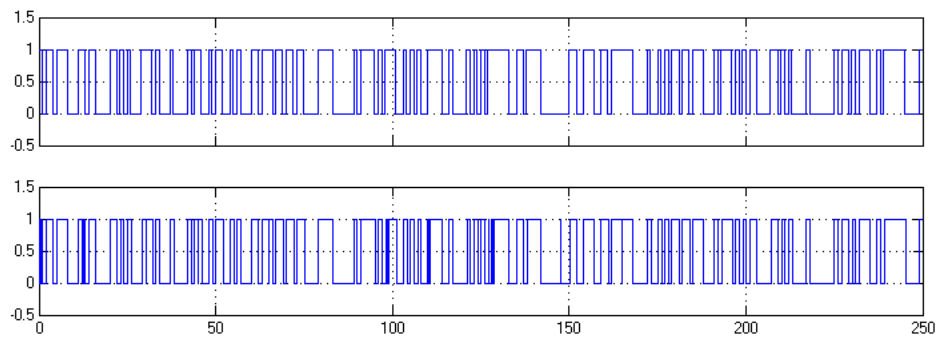
AKKA haberleşme sistemine ait verici devresinin bilgisayar benzetim sonuçları Sproot tabanlı kaotik üreteç kullanılarak gerçekleştirilen çalışma için verilmektedir. Şekil 11(a) iletilen bilgi sinyalini, Şekil 11(b) alıcı devrede elde edilen bilgi sinyalinin simulink sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 11. a) İletilen bilgi sinyali b) Sproot tabanlı alıcıda elde edilen bilgi sinyali.

Figure 11. a) Transmitted information signal b) Information signal obtained from the sproot-based receiver.

Benzer şekilde AKKA haberleşme sistemine ait verici devresinin bilgisayar benzetim sonuçları HSA tabanlı kaotik üreteç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 12(a) iletilen bilgi sinyalini, Şekil 12(b) alıcı devrede elde edilen bilgi sinyalinin simulink sonuçlarını göstermektedir.

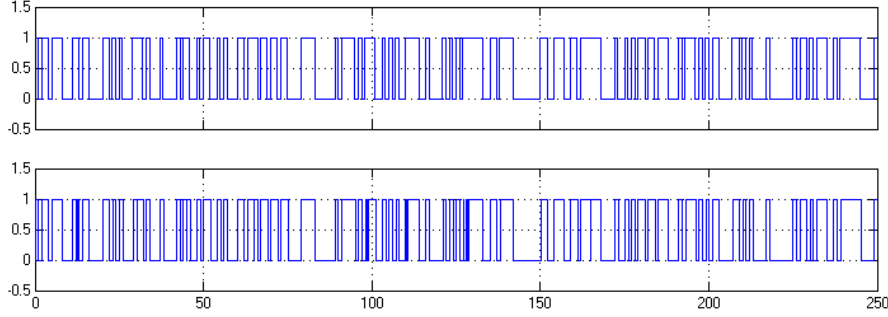


Şekil 12. a) İletilen bilgi sinyali b) HSA tabanlı alıcıda elde edilen bilgi sinyali.

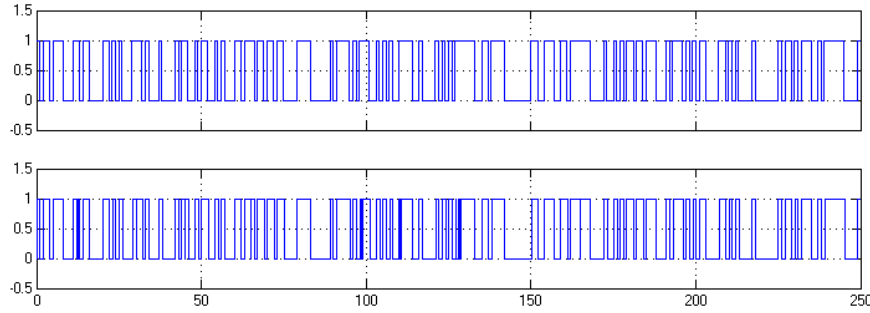
Figure 12. a) Information signal transmitted b) Information signal obtained in the CNN-based receiver.

Bilgisayar benzetimi gerçekleştirilen AKKA haberleşme sisteminin FPGA uygulamasına ait Sproot tabanlı alıcı devrede elde edilen bilgi sinyali Şekil 13'de gösterilirken, HSA tabanlı kaotik üreteçler

kullanılarak gerçekleştirilen uygulama ise Şekil 14'de alıcı devrede elde edilen bilgi sinyalinin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 13. a) İletilen bilgi sinyali b) Sproot FPGA alıcıda elde edilen bilgi sinyali.
Figure 13. a) Transmitted information signal b) Information signal obtained from the Sproot FPGA receiver.



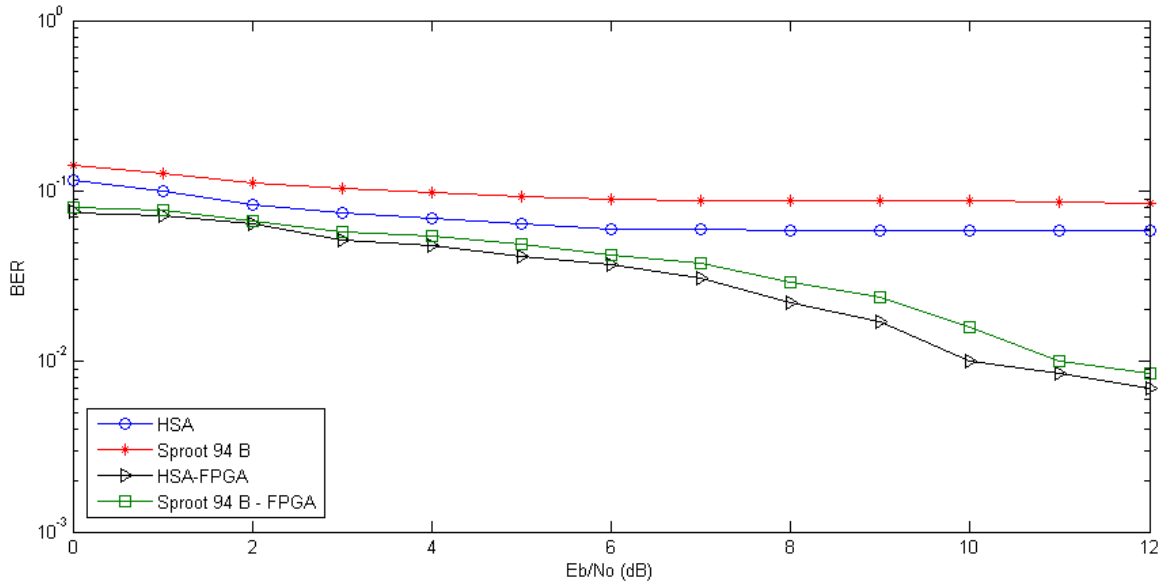
Şekil 14. a) İletilen bilgi sinyali b) HSA tabanlı FPGA alıcıda elde edilen bilgi sinyali.
Figure 14. a) Information signal transmitted b) Information signal obtained from the CNN-based FPGA receiver.

Burada AKKA haberleşme sistemi için elde edilen sonuçlar, hesaplanmış analitik BER performansı *Gaussian* bir dağılım ile Denklem 8'deki gibi verilmektedir (Sushchik ve diğ, 2000).

$$BER = 1/2 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0} \left(1 + \frac{\beta N_0}{2E_b}\right)^{-1}} \right) \quad (8)$$

Denklem (8)'de *erfc* tümlleşik hata fonksiyonunu gösterirken, $N_0/2$ gürültü dağılımını, E_b kaotik modülatörün çıkışında görülen bit enerjisini ve β yayılım faktörünü göstermektedir (Sushchik ve diğ, 2000).

FPGA tabanlı tasarım metodu kullanılarak farklı kaotik üreteçler ile gerçekleştirilen AKKA haberleşme sisteminin deneysel sonuçları ile Matlab/Simulink'te elde edilen BER/SNR oranlarının karşılaştırılması Şekil 15'de gösterilmektedir. Buna göre FPGA tabanlı AKKA haberleşme sisteminin farklı kaotik yapılar kullanıldığında elde edilen BER/SNR performansı Matlab/Simulink'te elde edilen sonuçlara göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 15. AKKA haberleşme sisteminin farklı kaotik üreteçler kullanılarak FPGA deneysel uygulamasına ve Matlab/Simulink benzetimine ait BER-SNR performansı.

Figure 15. BER-SNR performance of FPGA experimental application and Matlab / Simulink simulation using different chaotic generators of COOK communication system.

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışma ile sayısal tabanlı haberleşme yöntemi olan AKKA haberleşme sisteminin bilgisayar benzetimi ve FPGA tabanlı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Buna göre DK-HSA yapısına sahip kaotik sinyal ile Sproot_94_B kaotik sinyal üreteçlerinin Matlab/Simulink ve deneysel FPGA uygulamasına ait BER/SNR performans karşılaştırması gözlemlenmiştir. Çalışmada Xilinx System Generator kullanılarak tasarım kolaylığı sağlanmış, analog tabanlı kaotik devre yapılarında yaşanan parametre hassasiyeti problemlerinin aşılması sağlanmış ve bu sonuç ile literatürde VHDL kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlar için kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir (Azzaz ve diğ.,2010). Azzaz (ve diğ.,2010), çalışmasında VHDL programla dili kullanarak gerçekleştirmiş bu durum farklı kaotik üreteç ve parametre değişimlerinin uygulanmasında oldukça karmaşık ve tasarım zorluğu getirmektedir. Çalışmada kullanılan HSA yapılarının farklı kaotik üreteçlere dönüşümü ancak kolay tasarım metodu olan Xilinx System Generator kullanılarak gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Diğer taraftan AKKA haberleşme sistemi ile de analog tabanlı kaotik haberleşme sistemlerinde yaşanan sürekli senkronizasyon problemi (Butusov ve diğ., 2017), çalışmada kullanılan sayısal tabanlı haberleşme sistemi ile anlık senkronizasyon sağlanarak senkronizasyon sorunu aşılmıştır.

Buna göre yapılan benzetim ve deneysel çalışma sonuçlarına göre HSA tabanlı kaotik üreteçlerin kullanıldığı sayısal haberleşme sistemleri düşük bit hata oranları ile öne çıkmaktadır. Diğer taraftan yüksek çalışma frekansı ve paralel işlem kabiliyeti nedeniyle FPGA tabanlı AKKA haberleşme sisteminde Sproot_94_B ve HSA tabanlı kaotik haberleşme sistemlerinin de bit hata oranlarının daha iyi olduğu yapılan deneysel uygulama ile ortaya konmuştur.

Bu çalışmada HSA tabanlı kaotik üreteçlerin, sayısal tabanlı AKKA haberleşme sistemi ile FPGA uygulamalarında daha düşük BER/SNR performansının olduğu gözlemlenmiştir. Araştırma sonuçları, HSA tabanlı kaotik yapıların FPGA uygulamalarında daha kolay uygulanabildiği ve sayısal tabanlı kaotik haberleşme sistemlerindeki performansından dolayı diğer kaotik haberleşme sistemleri için de kullanılabilirliğini göstermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdullah, H., Valenzuela, A., "Efficient Chaotic Communications System for Wireless Sensing Applications", *9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices(SSD)*, Chemnitz, Germany, pp.1-5, 20-23 March 2012.
- Abdullah, H., Valenzuela, A., 2011, "Performance Evaluation of FM-COOK Chaotic Communication system", *Journal of Signal and Information Processing (JSIP)*, Vol. 2(3), pp. 175-177.
- Albassam, N.N., Sumesh, E.P., "Enhancing of Chaotic on-off Keying Scheme", *Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition*, Muscat, Oman, pp.1-6, 1-4 February 2015.
- Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L., Manganaro, G., 1995, "Chua's Circuit can be Generated by CNN Cells," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, Vol. 142, pp. 123–125, 1995.
- Azzaz, M. S., Tanougast, C., Sadoudi, S., Bouridane, A., Dandache, A., "An FPGA Implementation of a Feedback Chaotic Synchronization for Secure Communications", *Communication Systems Networks and Digital Signal Processing*, 2010.
- Azzaz, M.S., Tanougast, C., Sadoudi, S., Fellah, R., Dandache, A., 2012, "A new Auto-Switched Chaotic System and its FPGA Implementation", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2012.
- Butusov, D. N., Karimov, T. I., Lizunova, I. A., Soldatkina, A. A., & Popova, E. N. "Synchronization of Analog and Discrete Rössler Chaotic Systems", *Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), 2017 IEEE Conference of Russian*. IEEE, St. Petersburg, Russia, 1-3 February 2017.
- Chua, L.O., 1998, "CNN: A Paradigm for Complexity, World Scientific Series on Nonlinear Science", Series A- Vol. 31, World Scientific Publishing.
- Chua, L.O., Yang, L., 1988, "Cellular Neural Networks: Theory", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, Vol. 35, pp. 732–745.
- Chua, L.O., Yang, L., 1988, "Cellular Neural Networks: Applications", *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, Vol 35, No. 10, pp.1273-1290.
- Chua, L.O., Roska, T., 1993, "The CNN Paradigm", *IEEE Transactions on Circuits and Systems -I.*, Vol. 40, pp.147-156.
- Çiçek, S., Ferikoğlu, A., Pehlivan, İ., "A Chaotic Communication System Design with Chaotic on-off Keying (COOK) Modulation Method", *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Malatya, Turkey, pp. 431-434, 16-19 May 2015.
- Dedieu, H., Kennedy, M., Hasler, M., 1993, "Chaos Shift Keying: Modulation and Demodulation of a Chaotic Carrier Using Self-Synchronizing Chua's Circuits", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, Vol. 40(10), pp. 634-643.
- Galias, Z., Maggio, M., 2001, "Quadrature Chaos-Shift Keying: Theory and Performance Analysis", *IEEE Transactions on Circuit and Systems I*, Vol. 48(12), pp. 1510-1518.
- Kolumbán, G., Kennedy, M.P., Kis, G., "Performance Improvement of Chaotic Communications Systems" - *Proc. ECCTD'97*, 1997.
- Günay, E., Altun, K., "HSA Tabanlı Kaos Üretici ile Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama Haberleşme Sisteminin FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi", *Elektrik - Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı -Eleco 2016*, Bursa, Türkiye, 1-3 Aralık 2016.
- Günay, E., 2012, "A New Autonomous Chaos Generator from State Controlled Cellular Neural Networks", *Int. J. Bifurcation & Chaos*, Vol.22, No.3.
- Günay, E., 2010, "MLC Circuit in the Frame of CNN", *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 20, pp. 3267–3274.
- Kharel, R., Busawon, K., Aggoune, W., Ghassemlooy, Z., "Implementation of a Secure Digital Chaotic Communication Scheme on a DSP Board", *Communication systems networks and digital signal processing (CSNDSP)*, 7th International Symposium on, 2010, Newcastle upon Tyne, UK, 21-23 July 2010 .

- Kılıç, R., Alçı, M., Günay, E., 2004, "A SC-CNN Based Chaotic Masking System with Feedback", *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 14, pp. 245-256.
- Lau F. C. M., Tse C. K., 2003, *Chaos-Based Digital Communication Systems*, Springer.
- Liu, Z., Jinhua Z., Hanyu L., 2014, "Design of the Differential Chaos Shift Keying Communication System based on DSP builder", *Computer Modelling & New Technologies*, pp. 138-143.
- Majeed, M., 2014, "Implementation of Differential Chaos Shift Keying Communication System Using Matlab-Simulink", *Journal of American Science*, Vol. 10(10), pp. 240-244.
- Sushchik, M., Tsimring, L. S., Volkovskii, A. R., 2000, "Performance Analysis of Correlation-Based Communication Schemes Utilizing Chaos", *IEEE Trans. Circuits and Systems*, vol. 47, pp. 1684-1691.
- Pecora, L. M., Carroll, T. L., 1990, "Synchronization in Chaotic Systems", *Physical Review Letters*, Vol. 64, pp. 821-824, Feb., 1990.
- Sprott, J.C., 1994, "Some Simple Chaotic Flows", *Physical Review E*, Vol. 50(2), pp. 647-650.
- Stavroulakis, P., 2006, *Chaos Applications in Telecommunications*, CRC Press, pp.125-169, USA.
- Tam, W., Lau, F., Tse, C., 2006, *Digital Communications with Chaos*, Elsevier.
- Tam, W.M., Lau, F.C.M. Tse, C.K., 2007, *Digital Communications with Chaos: Multiple Access Techniques and Performance*, Elsevier Ltd., pp.11-31.
- Saidani, T., Atri, M., Dia, D., Tourki, R., 2010, "Using Xilinx System Generator for Real Time Hardware Co-simulation of Video Processing System" *Electronic Engineering and Computing Technology Volume 60 of the series Lecture Notes in Electrical Engineering*, pp 227-236.
- The Math Works and Xilinx Plans web page: <http://www.mathworks.com/>
- Wang, G., Zhang, X., Zheng, Y., Li, Y., 2006, "A New Modified Hyperchaotic Lii System (J)", *Physic A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 371 (2), pp. 260-272.
- Wang, G., Shi, X., Qiu, S., Li, Z. 2005, "A Chaotic System and Its Circuitry Implementation(C)", Piscataway, Nj 08855-1331, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, pp. 1162-1164.
- Yiwei, Z., Zexiang, L., Xinjian, Z., "A Chaos-Based Image Encryption ASIC Using Reconfigurable Logic", *Circuits and Systems IEEE Asia Pacific Conference on*, Macao, China, 30 Nov.-3 Dec. 2008.



NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNE VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

İsmet SEZER

Gümüşhane Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane/Türkiye
isezer@gumushane.edu.tr

(Geliş/Received: 13.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 20.02.2018)

ÖZ: Bu çalışma; dizel, biyodizel, su veya alkol içeren emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımları gibi dizel motor yakıtlarında nano materyal içerikli katkıların kullanılmasının yakıt özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri üzerine yapılmış çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Dizel motorlar iyi performans ve güvenilirlik karakteristiklerine sahip olmasına rağmen dizel motorlardan yayılan egzoz gazları içinde yarı yanmış veya yanmamış hidrokarbonlar, karbondioksit, karbonmonoksit, partikül madde (is) ve azot oksitler gibi zararlı emisyonlar bulunur. Dizel motorlarda zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması için üç farklı teknik uygulanmaktadır. Zararlı emisyonları azaltmak için uygulanan tekniklerden ilki motor tasarımda ve yakıt püskürtme sisteminde değişiklikler yapılarak yanmanın iyileştirilmesidir. Ancak bu pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. Emisyonları azaltmak için uygulanan ikinci teknik katalitik konvertör ve partikül filtresi gibi çeşitli egzoz gazı cihazlarının kullanılmasıdır. Ancak, bu cihazlar dizel motorların performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Dizel motorlarda, emisyonları azaltmak ve aynı zamanda motorun performansını artırmak için kullanılan üçüncü teknik ise çeşitli yakıt katkılarının kullanılmasıdır. Dizel motorlardan yayılan en önemli kirleticiler azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM-is) emisyonlarıdır. Uygulamada, NO_x ve PM emisyonlarını birlikte azaltmak oldukça zordur. Emisyonları azaltırken motor performansını artırmanın en iyi yolunun nano materyal içerikli katkıların ve su veya alkol ile emülsiyonlaştırılmış yakıtların kullanımı olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir. Bu derleme çalışmasında çeşitli dizel motor yakıtlarında farklı nano materyal içerikli katkıların kullanımının yakıt özelliklerine ve egzoz emisyonlarına etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir. Bu şekilde, nano materyal içerikli katkıların etkilerinin bir arada değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Dizel motor performansı, Emisyonlar, Emülsiyon yakıt, Nano materyal içerikli katkılar

Effect of Additives Including Nano Materials on Fuel Properties and Exhaust Emissions

ABSTRACT: This study compiled the results of various researches performed on the effects of the fuel properties, engine performance and exhaust emissions of diesel engines using nanomaterials additives in diesel engine fuels such as diesel, biodiesel, water or alcohol emulsified fuels and the various fuel blends. However, diesel engines have good reliability and performance characteristics; they emit the hazardous emissions like unburned hydrocarbons, carbon dioxide, carbon monoxide, particulate matters and nitrogen oxides with the exhaust gases. Three different techniques are used the reduction of the harmful exhaust emissions of the diesel engines. The first technique for the reduction of the harmful emissions is improved the combustion by modification of the engine design and the fuel injection system, but this process is expensive and time consuming. The second technique for the reduction of the emissions is the using various exhaust gas devices like catalytic converter and diesel particulate filter. However, the use of these devices affects negatively diesel engine performance. The other technique to reduce the emissions and also improve diesel engine performance is the use of various fuel additives.

The major pollutants of diesel engine are oxide of nitrogen (NO_x) and particulate matter (PM). It is very difficult to reduce NO_x and PM simultaneously in practice. The most researches declare that the best way to reduce the emissions and increase the engine performance is the use of nano material additives and water or alcohol emulsified fuels. The effects using of different nano material additives in various diesel engine fuels on the fuel properties and the exhaust emissions were investigated the based on the literature in this review. In this way, it has been purposed that the effects of the nano material additives was evaluated together.

Key Words: Biodiesel, Diesel engine performance, Emissions, Emulsified fuel, Nano material additives

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorların; karayolu taşıtlarında, tarım sektöründe, elektrik jeneratörlerinde güç kaynağı olarak kullanımının sürekli artması yakıt tüketiminin ve fiyatının sürekli artışına neden olmaktadır. Diğer taraftan, emisyonlarla ilgili sıkı düzenlemeler emisyon azaltma teknolojilerinin ve alternatif yakıtların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Katalitik konvertör ve partikül filtresi kullanımı dizel motorlarda azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM-is) emisyonlarını azaltması yanında motor performansını ve yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Dizel motorların performansını artırıp emisyonlarını azaltmanın diğer bir yolu ise özellikle gıda olarak tüketilmeyen yağlardan üretilen biyodizel yakıtların kullanılmasıdır (Murugesan ve diğ., 2009). Ayrıca, biyodizel yakıtların dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmasının karbondioksit (CO₂) salımını azaltarak küresel ısınmayı azaltabileceği düşünülmektedir (Karabektas ve diğ., 2013). Yapılan çeşitli deneysel çalışmalar biyodizel yakıt ve karışımlarının motor gücünde bir miktar düşüşe ve yakıt tüketiminde artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, biyodizel yakıt ve karışımlarının içeriğindeki oksijen nedeniyle NO_x emisyonunda artış olduğu bildirilmektedir (Dhar ve diğ., 2012; Sharma ve Singh, 2008). Biyodizel yakıtların bu olumsuz etkilerinin emülsiyon yöntemi ve çeşitli yakıt katkıları kullanılarak azaltılması mümkündür. Dizel ve biyodizel yakıtların su ile emülsiyonlaştırılmasının NO_x emisyonunun azaltılmasında oldukça etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Chen ve diğ., 2010; Dantas Neto ve diğ., 2011). Ancak, emülsiyon yakıtların içinde bulunan su yanma sıcaklığını düşürerek tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına neden olabilmektedir (Fu ve diğ., 2003). Bu olumsuz etkiyi azaltmak için suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal içerikli katkıların kullanılması önerilmektedir (Imdadul ve diğ., 2015; Shaafi ve diğ., 2015). Bu nedenle, dizel, biyodizel ve suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal katkıların kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi motor performansının iyileştirilmesi ve emisyonlarının azaltılması açısından oldukça önemlidir. Sunulan derleme çalışmasında, dizel yakıtı, çeşitli biyodizel yakıt ve karışımları ile su veya alkol ile emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal içerikli katkıların kullanılmasının yakıt özellikleri ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir. Bunun için nano materyal içerikli katkıların çeşitli dizel motor yakıtlarında kullanımı üzerine yapılmış literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılmıştır. Böylece, nano materyal içerikli katkıların etkilerinin bir arada toplu olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

NANO MATERYAL İÇERİKLİ YAKIT KATKILARI (FUEL ADDITIVES INCLUDING NANO MATERIALS)

Nano materyallerin boyutları 1-100 nm arasında değişmekte olup yakıt katkısı olarak kullanılan nano materyaller arasında Al, Ag, Cu, Mg, Ni, Ti, Zn gibi metaller, bor gibi yarı metaller ve Al₂O₃, CeO₂, TiO₂, Fe₂O₃, Fe₃O₄, CuO, MnO, MgO gibi metal oksit nano akışkanlar sıralanabilir (Dreizin, 2009; Senthilraja ve diğ., 2010). Son zamanlarda, nano boyutlu silikon tozları ve nano gözenekli silikonlu levhalar ile tek veya çok tabakalı nano tüpler gibi materyaller de enerji uygulamalarında kullanılmaktadır (Balamurugan ve diğ., 2013). Literatürde nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Sonawane ve diğ. (2011) havacılık türbin yakıtına (Kerosin-

K) alüminyum oksit (Al_2O_3) katılmasının etkilerini incelemişlerdir. Dizel (D) yakıtına, nano alüminyum (n-Al), nano gümüş (n-Ag), nano seryum (n-Ce), nano platin (n-Pt), nano demir (n-Fe), nano bor (n-B) gibi nano parçacıkların katılmasının etkileri çeşitli araştırmacılarca (Kao ve diğ., 2008; Babu ve Raja, 2015; Mohan ve diğ., 2015; Saraee ve diğ., 2015; Jung ve diğ., 2005; Okuda ve diğ., 2009; Mehta ve diğ., 2014) incelenmiştir. Dizel yakıtına, Al_2O_3 , çinko oksit (ZnO), demir-II oksit (Fe_2O_3) ve demir-III oksit (Fe_3O_4), bakır oksit (CuO), kobalt oksit (Co_3O_4), titanyum oksit (TiO_2), grafit oksit (GO), seryum oksit (CeO_2), mangan oksit (MnO), mangan dioksit (MnO_2), magnezyum oksit (MgO), kalsiyum oksit (CaO) gibi nano akışkanlar katılmasının etkileri çeşitli araştırmacılarca (Venkatesan, 2015; Raj ve diğ., 2016; Venkatesan ve Kadires, 2015; Selvaganapthy ve diğ., 2013; Shafil ve diğ., 2011; Sarvestany ve diğ., 2013; Mahendrarman ve diğ., 2016; Ramachandran, 2015; Aalam ve diğ., 2015; Gumus ve diğ., 2016; George ve diğ., 2015; Sungur ve diğ., 2016; Ooi ve diğ., 2016; Lenin ve diğ., 2013; Keskin ve diğ., 2011; Guru ve diğ., 2002; Sajeevan ve diğ., 2013; Selvan ve diğ., 2009; Venkatesan ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2013; Narasiman ve diğ., 2015; Aalam ve Alagappan, 2015; Samuel ve Shefeek, 2015; Thirumal ve diğ., 2015; Venkatesan ve Kadires, 2016; Fangsuwannarak ve diğ., 2013) incelenmiştir. Dizel yakıtına karbon nano tüpler (KNT) ve çok tabakalı karbon nano tüpler (ÇTKNT) katılmasının etkileri Aalam ve diğ. (2015) tarafından incelenmiştir. Farklı oranlarda su içeren dizel emülsiyon yakıtlarına farklı nano materyaller katılmasının etkileri çeşitli araştırmacılarca (Basha ve Annand, 2011a; Mehta ve diğ., 2014; Singh ve Bharj, 2015; Singh ve Bharj, 2016; Chaudhari ve diğ., 2014) incelenmiştir. Farklı oranlarda etanol (E) içeren dizel yakıtlarına farklı türde nano materyaller katılmasının etkileri çeşitli araştırmacılarca (Mehregan ve Moghiman, 2014; Manikandan ve Sethuraman, 2014; Ganesh ve Reddy, 2016) incelenmiştir. Farklı türden biyodizel yakıtlara farklı türde nano materyal içerikli katkıların katılmasının etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından (Basha ve Annand, 2013; Ganesh ve Gowrishankar, 2011; Banapurmath ve diğ., 2014a; Banapurmath ve diğ., 2014b; Bhagwat ve diğ., 2015; Çelik, 2016; Arockiasamy ve Anand, 2015; Balaji ve Cheralathan; Yuvarajan ve Ramanan, 2016; Amit ve Kumar, 2015; Kannan ve diğ., 2011; Ganesh ve Gowrishankar, 2011; Jeryraj Kumar ve diğ., 2016; Manibharathi ve diğ., 2014; Narasiman ve diğ., 2015; Sajith ve diğ., 2010; Rajalingam ve diğ., 2016; Basha ve Annand, 2013; Balaji ve Cheralathan, 2015; Thulasi ve diğ., 2016; Banapurmath ve diğ., 2014; Tewari ve diğ., 2013) incelenmiştir. Farklı türden ve farklı oranlarda su veya etanol içeren biyodizel emülsiyon yakıtlarda farklı türde nanomateryal içerikli katkıların kullanılmasının etkileri çeşitli araştırmacılarca (Basha ve Annand, 2011b; Anbarasu, 2015; Annamalai ve diğ., 2016; Basha ve Annand, 2014; Venu ve Madhavan, 2016) incelenmiştir. Farklı türden biyodizel-dizel yakıt karışımlarına farklı türden nano materyal içerikli katkıların katılmasının etkileri birçok araştırmacı tarafından (Balamurugan ve diğ., 2013; Fangsuwannarak ve diğ., 2016; Kumar ve diğ., 2016; Ramesh ve diğ., 2016; Aalam ve diğ., 2015; Karthikeyan ve diğ., 2014a; Ghogare ve Kale, 2016a; Ghogare ve Kale, 2016b; Sanjay ve diğ., 2016; Prakash ve diğ., 2016; Aalam ve Saravanan, 2015; Jayanthi ve diğ., 2016; Chandrasekaran ve diğ., 2016; Kumar ve diğ., 2017; Karthikeyan ve diğ., 2014b; Karthikeyan ve diğ., 2014c; Silambarasan ve Senthil, 2016; Karthikeyan ve diğ., 2014d; Santhanamuthu ve diğ., 2014; Keskin ve diğ., 2007; Manibharathi ve diğ., 2015; Ingle ve diğ., 2016; Karthikeyan ve diğ., 2016; Ramarao ve diğ., 2015; Bafghi ve diğ., 2015; Karthikeyan ve diğ., 2014e; Sathiyamoorthi ve diğ., 2016; Venkatesan ve Kadires, 2016; Sajith ve diğ., 2015; D'Silva ve diğ., 2016; Fangsuwannarak ve diğ., 2013; Prabhu ve diğ., 2015; Mirzajanzadeh ve diğ., 2015; Karthikeyan ve Prathima, 2016; Ghafoori ve diğ., 2015; Madhukrishna ve diğ., 2016; Sahafi ve Velraj, 2015; Selvan ve diğ., 2009; Selvan ve diğ., 2014) incelenmiştir.

NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF THE ADDITIVES INCLUDING NANOMETATERIALS ON THE FUEL PROPERTIES)

Nano materyal içerikli katkı maddeleri, arttırılmış yüzey alanı/hacim oranı, hızlı buharlaşma ve daha kısa tutuşma gecikmesi süresi gibi özellikleri nedeniyle yakıt özelliklerini iyileştirmek için uygun bir katalizör olarak düşünülmektedir (Ghogardare ve Hudgikar, 2016). Nano materyal içerikli katkıların yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma noktası sıcaklıkları, akma ve bulutlanma noktası sıcaklıkları,

setan sayısı ve ısı değer gibi yakıt özelliklerine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Çizelge 1’de çeşitli nano materyal katkıların yakıt özelliklerine etkileriyle ilgili sayısal değerler verilmiştir.

Çizelge 1. Nanomateryal içerikli katkıların yakıt özelliklerine etkileri

Table 1. Effects of the additives including nanomaterials on the fuel properties

Ana yakıt+katkı	Yoğunluk (%değişim)	Viskozite (%değişim)	Alevlenme Sıcaklığı (%değişim)	Tutuşma Sıcaklığı (%değişim)	Setan Sayısı (%değişim)	Isıl değer (%değişim)	Kaynak
K+%0,1-1 Al ₂ O ₃	-	↑ 2-37	-	-	-	-	Sonawane ve diğ., 2011
D+25-75 ppm n-Al	↓ 4,7-12,5	→	↑ 3,6-12,7	-	-	-	Babu ve Raja, 2015
D+25-50 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,2-0,3	↑ 1,5-2,7	↑ 4,1-8,3	↑ 3,8-7,7	-	↑ 0,3-0,6	Raj ve diğ., 2016
D+250-1000 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,2-1,1	-	↑ 1,9-15,4	↑ 4,8-22,6	-	↑ 0,09-0,6	Venkates ve Kadires, 2015
D+150-300 mg/L Fe ₃ O ₄	↑ 0,3-0,6	↑ 3,7-11,1	↓ 10,9-14,5	↓ 5-17	↑ 4,2-10,6	-	Mahendrarman ve diğ., 2016
D+25-50 ppm Fe ₂ O ₃	↑ 0,5-1	-	↑ 8,6-15,5	-	↑ 3-5,5	↑ 0,8-1,5	Aalam ve diğ., 2015a
D+25-100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,08-0,12	↓ 0-2,8	↑ 10-15	-	↑ 0,9-1,5	-	Gumus ve diğ., 2016
D+50 ppm CuO	↑ 0,07	↓ 2,8	↑ 10	-	↑ 1,3	-	Gumus ve diğ., 2016
D+300 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,1	↓ 2,8	↓ 5,7	-	-	↑ 0,04	Sungur ve diğ., 2016
D+300 ppm TiO ₂	↑ 0,09	↓ 2,8	↓ 1,9	-	-	↑ 0,005	Sungur ve diğ., 2016
D+%0,01-0,1 GO	↓ 3,1 ↑ 0,03	↓ 31-8,6	↓ 14,4-4,8	-	↓ 2,2-13	-	Sungur ve diğ., 2016
D+%0,01-0,1 Al ₂ O ₃	↓ 3,1 ↑ 0,09	↓ 32,5 ↑ 6,5	↓ 16,9-1,2	-	↓ 6,5-13	-	Ooi ve diğ., 2016
D+%0,01-0,1 CeO ₂	↓ 3,1 ↑ 0,1	↓ 33,1-0,6	↓ 18-12	-	↓ 8,7-10,8	-	Ooi ve diğ., 2016
D+200 mg/L CuO	-	↓ 17	↓ 20	↓ 14,8	-	-	Lenin ve diğ., 2013
D+200 mg/L MnO	-	↓ 6,3	↓ 8,3	↓ 3,7	-	-	Lenin ve diğ., 2013
D+8-16 μmol/L MnO	-	↓ 3,8-11,5	↓ 6,8-12,3	-	-	-	Keskin ve diğ., 2011
D+8-16 μmol/L MgO	-	↓ 7,7-15,4	↓ 5,5-10,9	-	-	-	Keskin ve diğ., 2011
D+54,2 μmol/L MnO	-	↓ 5,2	↓ 5,3	-	↑ 4,4	-	Guru ve diğ., 2002
D+ 50 cc/L CeO ₂	↑ 0,2	-	↑ 14,8	↑ 16,1	-	↑ 0,36	Venkatesan ve diğ., 2014
BD+25 ppm/L CeO ₂	↑ 0,4	↑ 4,4	↑ 229,3	↑ 172	↑ 24,4	↑ 21,3	Narasiman ve diğ., 2015
D+ 50 cc/L CeO ₂	↑ 0,2	-	↑ 14,8	↑ 16,1	-	↑ 0,36	Venkates ve Kadires, 2016
D+%0,2 TiO ₂	↑ 0,02	↑ 2,2	↑ 4,4	→	-	-	Fangsuwannarak ve diğ., 2013a
D+25-50 ppm ÇTKNT	↑ 0,5-0,98	-	↑ 5,2-12	-	↑ 2,9-5,5	↑ 1-1,7	Aalam ve diğ., 2015b
DW15+25-100 ppm n-Al	↑ 0,07-0,13	↑ 0,8-2,2	↑ 1,6-4,8	-	↑ 11,6-16,3	↑ 1,3-2,8	Basha ve Annand, 2011a
DW1+%0,1 n-Al	↑ 1,7	↑ 19,3	-	-	↑ 7,8	↓ 1,3	Mehta ve diğ., 2014
DW1+%0,1 n-Si	↑ 1,4	↑ 20,2	-	-	↑ 11,7	↓ 1,3	Mehta ve diğ., 2014
DW15+ 50-150 ppm ÇTKNT	↑ 3-3,7	↑ 83,5-91,2	↑ 17,2-24,1	↑ 11,3-19,7	↑ 2,1-6	↓ 9,3-4,6	Singh ve Bharj, 2015
DW20+ 50-150 ppm ÇTKNT	↑ 4-4,5	↑ 104,8-109,9	↑ 18,9-36,2	↑ 16,9-29,6	↑ 0-4,2	↓ 9,3-6,5	Singh ve Bharj, 2016
BD+30 ppm/L CeO ₂	↑ 0,3	↑ 4,8	↓ 10,6	-	-	↓ 2	Chaudhari ve diğ., 2014
BD+25-50 ppm n-Al	↑ 0,1-0,2	↑ 1,1-1,9	↓ 1,2-3,5	-	↑ 1,9-3,8	↑ 0,9-1,7	Basha ve Annand, 2013
BD+25-50 ppm KNT	↑ 0,05-0,3	↑ 0,7-1,5	↓ 2,3-4,7	-	↑ 3,8-7,5	↑ 1,6-2,3	Basha ve Annand, 2013
BD+50 ppm n-Ag	↑ 2,8	↑ 5,3	↓ 1,2	-	-	↓ 2,9	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+50 ppm n-G	↑ 2,3	↑ 3,6	↓ 7	-	-	↓ 1,4	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+50 ppm ÇTKNT	↑ 2,3	↑ 3,6	↓ 3,5	-	-	↓ 2,5	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+25-50 ppm n-Ag	↑ 2,3-3,4	↑ 3,6	↓ 14,4-15,5	-	-	↓ 3-1,7	Banapurmath ve diğ., 2014b
BD+25-50 ppm n-G	↑ 1,7-2,3	↑ 3,6	↓ 5,9-7	-	-	↓ 2,8-1,4	Bhagwat ve diğ., 2015
BD+4-16 μmol/L n-Mn	↓ 0,7-2,5	↓ 3,2-9,1	↓ 2,3-8	-	-	↑ 2,2-2,8	Çelik, 2016
BD+30 ppm/L Al ₂ O ₃	↑ 0,2	↑ 3,6	↓ 8,2	-	-	↓ 1,5	Arockiasamy ve Anand, 2015
BD+100-300 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,1-0,2	↑ 0,2-0,4	↑ 0,5-1,1	-	↑ 0-1,9	↑ 0,5-0,6	Balaji ve Cheralathan
BD+5-50 μmol/L FeCl ₃	↓ 0,02-0,1	↓ 0,2-1,1	↓ 0-2,9	↓ 0-3,7	↑ 2,1-5,4	↑ 0,2-1	Yuvarajan ve Ramanan, 2016
BD+%1 Fe ₃ O ₄	↑ 5	↑ 3,7	↑ 2,1	-	↑ 8	↑ 2,8	Kannan ve diğ., 2011
BD+30 ppm/L CeO ₂	↓ 2	↓ 24,5	↓ 3,9	-	↑ 0,9	↑ 3,9	Rajalingam ve diğ., 2016
BD+100-300 ppm KNT	↓ 0,11-0,22	↑ 0,2-0,4	↑ 0,5-1,1	-	↑ 0-1,9	↑ 0,5-0,6	Balaji ve Cheralathan, 2015

BD+100ppm KNT	↑ 9,6	↑ 13,4	↑ 40	↑ 29,3	↑ 5,9	↓ 0,97	Thulasi ve diğ., 2016
BD+25–50 ppm ÇTKNT	↑ 2–2,3	↑ 1,8–3,6	↓ 2,3–3,5	–	–	↓ 4–2,5	Tewari ve diğ., 2013
BDW5+30 ppm CeO ₂	↑ 1,1	↑ 6,8	↓ 9,5	–	↑ 5,4	↑ 1,1	Annamalai ve diğ., 2016
BDW5+25–100 ppm KNT	↓ 0,3–0,04	↑ 0,5–9,4	↓ 7,1–12,8	–	↑ 5,9–9,8	↑ 0,6–2,1	Basha ve Annand, 2014
DBD25+25–50 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,3–0,8	↓ 4,8–10,9	↑ 1,8–3,6	–	↑ 3,6–5,4	–	Aalam ve diğ., 2015c
DBD20+50–100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 1,3–2,7	↑ 1,7	↑ 67–77	–	↑ 4,3–6,5	↑ 4,4–6,9	Karthikeyan vd, 2014a
DBDX+50–100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,8–1,4	–	–	–	–	–	Ghogare ve Kale, 2016a
DBDX+50–100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,3	–	–	–	–	–	Ghogare ve Kale, 2016b
DDBDX+100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,3–0,8	↑ 0,6–1,1	↑ 4,1–5,1	↑ 4–5	–	↓ 0,7–2,3	Sanjay ve diğ., 2016
DBD20+50 ppm CuO	↓ 1	↓ 8,5	↓ 10,4	↓ 10,8	–	↑ 1,4	Chandrasekaran ve diğ., 2016
DBD20+50–100 ppm ZnO	↓ 0,12–0,24	↑ 6,4	↓ 2,2	–	↑ 1,7	↑ 0,5	Karthikeyan ve diğ., 2014b
DBD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,36	↑ 4,8–5,9	↑ 6–10,8	↑ 4,4–11,1	–	↑ 2,9–4,7	Karthikeyan ve diğ., 2014c
DBD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,36	↑ 2,6–7,9	↑ 1,9–5,7	↑ 3,4–6,9	↑ 5,5	↑ 0,5–1,1	Silambaras ve Senthil, 2016
DBD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,35	↑ 2,7–8,1	↑ 2,1–4,2	–	↑ 1,8	↑ 1–1,5	Karthikeyan ve diğ., 2014d
DBD60+8–12 µmol/L MnO ₂	–	↓ 9,4–18,8	↓ 7,9–8,5	–	–	–	Keskin ve diğ., 2007
DBD60+8–12 µmol/L NiO	–	↓ 7,5–9,4	↓ 3,4–10,2	–	–	–	Keskin ve diğ., 2007
DBD20+50–100 ppm CeO ₂	↑ 0,2 ↓ 0,2	↓ 7–9,9	↓ 10,2 ↑ 15,3	–	–	↑ 1,2–0,7	Karthikeyan ve diğ., 2016
DBDX+0,04–0,08 g/L CeO ₂	–	↓ 6,9–12,9	↓ 10,6–16,9	–	–	↑ 0,3–1,1	Ramarao ve diğ., 2015
DBD20+50–100 ppm CeO ₂	↑ 0,3–0,6	↑ 0,03–0,09	↑ 2,6	↑ 4,4	–	↑ 3,7–5,2	Karthikeyan ve diğ., 2014e
DBD20+50 ppm CeO ₂	↑ 0,2	↓ 0,8	↑ 1,5	–	↑ 0,4	↑ 0,09	Sathiyamoorthi ve diğ., 2016
DBDX+2,5–15 ppm Ce–Zr–O ₂	↑ 0,58	↑ 1,45	↑ 2,7–5,6	–	–	–	Sajith ve diğ., 2015
DBD20+100 ppm CaCO ₃	↑ 9,5	↑ 9	–	↑ 29,7	–	↓ 4,2	D’Silva ve diğ., 2016
DBD20+100 ppm TiO ₂	↑ 12	↑ 8,5	–	↑ 25	–	↓ 0,4	D’Silva ve diğ., 2016
DBDX+%0,1–0,2 TiO ₂	–	↑ 0,9–7,1	↑ 4,3–15,1	–	↑ 0,2–2,5	↑ 1,4–18,9	Fangsuwannarak ve diğ., 2013b
DBD20+50–100 ppm CeO ₂ ve ÇTKNT bileşimi	↑ 0,001	→	↑ 3–4,5	–	↓ 1,6 ↑ 0,2	–	Karthikeyan ve Prathima, 2016
DBD10E4+100 mg/L n–Al	↓ 0,12	↓ 9,4	↑ 2	→	–	↓ 1,4	Madhukrishnaa ve diğ., 2016
DBD10E4+100 mg/L Al ₂ O ₃	↓ 0,8	↓ 8,9	–	–	↑ 23,8	↓ 1	Sahafi ve Velraj, 2015

Nano Materyallerin Dizel Yakıtı ve Emülsiyonlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of the Nanometaterials on the Properties of Diesel Fuel and Its Emulsions)

Havacılık türbin yakıtına (kerosin) %0,1–1 oranında Al₂O₃ katılmasının viskozite, ısıl iletkenlik ve ısı transferini artırdığı, ancak ısıl değer (özellik ısı) üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Sonawane ve diğ., 2011). Dizel yakıtına katılan n–Al parçacıklarının yoğunluğu azalttığı, alevlenme (parlama) noktası sıcaklığını artırdığı, bunun yakıtın depolama ve nakliye güvenliği için önemli olduğu ve tüm karışım oranlarında kinematik viskozitenin artan sıcaklıkla azaldığı bunun ise yağlama, yakıt atomizasyonu, motor performansı, hidrokarbon (HC) emisyonu ve partikül madde (is) oluşumu açısından önemli olduğunu bildirilmiştir (Babu ve Raja, 2015). Dizel yakıtına katılan Al₂O₃ (Raj ve diğ., 2016; Venkatesan ve Kadiresh, 2015) ile Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ (Mahendrarvarman ve diğ., 2016; Aalam ve diğ., 2015a) oranı arttıkça yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı ile ısıl değerini arttırdığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Ancak, Fe₂O₃ katkısının alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürdüğü (Mahendrarvarman ve diğ., 2016) ve Al₂O₃ katkısının yakıt özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gösteren (Gumus ve diğ., 2016; Sungur ve diğ., 2016) hatta alevlenme sıcaklığı ve setan sayısının Al₂O₃ katkısıyla azaldığını (Ooi ve diğ., 2016) bildiren çalışma sonuçları da vardır. Grafit oksit (GO) katkısının yoğunluğu bir miktar artırmasına rağmen viskozite, alevlenme sıcaklığı ve setan sayısı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir (Ooi ve diğ., 2016). CuO katkısının ise viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürdüğü (Lenin ve diğ., 2013) belirlenmiştir. MnO ve MnO₂ katkısının da viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı ile akma ve bulutlanma noktası sıcaklığı değerlerini düşürdüğü (Lenin ve diğ., 2013; Keskin ve diğ., 2011) setan sayısını ise artırdığı (Guru ve diğ., 2002) belirlenmiştir. Setan sayısının artması tutuşma karakteristiklerini iyileştirerek tutuşma gecikmesi süresini kısaltmakta ve yanma verimini dolayısıyla motor performansını artırmaktadır. MgO katkısının viskozite, alevlenme sıcaklığı ile akma ve bulutlanma noktası sıcaklıklarında azalmaya neden

olduğu (Keskin ve diğ., 2011) CaO katkısının yakıt özelliklerine pek etkisinin olmadığı (Guru ve diğ., 2002) belirlenmiştir. Akma ve bulutlanma noktası sıcaklığının azalması özellikle soğuk havalarda motorun ilk harekete geçişini kolaylaştırması bakımından önemlidir. CeO₂ katkısının yoğunluk, viskozite, ısıl değer, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı değerlerini artırdığı birçok çalışmada belirlenmiş (Sajeevan ve diğ., 2013; Venkatesan ve diğ., 2014; Thirumal ve diğ., 2015; Venkatesan ve Kadires, 2016), TiO₂ katkısının ise yoğunluk, viskozite ve tutuşma sıcaklığı değerlerinde az miktarda artış sağladığı bildirilmiştir (Fangsuwannarak ve diğ., 2013a). Dizel yakıtında çok tabakalı karbon nano tüpler (ÇTKNT) katılmasının ise yoğunluk, tutuşma sıcaklığı, ısıl değer ve setan sayısı değerlerinde artış sağladığı belirlenmiştir (Aalam ve diğ., 2015b). Nano alüminyum (n-Al) ve nano silikon (n-Si) parçacıklarının farklı oranlarda su içeren dizel emülsiyon yakıtlara katılmasının yoğunluk, viskozite ve setan sayısını artırırken, ısıl değeri düşürdüğü bildirilmiştir (Mehta ve diğ., 2014). Dizel-su emülsiyon yakıtlarına ÇTKNT katılmasının yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı ile setan sayısında artışa ısıl değer de ise düşüşe neden olduğu belirlenmiştir (Singh ve Bharj, 2015; Singh ve Bharj, 2016). Dizel-etanol karışımlarında viskozite ve alevlenme noktası sıcaklığının etanol katkısıyla önemli oranda azaldığı CeO₂ katkısının ise yakıt özelliklerine çok az etkisinin olduğu belirlenmiştir (Manikandan ve Sethuraman, 2014).

Nano Materyallerin Biyodizel Yakıtları ve Emülsiyonlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of the Nanomaterials on the Properties of Biodiesel Fuels and Their Emulsions)

Farklı türden biyodizel yakıtlara n-Al, n-Ag ve nano grafit (n-G) parçacıkları katılmasının yoğunluk ve viskoziteyi artırırken alevlenme sıcaklığı ve ısıl değerde düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir (Banapurmath ve diğ., 2014a; Banapurmath ve diğ., 2014b; Bhagwat ve diğ., 2015; Arockiasamy ve Anand, 2015). Pamuk yağı biyodizel yakıtına n-Mn parçacıkları katılmasının yoğunluk, viskozite ve tutuşma sıcaklığını düşürürken ısıl değerde bir miktar artış sağladığı belirlenmiştir (Çelik, 2016). Farklı türden biyodizel yakıtlara Al₂O₃, Fe₃O₄ ve CeO₂ katılmasının tutuşma sıcaklığı ve ısıl değerde düşüşe neden olduğu yönünde bulgular (Arockiasamy ve Anand, 2015) olmakla birlikte tüm yakıt özelliklerini artırdığı yönünde çalışma sonuçları da (Balaji ve Cheralathan) mevcuttur. Kannan ve diğ. (2011) atık kızartma yağı biyodizel yakıtına farklı oranlarda FeCl₃ katkısının yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürürken setan sayısı ve ısıl değerde artış sağladığını ancak akma ve bulutlanma noktası sıcaklıkları üzerinde bir etkisinin olmadığını belirlemiştir. Sajith ve diğ. (2010) Jatropha biyodizel yakıtına katılan CeO₂ katkısının alevlenme noktası sıcaklığını artırdığını ve viskozitenin artan sıcaklıkla azaldığını ancak CeO₂ katkısının bulutlanma ve akma noktası sıcaklıkları üzerinde bir etkisinin olmadığını belirlemiştir. Karbon nano tüp (KNT) katkıların farklı türde biyodizel yakıtlara katılmasının genelde yoğunluk, viskozite, alevlenme sıcaklığı ve setan sayısında artış sağlarken ısıl değerde düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Balaji ve Cheralathan, 2015; Thulasi ve diğ., 2016; Tewari ve diğ., 2013). Su içeren biyodizel emülsiyon yakıtlara CeO₂ ve KNT katılmasının yoğunluk, viskozite, setan sayısı ve ısıl değerde artış sağlarken alevlenme noktası sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir (Annamalai ve diğ., 2016, Basha ve Annand, 2014).

Nano Materyallerin Dizel-Biyodizel Karışımlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of the Nanomaterials on the Properties of Diesel-Biodiesel Blends)

Dizel-palmiye yağı biyodizel karışımlarına nano biyo-polimer parçacıkları katılmasının yoğunluk ve viskozitede düşüş sağlarken, ısıl değeri artırdığı ancak alevlenme sıcaklığı üzerinde etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Fangsuwannarak ve diğ., 2016). Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına Al₂O₃ katılmasının yoğunluk, viskozite, alevlenme sıcaklığı ve ısıl değerde artış sağladığı belirlenmiş (Aalam ve diğ., 2015c; Karthikeyan ve diğ., 2014; Ghogare ve Kale, 2016a; Ghogare ve Kale, 2016b) olmakla birlikte ısıl değeri düşürdüğü yönünde bulgularda vardır (Sanjay ve diğ., 2016). Dizel-biyodizel karışımlarına CuO katılmasının ısıl değer dışındaki yakıt özelliklerinde düşüş sağladığı bildirilmiştir (Chandrasekaran ve diğ., 2016; Kumar ve diğ., 2017). Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına ZnO

katılmasının tüm yakıt özelliklerinde artış sağladığını bildiren çalışmalar (Karthikeyan ve diğ., 2014a; Silambaras ve Senthil, 2016; Karthikeyan ve diğ., 2014c) olmasına rağmen yoğunluk ve tutuma sıcaklığını azalttığı yönünde bulgular da vardır (Karthikeyan ve diğ., 2014a). Dizel-biyodizel karışımlarına Fe_3O_4 katılmasının yoğunluk ve viskozitede artış, ısıl değer de ise düşüş sağladığı bildirilmiştir (Santhanamuthu ve diğ., 2014). Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına MnO_2 ve NiO katkısının viskozite ve alevlenme sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir (Keskin ve diğ., 2007). Dizel-biyodizel karışımlarına CeO_2 katılmasının yoğunluk ve tutuşma noktası sıcaklığını düşürdüğü yönünde çalışma sonuçları (Karthikeyan ve diğ., 2016; Ramarao ve diğ., 2015) olmakla birlikte tüm yakıt özelliklerinde artış sağladığını bildiren çalışmalar da (Karthikeyan ve diğ., 2014d; Sathiyamoorthi ve diğ., 2016) vardır. Farklı oranlarda biyodizel içeren yakıt karışımlarına $Ce-Zr-O_2$ katılmasının yoğunluk, viskozite ve alevlenme sıcaklığını artırdığı bildirilmiştir (Sajith ve diğ., 2015). Dizel-biyodizel karışımlarına TiO_2 katılmasının bazı yakıt özelliklerinde artış sağlarken bazılarında ise düşüş sağladığı bildirilmiştir (D'Silva ve diğ., 2016; Fangsuwannarak ve diğ., 2013b). Dizel-biyodizel karışımına CeO_2 ile birlikte ÇTKNT katılmasının setan sayısını düşürürken tutuşma sıcaklığında artış sağladığı belirlenmiştir (Karthikeyan ve diğ., 2016). Etanol içeren dizel-biyodizel karışımlarına $n-Al$ ve Al_2O_3 katılması yoğunluk, viskozite ve ısıl değerde azalmaya neden olduğu (Madhukrishnaa ve diğ., 2016; Sahafi ve Velraj, 2015), $n-Al$ katkısının tutuşma sıcaklığını (Madhukrishnaa ve diğ., 2016) ve Al_2O_3 katkısının ise setan sayısını artırdığı (Sahafi ve Velraj, 2015) belirlenmiştir.

NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN EMİSYONLARA ETKİLERİ (EFFECTS OF ADDITIVES INCLUDING NANOMATERIALS ON THE EMISSIONS)

Nano Materyallerin Dizel Yakıtı ve Emülsiyonlarının Emisyonlarına Etkileri (Effects of the Nanomaterials on the Emissions of Diesel Fuel and Its Emulsions)

Nanomateriyal içerikli katkıların egzoz emisyonlarına etkileriyle ilgili sayısal değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Dizel yakıtına katılan $n-Al$ katkısının yakılabilen yakıt miktarını artırarak CO , HC , is ve NO_x emisyonlarını azalttığı CO_2 emisyonunu ise artırdığı bildirilmiştir (Kao ve diğ., 2008; Babu ve Raja, 2015). Ancak, NO_x emisyonunun yanma sıcaklıklarının artışından dolayı $n-Al$ katkısı ile arttığı yönünde bulgular da mevcuttur (Mohan ve diğ., 2015). Dizel yakıtına $n-Ag$ katılmasının CO , HC ve NO_x emisyonlarını azalttığı CO_2 emisyonunu ise artırdığı belirlenmiştir (Saraee ve diğ., 2015). Dizel yakıtına katılan $n-Ce$ ve $n-Pt$ katkısının is emisyonunu önemli ölçüde düşürdüğünü belirlenmiştir (Jung ve diğ., 2005). Okuda ve diğ. (2009) $n-Fe$ ve $n-B$ katkısının CO ve HC emisyonlarını azalttığı NO_x emisyonunu ise artırdığı tespit etmiştir. Al_2O_3 katkısının CO , HC , is ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı birçok çalışmada tespit edilmiştir (Venkatesan, 2015; Raj ve diğ., 2016; Venkatesan ve Kadiresh, 2015). ZnO katkısının is ve NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu bildirilmektedir (Selvaganapthy ve diğ., 2013). Fe_3O_4 katkısının CO ve is emisyonlarını artırırken HC ve NO_x emisyonunu azalttığı belirlenmiştir (Shafil ve diğ., 2011; Sarvestany ve diğ., 2013; Mahendrarman ve diğ., 2016; Ramachandran, 2015). Ancak, Fe_2O_3 ve Fe_3O_4 katkısının CO ve HC emisyonlarını azalttığı NO_x emisyonunu ise artırdığı yönünde bulgular da vardır (Aalam ve diğ., 2015a). CuO (Gumus ve diğ., 2016) ve Co_3O_4 (George ve diğ., 2015) katkısının ise CO , HC ve NO_x emisyonlarında iyileşme sağladığı bildirilmiştir. TiO_2 katkısının CO emisyonunda azalma sağlamasına rağmen, diğer emisyonlara etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Ooi ve diğ., 2016). MnO ve MnO_2 ile MgO katkısının yanmayı iyileştirerek CO ve is emisyonlarında azalma NO_x ve CO_2 emisyonlarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Lenin ve diğ., 2013; Keskin ve diğ., 2011). CaO katkısının yanma verimini artırarak CO emisyonunda azalma CO_2 artış meydana getirdiği belirtilmiştir (Guru ve diğ., 2002). Dizel yakıtına CeO_2 katılmasının tüm emisyon değerlerinde azalma sağladığı birçok çalışmada tespit edilmiştir (Sajeevan ve diğ., 2013; Selvan ve diğ., 2009; Venkatesan ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2013; Narasiman ve diğ., 2015; Aalam ve Alagappan, 2015; Thirumal ve diğ., 2015; Venkatesan ve Kadiresh, 2016). Dizel yakıtına ÇTKNT katkısının CO ve HC emisyonlarını artırırken is ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı bildirilmiştir (Aalam ve diğ., 2015). Farklı oranlarda su içeren dizel emülsiyon yakıtlara $n-Al$ katkısının CO , HC , is ve NO_x emisyonlarında azalma

sağladığı (Basha ve Annand, 2011a) n-Al ve n-Si katkısının ise HC ve NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu (Mehta ve diğ., 2014) bildirilmiştir. Farklı oranlarda su içeren dizel emülsiyon yakıtlara ÇTKNT katılmasıyla tutuşma gecikmesi süresinin kısılması ve yanma veriminin artması sonucu CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında azalma CO₂ emisyonunda ise artış olduğu tespit edilmiştir (Singh ve Bharj, 2015; Singh ve Bharj, 2016). Farklı oranlarda etanol içeren dizel emülsiyon yakıtlarına Al₂O₃ ve CeO₂ katılmasının CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı bildirilmiştir (Chaudhari ve diğ., 2014; Mehregan ve Moghiman, 2014).

Çizelge 2. Nanomateryal içerikli katkıların egzoz emisyonlarına etkileri

Table 2. Effects of the additives including nanomaterials on the emissions

Ana yakıt+katkı	CO (%değişim)	HC (%değişim)	PM-is (%değişim)	NO _x (%değişim)	CO ₂ (%değişim)	Kaynak
D+30-50 cc/L n-Al	-	-	↓	↓	-	Kao ve diğ., 2008
D+25-75 ppm n-Al	↑	↑	↓	↓	↑	Babu ve Raja, 2015
D+%0,5 n-Al	↓ 25-40	↓ 8	-	↑ 3-5	-	Mohan ve diğ., 2015
D+10-40 ppm n-Ag	-	↓ 4-28	-	↓ 13-23	↑	Saraee ve diğ., 2015
D+ n-Ce ve n-Pt	-	-	↓ 23-54	-	-	Okuda ve diğ., 2009
D+n-Fe, n-Al, n-B	↓ 25-40	↓ 4-8	-	↑ 3-5	-	Mehta ve diğ., 2014
D+1-1,5 g/L Al ₂ O ₃	↓ 22,8-28,6	↓ 29,6-35,2	↓ 10,3-14,5	↓ 30,7	-	Venkatesan, 2015
D+25-50 ppm Al ₂ O ₃	↓ 40-50	↓ 40-45	↓ 20-30	↓ 23	-	Raj ve diğ., 2016
D+250-1000 ppm Al ₂ O ₃	-	↓ 13-18	↓ 12	↓ 36	-	Venkatesan ve Kadiresh, 2015
D+250-500 ppm ZnO	-	-	↑ 1,1-2,1	↑ 0,2-0,7	-	Selvaganapthy ve diğ., 2013
D+%0,4-0,8 Fe ₃ O ₄	↑	-	-	↓	-	Shafil ve diğ., 2011
D+%0,4-0,8 Fe ₃ O ₄	↑ 100-125	-	↑	↓ 56-67	-	Sarvestany ve diğ., 2013
D+150-300 mg/L Fe ₃ O ₄	↑	↓ 30	-	↓ 22	-	Mahendrarvarman ve diğ., 2016
D+%4-12 Fe ₃ O ₄	↑	-	-	↓	-	Ramachandran, 2015
D+25-50 ppm Fe ₂ O ₃ ve Fe ₃ O ₄	↓ 48-52	↓	-	↑ 2,2-11,2	-	Aalam ve diğ., 2015
D+25-100 ppm Al ₂ O ₃	↓ 11	↓ 13	-	↓ 6	-	Gumus ve diğ., 2016
D+50 ppm CuO	↓ 5	↓ 8	-	↓ 2	-	Gumus ve diğ., 2016
D+50 ppm Al ₂ O ₃ ve Co ₃ O ₄	↓ 20	↓ 15-20	-	↓	-	George ve diğ., 2015
D+100-300 ppm Al ₂ O ₃	↓ 72,7	-	-	→	→	Sungur ve diğ., 2016
D+100-300 ppm TiO ₂	↓ 18,2	-	-	→	→	Ooi ve diğ., 2016
D+200 mg/L MnO	↓ 37	-	-	↓ 4	-	Lenin ve diğ., 2013
D+8-16 μmol/L MnO ₂	↓ 16,4	-	↓ 29,8	↑	↑ 2,9	Keskin ve diğ., 2011
D+8-16 μmol/L MgO	↓ 13,4	-	↓ 17,9	↑	↑ 2,8	Keskin ve diğ., 2011
D+MnO ₂ , MgO, CuO, CaO	↓ 14,3	-	-	-	↑ 7,4	Guru ve diğ., 2002
D+50 cc/L CeO ₂	-	↓ 40-45	-	↓ 30	-	Sajeevan ve diğ., 2013
D+25 ppm CeO ₂	↓	↓	-	-	-	Selvan ve diğ., 2009
D+ 50 cc/L CeO ₂	-	↓ 31,2	↓ 10,3	↓ 17	-	Venkatesan ve diğ., 2014
D+0,05-5 mL/L CeO ₂	↓ 10,6-14,6	-	↓ 11-46,1	↓ 8,7-27,8	↓ 5,6-11,3	Zhang ve diğ., 2013
D+25 ppm CeO ₂	↑	↓	-	↑	-	Narasiman ve diğ., 2015
D+25-50 ppm CeO ₂	↓ 48-58	↓ 35	↓ 36,1	↑ 3,5-11,5	-	Aalam ve Alagappan, 2015
D+25-50 ppm CeO ₂	↓ 35,7	↑	↓ 10-15	↓ 9,2-14	-	Thirumal ve diğ., 2015
D+50 cc/L CeO ₂	-	↓ 31,5	↓ 10,5	↓ 17	-	Venkatesan ve Kadiresh, 2016
D+%0,2 TiO ₂	↓ 76-85	-	-	↓	↓	Fangsuwannarak ve diğ., 2013
D+25-50 ppm ÇTKNT	↑ 36,7-53	↑ 14,3-28,6	↓ 10-16	↓ 14,9-27,6	-	Aalam ve diğ., 2015
DW15+25-100 ppm n-Al	↓ 10-20	↓ 9,9-22	↓ 1-5	↓ 2-11,7	-	Basha ve Annand, 2011a
DW1+%0,1 n-Al	-	↑ 4	-	↑ 5	-	Mehta ve diğ., 2014
DW1+%0,1 n-Si	-	↑ 9	-	↑ 4	-	Mehta ve diğ., 2014
DW15+50-150 ppm ÇTKNT	↓	↓ 17,7	-	↓ 17,6-33,8	↑	Singh ve Bharj, 2015
DW20+50-150 ppm ÇTKNT	↓	↓ 10-24	↓ 6-17	↓ 15,6-26,8	↑	Singh ve Bharj, 2016
DW5+%3 Flyash	↓	↓ 31,4-34,3	-	↓ 7,5-10	↓ 0,7-1,2	Chaudhari ve diğ., 2014
n-Dekan+n-Al	↓	-	-	↓	-	Mehregan ve Moghiman, 2014
DE10+10-20 g/L CeO ₂	-	↓	↓	↓	-	Manikan ve Sethuraman,

						2014
DE15+50-75 ppm Al ₂ O ₃	↓ 19	↓ 10,9	↓ 11,1	↑	-	Ganesh ve Reddy, 2016
BD+50 ppm n-Al		↓ 13,3	↓ 11	↓ 20,8	-	Basha ve Annand, 2013
BD+100 mg/L n-Al-Mg	↓ 66	↓ 70	-	↓ 34	-	Ganesh ve Gowrishankar, 2011
BD+50 ppm n-Ag	↓	↓	↓	↓	-	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+50 ppm n-G	↓	↓	↓	↓	-	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+25-50 ppm n-Ag	↓	↓	-	↓	-	Banapurmath ve diğ., 2014b
BD+25-50 ppm n-G	↓	↓	↓	↓	-	Bhagwat ve diğ., 2015
BD+4-16 µmol/L n-Mn	↓ 3,8-16	↓ 4,1-5	↓ 0,7-3,9	↑ 5,1-22,2	-	Çelik, 2016
BD+25 ppm/L CeO ₂	↑	↓	-	↑	-	Narasiman ve diğ., 2015
BD+50 cc/L CeO ₂	-	↓ 50	↓ 14,5	↓ 23,5	-	Venkatesan ve Kadires, 2016
BD+30 ppm/L CeO ₂	↓ 20	↓ 28	↓ 20	↓ 7	-	Arockiasamy ve Anand, 2015
BD+30 ppm/L Al ₂ O ₃	↓ 20	↓ 33	↓ 17	↓ 9	-	Arockiasamy ve Anand, 2015
BD+100-300 ppm Al ₂ O ₃	↓ 8,1-16,6	↓ 3,8-10,4	↓ 3,1-8,6	↓ 3,1-7,2	↓ 2,1-6,1	Balaji ve Cheralathan
BD+5-50 µmol/L FeCl ₃	↓	↓ 26,6-63,7	↓ 21,8	↑ 4,1	↑ 14,2	Yuvarajan ve Ramanan, 2016
BD+%1 Fe ₃ O ₄	↓ 2,7	↓ 5,8	-	↓ 7,7	-	Kannan ve diğ., 2011
BD+100 mg/L Co ₃ O ₄	↓ 50	↓ 83	-	↓ 47	-	Ganesh ve Gowrishankar, 2011
BD+150 mg/L Co ₃ O ₄	↓ 30	↓ 80	-	↑	-	Jeryraj Kumar ve diğ., 2016
BD+150 mg/L TiO ₂	↓ 25	↓ 70	-	↑	-	Jeryraj Kumar ve diğ., 2016
BD+ Rh ₂ O ₃	↓ 45	↓ 45	-	↓ 37	-	Manibharathi ve diğ., 2014
BD+20-80 ppm CeO ₂	↓↑	↓ 25-40		↓ 30	-	Sajith ve diğ., 2010
BD+25-50 ppm KNT	↓	↓ 18,3-23,3	↓ 7-10	↓ 21,9-23,2	-	Basha ve Annand, 2013
BD+100-300 ppm KNT	↓ 8,6-16,2	↓ 3,7-10,4	↓ 3,2-8,4	↓ 2,9-7,3	-	Balaji ve Cheralathan, 2015
BD+100 ppm KNT	↓	↓ 38,5	-	↓ 21,2	-	Thulasi ve diğ., 2016
BD+50 ppm ÇTKNT	↓	↓	↓	↓	-	Banapurmath ve diğ., 2014a
BD+25-50 ppm ÇTKNT	↓ 33,3-53,3	↓ 14,6-29,3	↓ 19,2-32,2	↑ 3,5-29,3	-	Tewari ve diğ., 2013
BDW15+25-100 ppm n-Al	↓	↓ 4,7-18,6	↓ 2-8	↓ 5,1-12	-	Basha ve Annand, 2011b
BDW15+50 ppm CeO ₂	↓	↓ 2	-	↓ 11,8	-	Anbarasu, 2015
BDW5+30 ppm CeO ₂	↓ 15,7	↓ 16	↓ 6,4	↓ 24,8	-	Annamalai ve diğ., 2016
BDW5+25-100 ppm KNT	↓ 11,8-29,4	↓ 5-10	↓ 3-11	↓ 2,8-9,1	-	Basha ve Annand, 2014
BDE20+25 ppm TiO ₂	↑	↑	↑	↓	↓	Venu ve Madhavan, 2016
BDE20+25 ppm ZrO ₂	↑	↑	↓	↓	↓	Venu ve Madhavan, 2016
DBD10+%1,5 n-Cu	→	↑	↓	↓ 16,3	↓	Balamurugan ve diğ., 2013
DBDX+0,04-0,16 g/L n-BP	↓ 14,3-84,7	-	-	↓ 63,2-94,5	↓ 53,3-84,7	Fangsuwannarak ve diğ., 2016
DBD20+25-75 ppm Al ₂ O ₃	↓	↓	-	↑	-	Kumar ve diğ., 2016
DBD20+30 mg/L Al ₂ O ₃	↓	↓	-	↓	-	Ramesh ve diğ., 2016
DBD25+25-50 ppm Al ₂ O ₃	↓ 22,2-51,1	↓ 25-36,1	↓ 15-20	↑ 9,8-18,5	-	Aalam ve diğ., 2015
DBD20+50-100 ppm Al ₂ O ₃	↓	↓	↓	↓	-	Karthikeyan ve diğ., 2014a
DBDX+50-100 ppm Al ₂ O ₃	-	-	↓ 7	-	-	Ghogare ve Kale, 2016a
DBDX +50-100 ppm Al ₂ O ₃	-	-	↓	-	-	Ghogare ve Kale, 2016b
DBDX+100 ppm Al ₂ O ₃	↓ 25	↓ 15	↓ 25	-	-	Sanjay ve diğ., 2016
DBD20+50-150 ppm Al ₂ O ₃	↓ 19	↓ 14,8	-	↓ 4,3	-	Prakash ve diğ., 2016
DBD20+40-80 ppm Al ₂ O ₃	↓ 19	↓ 6,8-8	↓ 3,2-5,9	↑ 3,5-3,7	-	Aalam ve Saravanan, 2015
DBD20+40-120 ppm CuO	↓	↓	-	↓	-	Jayanthi ve diğ., 2016
DBD20+50 ppm CuO	↓	↓	↓	↑	↑	Chandrasekaran ve diğ., 2016
DBD20+50 ppm CuO	↓	↓	↓	-	↓	Kumar ve diğ., 2017
DBD20+50 ppm MgO	↓	↓	↓	-	↓	Kumar ve diğ., 2017
DBD20+50-100 ppm ZnO	↓	↓	↓	→	-	Karthikeyan ve diğ., 2014b
DBD20+50-100 ppm ZnO	↓	↓	↓	↑	↑	Karthikeyan ve diğ., 2014c
DBD20+50-100 ppm ZnO	↓ 14,8	↓ 4,8	↓ 7,1	↓ 3,8	-	Silambarasan ve Senthil, 2016
DBD20+50-100 ppm ZnO	↓	↓	-	↑	-	Karthikeyan ve diğ., 2014d
DBD20+40-80 ppm Fe ₃ O ₄	↓ 17	↓ 4,5-5,7	↓ 5,9-10,2	↑ 4,6-5,6	-	Aalam ve Saravanan, 2015
DBDX+100-300 ppm Fe ₃ O ₄	↓	↓ 10-20	↓ 10-15	↓ 50	↑	Santhanamuthu ve diğ., 2014
DBD60+8-12 µmol/L MnO ₂	↓ 64,3	-	↓ 30,3	↑	-	Keskin ve diğ., 2007
DBD60+8-12 µmol/L NiO	↓	-	↓	↓	-	Keskin ve diğ., 2007
DBDX+Rh ₂ O ₃	↓ 20	↓ 25	-	↓ 17	-	Manibharathi ve diğ., 2015

DBDX+3 mg/L CeO ₂	-	↓	↑	↓	-	Ingle ve diğ., 2016
DBD20+50-100 ppm CeO ₂	↓	↓	-	↓	-	Karthikeyan ve diğ., 2016
DBDX+0,04-0,08 g/L CeO ₂	↓	↓	-	↓	-	Ramarao ve diğ., 2015
DBD20+50-100 ppm CeO ₂	↓	↓	-	↓	-	Karthikeyan ve diğ., 2014e
DBD20+50 ppm CeO ₂	↓ 3,4	↓ 2,7	↓ 4,4	↓ 8,4	-	Sathiyamoorthi ve diğ., 2016
DBDX+2,5-15 ppm Ce-Zr-O ₂	-	↓	-	↓ 15	-	Sajith ve diğ., 2015
DBD20+100 ppm CaCO ₃	-	-	↑-↓	↓	-	D'Silva ve diğ., 2016
DBD20+100 ppm TiO ₂	-	-	↓ 16	↑	-	D'Silva ve diğ., 2016
DBDX+%0,1-0,2 TiO ₂	↓ 29	↓	-	↓	↓	Fangsuwannarak ve diğ., 2013
DBD20+250-500 ppm TiO ₂	↓ 15,4-38,5	↓ 19,2-26,9	↓	↑ 2,3-4,7	-	Prabhu ve diğ., 2015
DBDX+30-90 ppm CeO ₂ ve ÇTKNT	↓ 38,8	↓ 71,4	↓ 26,3	↓ 18,9	-	Mirzajanzadeh ve diğ., 2015
DBD20+30-90 ppm CeO ₂ ve ÇKKNT	↓	↓	↓	↓	-	Karthikeyan ve Prathima, 2016
DBD20+30 ppm ÇTKNT	↓ 14	↓ 22	-	-	↑ 23	Ghafoori ve diğ., 2015
DBD10E4+100 mg/L n-Al	↑-↓	↑-↓	-	↑ 2,6	↓	Madhukrishnaa ve diğ., 2016
DBD10E4+100 mg/L Al ₂ O ₃	↑66-↓ 40	↓	-	↑	↓ 3,3	Sahafi ve Velraj, 2015
DBD10E20+25-100 ppm CeO ₂ ve KNT	↑ 28,6	↓ 39,2	↑-↓ 47,6	↓ 9,8-↑	-	Selvan ve diğ., 2014

Nano Materyallerin Biyodizel Yakıtları ve Emülsiyonlarının Emisyonlarına Etkileri (Effects of the Nanometaterials on the Emissions of Biodiesel Fuels and Their Emulsions)

Jatropha yağı biyodizel yakıtına katılan n-Al ve n-Al-Mg katkısının hızlı buharlaşma ve tutuşma gecikmesi süresinde kısalma sağladığı ve bunun sonucunda yanmanın iyileşmesiyle CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında azalma olduğu bildirilmiştir (Basha ve Annand, 2013; Ganesh ve Gowrishankar, 2011). Benzer şekilde, Honge yağı biyodizel yakıtına n-Ag ve n-G katkılarının katolizör etkisi sayesinde yanmayı iyileştirmesi sonucunda CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında düşüş olduğu belirlenmiştir (Banapurmath ve diğ., 2014a; Banapurmath ve diğ., 2014b; Bhagwat ve diğ., 2015). Pamuk yağı biyodizel yakıtına katılan n-Mn yanma verimini artırarak CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı ancak artan yanma sıcaklıkları nedeniyle NO_x emisyonunun arttığı bildirilmiştir (Çelik, 2016). Jatropha yağı biyodizel yakıtına katılan CeO₂ katkısının yapısındaki oksijen ve katalizör etkisi sayesinde yanma verimini artırıp CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı bildirilmiştir (Venkatesan ve Kadiresh, 2016; Arockiasamy ve Anand, 2015). Benzer şekilde, Jatropha yağı ve Neem yağı biyodizel yakıtlarına Al₂O₃ katılmasının tüm emisyon değerlerinde azalma sağladığı tespit edilmiştir (Arockiasamy ve Anand, 2015; Balaji ve Cheralathan). Atık yağ biyodizel yakıtına FeCl₃ katkısının CO, HC ve is emisyonlarında düşüşe, NO_x ve CO₂ emisyonlarında ise artışa neden olduğu bildirilmiştir (Yuvarajan ve Ramanan, 2016). Mustard yağı biyodizel yakıtına %1 oranında Fe₃O₄ katılmasının yanma karakteristiklerini iyileştirmesi sonucunda CO, HC ve NO_x emisyonlarında düşüş sağladığı belirlenmiştir (Kannan ve diğ., 2011). Co₃O₄ katkısının Jatropha yağı biyodizel yakıtına katılmasıyla CO, HC ve NO_x emisyonlarında düşüş (Ganesh ve Gowrishankar, 2011) Calophyllum yağı biyodizel yakıtına katılması durumunda ise CO ve HC emisyonlarında düşüş ve yanma sıcaklıklarındaki artış nedeniyle NO_x emisyonunda artış olduğu bildirilmiştir (Jeryrajkumar ve diğ., 2016). Benzer değişim Calophyllum yağı biyodizel yakıtına TiO₂ katılması durumunda da gözlemlenmiştir (Jeryrajkumar ve diğ., 2016). Pongamia yağı biyodizel yakıtına Rh₂O₃ katkısının yanma odasında daha homojen bir yakıt hava karışımı oluşturarak CO, HC ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı belirlenmiştir (Manibharathi ve diğ., 2014). Farklı türden biyodizel yakıtlara KNT ve ÇTKNT katılmasının tüm emisyonlarda önemli iyileşmeler sağladığı tespit edilmiştir (Basha ve Annand, 2013; Banapurmath ve diğ., 2014a; Balaji ve Cheralathan, 2015; Thulasi ve diğ., 2016; Tewari ve diğ., 2013). Farklı oranlarda su içeren biyodizel emülsiyon yakıtlara n-Al, CeO₂ ve KNT katkısının emisyon değerlerinde iyileşme sağladığı bildirilmiştir (Basha ve Annand, 2011b; Anbarasu, 2015; Annamalai ve diğ., 2016; Basha ve Annand, 2014). Jatropha yağı biyodizel-etanol karışım yakıtına katılan TiO₂ ve ZrO₂'in yanma sırasında ilave oksijen sağlayarak yanma veriminin artmasını sağladığı ifade edilmiştir. Ancak, etanol katkısının yanma sıcaklıklarını

düşürmesi sonucunda NO_x ve CO₂ emisyonlarında azalma CO, HC ve is emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir (Venu ve Madhavan, 2016).

Nano Materyallerin Dizel-Biyodizel Karışımlarının Emisyonlarına Etkileri (Effects of the Nanometaterials on the Emissions of Diesel-Biodiesel Blends)

Dizel-Soya yağı biyodizel yakıt karışımına katılan n-Cu katkısının yanma odasında CuO oluşturması sonucu NO_x emisyonunda azalma sağladığı ve oluşan CuO'nun yakılabilen karbon miktarını artırarak is emisyonunu azalttığı, ancak n-Cu katkısının CO, HC ve CO₂ emisyonlarına önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Balamurugan ve diğ., 2013). Dizel-Palmiye yağı biyodizel yakıt karışımlarına katılan nano biyopolimer parçacıklarının katalizör etkisi sayesinde CO, NO_x ve CO₂ emisyonlarında azalttığı belirtilmiştir (Fangsuwannarak ve diğ., 2016). Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına Al₂O₃ katılmasının CO, HC, is ve NO_x emisyonlarını azalttığı yönünde bulgular (Kumar ve diğ., 2016; Ramesh ve diğ., 2016; Aalam ve diğ., 2015c; Karthikeyan ve diğ., 2014a; Ghogare ve Kale, 2016a; Ghogare ve Kale, 2016b; Sanjay ve diğ., 2016; Prakash ve diğ., 2016; Aalam ve Saravanan, 2015) olmakla birlikte, Al₂O₃ katkısıyla NO_x emisyonlarının arttığı yönünde bulgular (Kumar ve diğ., 2016; Aalam ve diğ., 2015c; Aalam ve Saravanan, 2015) da vardır. Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına CuO ve MgO katılmasının CO, HC, is, NO_x ve CO₂ emisyonlarını azalttığı yönünde sonuçlar (Jayanthi ve diğ., 2016; Chandrasekaran ve diğ., 2016; Kumar ve diğ., 2017) olmasına karşın, CuO katkısıyla NO_x ve CO₂ emisyonlarının arttığı yönünde sonuçlar (Chandrasekaran ve diğ., 2016) da bulunmaktadır. Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına ZnO katılmasının CO, HC, is ve NO_x emisyonlarını azalttığı yönünde bulgular (Karthikeyan ve diğ., 2014b; Karthikeyan ve diğ., 2014c; Silambarasan ve Senthil, 2016; Karthikeyan ve diğ., 2014d) olmasına rağmen, ZnO katkısıyla NO_x ve CO₂ emisyonlarının arttığı yönünde bulgular (Karthikeyan ve diğ., 2014c; Karthikeyan ve diğ., 2014d) da mevcuttur. Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına katılan Fe₃O₄'in içeriğindeki oksijen sayesinde genel olarak emisyon değerlerinde azalama sağladığı ancak NO_x emisyonunun artan oksijen konsantrasyonu sebebiyle artış gösterdiği bildirilmiştir (Aalam ve Saravanan, 2015; Santhanamuthu ve diğ., 2014). Dizel-Tall yağı biyodizel karışımına MnO₂ ve NiO katılması ile CO ve is emisyonlarında azalma olduğu, NO_x emisyonunun ise NiO katkısı ile azalırken yanma sıcaklıklarındaki artışa bağlı olarak MnO₂ katkısı ile artış gösterdiği tespit edilmiştir (Keskin ve diğ., 2007). Dizel-Pongamia yağı biyodizel karışımlarına katılan Rh₂O₃'in içeriğindeki oksijen sayesinde CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı bildirilmiştir (Manibharathi ve diğ., 2015). Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına CeO₂ ve Ce-Zr-O₂ katılmasının genel olarak emisyon değerlerinde azalma sağladığı birçok çalışmada tespit edilmiştir (Ingle ve diğ., 2016; Karthikeyan ve diğ., 2016; Ramarao ve diğ., 2015; Bafghi ve diğ., 2015; Karthikeyan ve diğ., 2014e; Sathiyamoorthi ve diğ., 2016; Sajith ve diğ., 2015). Dizel-Pongamia yağı biyodizel karışımına CaCO₃ katkısının NO_x emisyonunda azalma sağlarken is emisyonuna pek etkisinin olmadığı belirlenmiş, TiO₂ katkısının ise is emisyonunda azalma sağlarken NO_x emisyonunda artışa neden olduğu bildirilmiştir (D'Silva ve diğ., 2016). Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına TiO₂ katılmasının CO, HC ve is emisyonlarında iyileşme sağladığı ancak NO_x emisyonunda artış olduğu rapor edilmiştir (Fangsuwannarak ve diğ., 2013b; Prabhu ve diğ., 2015). Farklı türde biyodizel-dizel yakıt karışımlarına ÇTKNT katılmasının genel olarak CO, HC, is ve NO_x emisyonlarında azalma sağladığı çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir (Mirzajanzadeh ve diğ., 2015; Karthikeyan ve Prathima, 2016; Ghafoori ve diğ., 2015). Etanol içeren dizel-biyodizel yakıt karışımlarında farklı türden nano materyaller kullanıldığında ise CO emisyonunda artış, HC emisyonunda düşüş ve NO_x emisyonunda artış olduğu yönünde sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar üzerinde etanolün etkisinin olduğu belirtilmiştir (Madhukrishnaa ve diğ., 2016; Sahafi ve Velraj, 2015; Selvan ve diğ., 2014).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECCOMANDATIONS)

Bu çalışma, dizel, biyodizel, su içeren emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımları gibi farklı dizel motor yakıtlarında nano materyal içerikli katkıların kullanımı üzerine yapılmış çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Yapılan bu derleme sonucunda çeşitli nano materyal içerikli katkıların dizel, biyodizel, emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımlarının özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılabileceği görülmüştür. Elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- Nano materyal içerikli katkılar genelde tutuşma ve alevlenme noktası sıcaklıklarını artırdığından yakıtın depolanması ve nakledilmesi hususunda bir avantaj oluşturmaktadır. Ancak, tutuşma noktası sıcaklığının dizel yakıtına katılan grafit oksit (Ooi ve diğ., 2016), CuO (Lenin ve diğ., 2013), MnO ve MnO₂ (Guru ve diğ., 2002) ve MgO (Keskin ve diğ., 2011) katkılarıyla azaldığına dair çalışma sonuçları da mevcuttur. Ayrıca, farklı biyodizel yakıtlara katılan n-Al, n-Ag, nano grafit (Banapurmath ve diğ., 2014a; Banapurmath ve diğ., 2014b) ve n-Mn (Çelik, 2016) parçacıkları ile Al₂O₃, Fe₃O₄, CeO₂ (Arockiasamy ve Anand, 2015) ve FeCl₃ (Kannan ve diğ., 2011) gibi nano akışkanların tutuşma noktası sıcaklığını düşürdüğü yönünde de sonuçlar bulunmaktadır.
- Nano materyal içerikli katkıların akma ve bulutlanma noktası sıcaklıklarını düşürmesi sayesinde (Lenin ve diğ., 2013; Keskin ve diğ., 2011) soğuk havalarda motorun ilk harekete geçişini kolaylaştırabileceği ifade edilmektedir.
- Nano materyal katkıların artırılmış yüzey alanı/hacim oranı, artırılmış radyasyon/kütle transfer özellikleri ve iyi tutuşma özellikleri sayesinde yanmanın iyileşmesinde iyi bir katalizör etkisi yapabileceği ifade edilmektedir (Jose ve Anand, 2011).
- Nano materyal içerikli katkıların yanma sırasında oluşan suyun oksijeni ile reaksiyona girip hidrojenin serbest kalmasını sağlayarak yanma esnasında daha fazla enerjinin açığa çıkmasına katkı sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca, emülsiyon yakıtlara nano materyal içerikli katkıların katılmasının yanma sırasında mikro patlamalar meydana getirerek yanma odasında ikincil atomizasyonlar oluşturup yanma verimini dolayısıyla motor performansını artırıp emisyonları azaltacağı yönünde bulgular mevcuttur (Ghogardare ve Hudgikar, 2016; Soni ve diğ., 2015).
- Genel olarak nano materyal içerikli katkıların setan sayısı ve ısıl değeri artırdığı belirtilmektedir. Bunun ise yanma verimini artırarak motor performansını iyileştireceği ifade edilmektedir (Khond ve Kriplani, 2016). Ancak, setan sayısının grafit oksit, Al₂O₃ (Ooi ve diğ., 2016), CeO₂ ve ÇTKNT (Karthikeyan ve diğ., 2016) katkılarıyla azaldığı yönünde de bulgular vardır. Ayrıca, nano silikon (Mehta ve diğ., 2014), nano grafit (Banapurmath ve diğ., 2014a; Banapurmath ve diğ., 2014b), KNT (Tewari ve diğ., 2013), ÇTKNT (Singh ve Bharj, 2015) ile CeO₂ (Arockiasamy ve Anand, 2015) katkılarının ısıl değeri düşürdüğü yönünde sonuçlar da bulunmaktadır.
- Nano materyal içerikli katkıların aktivasyon enerjilerinin yüksek olması nedeniyle yanma odasındaki karbon birikintilerini yakarak daha düşük HC ve is emisyonu sağlayabileceği belirtilmektedir (Ghogardare ve Hudgikar, 2016; Soni ve diğ., 2015). Ancak, n-Al ve n-Si (Mehta ve diğ., 2014) ile ÇTKNT (Aalam ve diğ., 2015) katkılarının HC emisyonlarında artışa neden olduğunu bildiren sonuçlar da bulunmaktadır.
- Özellikle içeriğinde oksijen bulunan nanomateryallerin CO, HC ve is gibi eksik yanma ürünü olan emisyonların azaltılmasına katkı sağladığı yönünde bulgular çoğunluktadır. Bunun sonucunda tam yanma ürünü ve aynı zamanda sera gazı olan CO₂ oranında artış meydana geldiği birçok çalışmada belirtilmektedir. Yanma sıcaklıklarında ve oksijen miktarındaki artışa bağlı olarak NO_x emisyonlarının nanomateryal içerikli katkılarla arttığı yönünde bulgular çoğunluktadır. Ancak, Al₂O₃ (Venkatesan, 2015), Fe₃O₄ (Shafil ve diğ., 2011), CeO₂ (Chaudhari ve diğ., 2014) ve ÇTKNT (Aalam ve diğ., 2015) katkılarının NO_x emisyonlarında azalma sağladığı da tespit edilmiştir.
- Suyu emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda ve etanol içeren yakıt karışımlarında emülsiyonu oluşturan etanol veya suyun etkilerinin baskın hale geldiği ve yanma sıcaklıklarının düşmesi nedeniyle

NO_x emisyonlarının azaldığı bildirilmektedir. Ancak, bu durumda düşük yanma sıcaklıklarının CO, HC ve is gibi eksik yanma ürünlerini genelde arttığı belirtilmektedir. Ancak, etanol içeren dizel emülsiyon yakıtlarına Al₂O₃ ve CeO₂ katılmasının CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı da bildirilmiştir (Chaudhari ve diğ., 2014; Mehregan ve Moghiman, 2014).

- Nano materyal içerikli katkıların yakıt sistemi elemanlarına, motor elemanlarına ve egzoz gazı cihazlarına etkileri ile ekonomiklik ve çevre etkileri açısından da ayrıntılı olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aalam, C.S., Alagappan N., 2015, "Cerium Oxide Nano Particles as Additive with Diesel Fuel on DI Diesel Engine", *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 215-219.
- Aalam, C.S., Saravanan, C.G., 2015, "Performance Enhancement of Common-Rail Diesel Engine Using Al₂O₃ and Fe₃O₄ Nanoparticles Blended Biodiesel", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 5, pp. 1400-1410.
- Aalam, C.S., Saravanan, C.G., Premanand, B., 2015a, "Influence of Iron (II, III) Oxide Nano-Particles Fuel Additive on Exhaust Emissions and Combustion Characteristics of CRDI System Assisted Diesel Engine", *Int J Adv Eng Res Sci*, Vol. 2, No. 3, pp. 23-28.
- Aalam, C.S., Saravanan, C.G., Kannan, M., 2015b, "Experimental Investigation on CRDI System Assisted Diesel Engine Fuelled by Diesel with Nanotube", *American Journal of Engineering and Applied Science*, Vol. 8, No. 3, pp. 380-389.
- Aalam, C.S., Saravanan, C.G., Kannan, M., 2015c, "Experimental Investigations on A CRDI System Assisted Diesel Engine Fuelled with Aluminium Oxide Nanoparticles Blended Biodiesel", *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 54, No. 3, pp. 351-358.
- Amit, Kumar, S., 2015, "Impact on the Performance of Direct Compression Ignition Engine by Adding Nano-Particle in Biodiesel", *Journal of Material Science and Mechanical Engineering*, Vol. 2, No. 7, pp. 7-9.
- Anbarasu, A., Karthikeyan, A., 2015, "Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Using Cerium Oxide Nanoparticle Blended Biodiesel Emulsion Fuel", *ASCE J Energy Eng*, pp. 1-7.
- Annamalai, M., Dhinesh, B., Nanthagopal, K., SivaramaKrishnan, P., Lalvani, J.I.J.R., Parthasarathy, M., Annamalai, K., 2016, "An Assessment on Performance, Combustion and Emission Behavior of A Diesel Engine Powered by Ceria Nanoparticle Blended Emulsified Biofuel", *Energy Conversion and Management*, Vol. 123, pp. 372-380.
- Arockiasamy, P., Anand, R.B., 2015, "Performance, Combustion and Emission Characteristics of A DI Diesel Engine Fuelled with Nano Particle Blended Jatropa Biodiesel", *Period Polytech Mech Eng*, Vol. 59, No. 2, pp. 88-93.
- Babu, K.R., Raja, R.B., 2015, "Theoretical and Experimental Validation of Performance and Emission Characteristics of Nano Additive Blended Diesel Engine", *Int J Res Aer Mech Eng*, Vol. 3, No. 5, pp. 18-31.
- Bafghi, A.A.T., Bakhoda, H., Chegeni, F.K. 2015, "Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Addition in Diesel and Diesel-Biodiesel Blends on the Performance Characteristics of A CI Engine", *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 9(8), pp. 1507-1512.
- Balaji, G., Cheralathan, M., "Influence of Alumina Oxide Nanoparticles on the Performance and Emissions in A Methyl Ester of Neem Oil Fuelled DI Diesel Engine", *Thermal Science*, Online-First Issue, pp. 1-14.

- Balaji, G., Cheralathan, M., 2015, "Effect of CNT as Additive with Biodiesel on the Performance and Emission Characteristics of A DI Diesel Engine", *International Journal of ChemTech Research*, Vol. 7, No. 3, pp. 1230-1236.
- Balamurugan, K., Tamilvanan, A., Anbarasu, M., Akil, M.S., Srihari, S., 2013, "Nano-Copper Additive for Reducing NO_x Emission in Soya Bean Biodiesel-Fuelled CI Engine", *J Biofuels*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-8.
- Banapurmath, N.R., Sankaran, R., Tumbal, A.V., Narasimhalu, T.N., Hunashyal, A.M., Ayachit, N.H., 2014a, "Experimental Investigation on Direct Injection Diesel Engine Fuelled with Graphene, Silver and Multi Walled Carbon Nano Tubes Biodiesel Blended Fuels", *Int J of Automot Eng Tech*, Vol. 3, No. 4, pp. 129-138.
- Banapurmath, N., Narasimhalu, T., Hunshyal, A., Sankaran, R., Rabinal, M.H., Ayachit, N., Kittur, R., 2014b, "Effect of Silver Nano-Particle Blended Biodiesel and Swirl on the Performance of Diesel Engine Combustion", *Int J Sustain Green Energy*, Vol. 3, No. 6, pp. 150-157.
- Basha, J.S., Anand, R.B., 2011a, "An Experimental Study in A CI Engine Using Nano Additives Blended Water-Diesel Emulsion Fuel", *International Journal of Green Energy*, Vol. 8, No. 3, pp. 332-348.
- Basha, J.S., Anand, R.B., 2011b, "Role of Nano Additive Blended Biodiesel Emulsion Fuel on the Working Characteristics of A Diesel Engine", *J Renew Sustain Energy*, Vol. 3, pp. 1-17.
- Basha, J.S., Anand, R.B., 2013, "The Influence of Nano Additive Blended Biodiesel Fuel on the Working Characteristics of A Diesel Engine", *J Braz Soc Mech Sci Eng*, Vol. 35, pp. 257-264.
- Basha, J.S., Anand, R.B., 2014, "Performance, Emission and Combustion Characteristics of A Diesel Engine Using Carbon Nano Tubes Blended Jatropha Methyl Ester Emulsions", *Alex Eng J*, Vol. 53, pp. 259-273.
- Bhagwat, V.A., Navadagi, V., Dandavate, A., 2015, "Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics of CI Engine Using Graphene Nanoparticles as An Additive in Biodiesel", *International Engineering Research Journal*, Special Issue 2, pp. 4726-4732.
- Celik M., 2016, "Combustion, Performance and Exhaust Emission Characteristics of Organic Based Manganese Addition to Cotton Methyl Ester", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 108, pp. 1178-1189.
- Chandrasekaran, V., Arthanarisamy, M., Nachiappan, P., Dhanakotti, S., Moorthy, B., 2016, "The Role of Nano Additives for Biodiesel and Diesel Blended Transportation Fuels", *Transportation Research Part D*, Vol. 46, pp. 145-156.
- Chaudhari, S.M., Thakare, S.V., Sontakke, K.G., Khodke, R.R., 2014, "Effect of Metal Based Additives on A CI Engine Fuelled with Diesel and Water", *Journal of Emerging Technologies Innovative Research*, Vol. 1, No. 7, pp. 783-788.
- Chen, K.S., Lin, Y.C., Hsieh, L.T., Lin, L.F., Wu, C.C., 2010, "Saving Energy and Reducing Pollution by Use of Emulsified Palm-Biodiesel Blends with Bio-Solution Additive", *Energy*, Vol. 35, pp. 2043-2048.
- D'Silva, R., Vinoothan, K., Binu, K.G., Thirumaleshwara, B., Raju, K., 2016, "Effect of Titanium Dioxide and Calcium Carbonate Nanoadditives on the Performance and Emission Characteristics of CI Engine", *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, Vol. 6, No. 5A, pp. 28-31.
- Dantas, Neto A.A., Fernandes, M.R., Barros Neto, E.L., Castro Dantas, T.N., Moura, M.C.P.A., 2011, "Alternative Fuels Composed by Blends of Non Ionic Surfactant with Diesel and Water: Engine Performance and Emissions", *Braz J Chem Eng*, Vol. 28 No. 3, pp. 521-531.
- Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A.K., 2012, "Production of Biodiesel from High-FFA Neem Oil and Its Performance, Emission and Combustion Characterization in A Single Cylinder DICI Engine", *Fuel Proces Technol*, Vol. 97, pp. 118-129.
- Dreizin, E.L., 2009, "Metal-Based Reactive Nano Materials", *Prog Energy Combust Sci*, Vol. 35, pp. 141-167.

- Fangsuwannarak, K., Triratanasirichai, K., 2013a, "Effect of Metalloid Compound and Bio Solution Additives on Biodiesel Engine Performance and Exhaust Emissions", *Am J Appl Sci*, Vol. 10, No. 10, pp. 1201-1213.
- Fangsuwannarak, K., Triratanasirichai, K., 2013b, "Improvements of Palm Biodiesel Properties by Using Nano-TiO₂ Additive, Emissions and Engine Performance", *Roman Rev Precis Mech Opt Mechatron*, Vol. 43, pp. 111-118.
- Fangsuwannarak, K., Wanriko, P., Fangsuwannarak, T., 2016, "Effect of Bio-Polymer Additive on the Fuel Properties of Palm Biodiesel and Engine Performance Analysis and Exhaust Emission", *Energy Procedia*, Vol. 100, pp. 227-236.
- Fu, W.B., Hou, L.Y., Wang, L.P., Ma, F.H., 2003, "A Study on Ignition Characteristics of Emulsified Oil Containing Flammable Fuel", *Fuel Proces Technol*, Vol. 80, pp. 9-21.
- Ganesh, D., Gowrishankar, G., 2011, "Effect of Nano-Fuel Additive on Emission Reduction in A Biodiesel Fuelled CI Engine", *IEEE*, ID 978-1-4244-8165-1/11, pp. 3453-3459.
- Ganesh, P.R., Reddy, K.H., 2016, "Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics on A Diesel Engine Using Aqueous Aluminium Oxide and Iron Oxide Nanoparticles as Additives", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, Vol. 9, No. 3, pp. 1747-1751.
- George, R.O., Franc, S., James, S.J., John, M., Sebastian, G., 2015, "An Experimental Analysis on Synergetic Effect of Multiple Nanoparticle Blended Diesel Fuel on CI Engine", *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol. 1, No. 12, pp. 151-156.
- Ghafoori, M., Ghobadian, B., Najafi, G., Layeghi, M., Rashidi, A., Mamat, R., 2015, "Effect of Nano-Particles on the Performance and Emission of A Diesel Engine Using Biodiesel-Diesel Blend", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, Vol. 12, pp. 3097-3108.
- Ghogare, P., Kale, N.W., 2016a, "Experimental Investigation on Single Cylinder Diesel Engine Fuelled with Cotton Seed Biodiesel Blends with Nano Additives", *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, pp. 17-22.
- Ghogare, P., Kale, N.W., 2016b, "Experimental Investigation on Single Cylinder Diesel Engine Fuelled with Soya Bean Biodiesel Blends with Nano Additives", *International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 9, pp. 247-257.
- Ghogardare, S.V., Hudgikar, S.R.K., 2016, "Review on Performance and Emission Characteristics of CI Engine by Using Nanoparticles with Blended Biodiesel in Diesel Fuel", *International Engineering Research Journal*, Vol. 2, No. 6, pp. 2120-2122.
- Gumus, S., Ozcan, H., Ozbey, M., Topaloglu, B., 2016, "Aluminum Oxide and Copper Oxide Nanodiesel Fuel Properties and Usage in A Compression Ignition Engine", *Fuel*, Vol. 163, pp. 80-87.
- Guru, M., Karakaya, U., Altiparmak, D., Alicilar, A., 2002, "Improvement of Diesel Fuel Properties by Using Additives", *Energy Convers Manag*, Vol. 43, pp. 1021-1025.
- Imdadul, H.K., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Rashed, M.M., Rashedul, H.K., Monirul, I.M., Mosarof, M.H., 2015, "A Comprehensive Review on the Assessment of Fuel Additive Effects on Combustion Behavior in CI Engine Fuelled with Diesel Biodiesel Blends", *RSC Adv*, Vol. 5, pp. 67541-67567.
- Ingle, S.S., Nandedkar, V.M., Joshi, K.G., 2016, "Experimental Investigation of Palm Biodiesel with Nanomaterial as A Fuel Additive on Performance and Emission of Diesel Engine", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 11, pp. 19869-19879.
- Jayanthi, P., Srinivasa, R.M., 2016, "Effects of Nanoparticles Additives on Performance and Emissions Characteristics of A DI Diesel Engine Fuelled with Biodiesel", *International Journal of Advances in Engineering Technology*, Vol. 9, No. 6, pp. 689-695.
- Jeryraj Kumar, L., Anbarasu, G., Elangovan, T., 2016, "Effects on Nano Additives on Performance and Emission Characteristics of Calophyllum Inophyllum Biodiesel", *International Journal of ChemTech Research*, Vol. 9, No. 4, pp. 210-219.

- Jose, M., Anand, R.B., 2011, "Studies on Compression Ignition Engine to Establish Effects of Injection Pressure, Compression Ratio and Nano Additives-A Review", *International Journal of Advances in Engineering Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 1-17.
- Jung, H., Kittelson, D.B., Zachariah, M.R., 2005, "The Influence of A Cerium Additive on Ultrafine Diesel Particle Emissions and Kinetics of Oxidation", *Combustion and Flame*, Vol. 142, pp. 276-288.
- Kannan, G.R., Karvembu, R., Anand, R., 2011, "Effect of Metal Based Additive on Performance Emission and Combustion Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Biodiesel", *Appl Energy*, 88, 3694-3703.
- Kao, M.J., Ting, C.C., Lin, B.F., Tsung, T.T., 2008, "Aqueous Aluminum Nano Fluid Combustion in Diesel Fuel", *J Test Eval*, Vol. 36, No. 2, pp. 1-5.
- Karabektas, M., Ergen, G., Hosoz, M., 2013, "Effects of the Blends Containing Low Ratios of Alternative Fuels on the Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine", *Fuel*, Vol. 112, pp. 537-541.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Silaimani, S.M., Prathima, A., 2014a, "Role of Al₂O₃ Nano Additive in GSO Biodiesel on the Working Characteristics of A CI Engine", *Indian Journal of Chemical Technology*, Vol. 21, pp. 285-289.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Prathima, A., 2014b, "Performance and Emission Study on Zinc Oxide Nano Particles Addition with Pomoplion Stearin Wax Biodiesel of CI Engine", *J Sci Ind Res*, Vol. 73, pp. 187-190.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Prathima, A., 2014c, "An Environmental Effect of GSO Methyl Ester with Zno Additive Fuelled Marine Engine", *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, Vol. 43, No. 4, pp. 564-570.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Prathima, A., 2014d, "Diesel Engine Performance and Emission Analysis Using Canola Oil Methyl Ester with the Nano Sized Zinc Oxide Particles", *Indian Journal of Engineering Material Sciences*, Vol. 21, pp. 83-87.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Silaimani, S.M., Prathima, A., 2014e, "Performance, Combustion End Emission Characteristic of A Marine Engine Running on Grape Seed Oil Biodiesel with Nano Additive", *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, Vol. 43, No. 12, pp. 2315-2319.
- Karthikeyan, S., Prathima, A., 2016, "Emission Analysis of the Effect of Doped Nanoadditives on Biofuel in A Diesel Engine", *Energy Sources Part A*, Vol. 38, No. 24, pp. 3702-3708.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Prathima, A., 2016, "The Effect of Cerium Oxide Additive on the Performance and Emission Characteristics of A CI Engine Operated with Rice Bran Biodiesel and Its Blends", *International Journal of Green Energy*, Vol. 13, No. 3, pp. 267-273.
- Keskin, A., Guru, M., Altiparmak, D., 2007, "Biodiesel Production from Tall Oil with Synthesized Mn and Ni Based Additives: Effects of the Additives on Fuel Consumption and Emissions", *Fuel*, Vol. 86, pp. 1139-1143.
- Keskin, A., Guru, M., Altiparmak, D., 2011, "Influence of Metallic Based Fuel Additives on Performance and Exhaust Emissions of Diesel Engine", *Energy Convers Manag*, Vol. 52, pp. 60-65.
- Khond, V.W., Kriplani, V.M., 2016, "Effect of Nano Fluid Additives on Performances and Emissions of Emulsified Diesel and Biodiesel Fueled Stationary CI Engine: A Comprehensive Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 1338-1348.
- Kumar, C.V., Murugesan, A., Rajasekaran, T., Panneerselvam, N., 2017, "Experimental Investigation on the Effects of Nano Additives on Mahuca Indica Methyl Ester-Diesel Fuel Blends in Diesel Engine", *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, Vol. 7, No.1, pp. 120-130.
- Kumar, V.N., Venkatesh, N.M., Alagumurthi, N., 2016, "Influence of Aluminum Oxide Al₂O₃ Nano Particles Blended with Waste Cooking Oil in the Performance, Emission and Combustion Characteristics on A DI Diesel Engine", *Journal of Advanced Engineering Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 66-71.
- Lenin, M.A, Swaminathan, M.R., Kumaresan, G., 2013, "Performance and Emission Characteristics of A DI Diesel Engine with A Nano Fuel Additive", *Fuel*, Vol. 109, pp. 362-365.

- Madhukrishnaa, N., Sivakumar, D.B., Arulmozhi, M., Chandrasekar, M., Senthilkumar, T., 2016, "Performance and Emission Analysis of Cotton Seed Oil Biodiesel with Alumina Nanoparticle Additive", *International Journal of Research Science and Engineering*, pp. 1-6.
- Mahendrarvarman, R., Sivakumar, D.B., Sivakumar, P., 2016, "Experimental Study on Performance and Emission Characteristics of A Direct Injection Compression Ignition Engine With Fe₃O₄ Nanoparticles", *Advances in Natural and Applied Sciences*, Vol. 10, No. 4, pp. 139-144.
- Manibharathi, S., Annadurai, B., Chandraprakash, R., 2014, "Experimental Investigation of CI Engine Performance by Nano Additive in Biofuel", *Int J Sci Eng Tech Res*, Vol. 3, No. 12, pp. 3303-3307.
- Manibharathi, S., Chandraprakash, R., Annadurai, B., Titus, R., 2015, "Experimental Investigation of CI Engine Performance and Emission Characteristics by Effect of Nano Fuel Additives in Pongamia Pinnata Biodiesel", *International Journal for Scientific Research Development*, Vol. 3, No. 1, pp. 1043-1047.
- Manikandan, R., Sethuraman, N., 2014, "Experimental Investigation of Nano Additive Ceric Oxide (CeO₂)-Ethanol Blend on Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine", *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 24-28.
- Mehta, R.N., Chakraborty, M., Parikh, P.A., 2014, "Nano Fuels: Combustion, Engine Performance and Emissions", *Fuel*, Vol. 120, pp. 91-97.
- Mehregan, M., Moghiman, M., 2014, "Numerical Investigation of Effect of Nano-Aluminum Addition on NO_x and CO Pollutants Emission in Liquid Fuels Combustion", *Int J Mater Mech Manuf*, Vol. 2, No. 1, pp. 60-63.
- Mehta, R.N., Chakraborty, M., Parikh, P.A., 2014, "Impact of Hydrogen Generated by Splitting Water with Nano-Silicon and Nano-Aluminum on Diesel Engine Performance", *Int J Hydrogen Energy*, 39, 8098-8105.
- Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M., Pazouki, M., 2015, "A Novel Soluble Nano-Catalysts in Diesel-Biodiesel Fuel Blends to Improve Diesel Engines Performance and Reduce Exhaust Emissions", *Fuel*, Vol. 139, pp. 374-382.
- Mohan, N., Sharma, M., Singh, R.C., Pandey, R.K., 2015, "Performance Study of Diesel Engine Using Nanofuel", *International Journal of Advance Research and Innovation*, Vol. 3, No. 4, pp. 665-668.
- Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N., 2009, "Bio-Diesel as An Alternative Fuel for Diesel Engines-A Review", *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 13, pp. 653-662.
- Narasiman, V., Jeyakumar, S., Mani, M., 2015, "Experimental Investigation of DI Diesel Engine Performance with Oxygenated Additive and SOME Biodiesel", *Bulletin of the JSME Journal of Thermal Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-9.
- Okuda, T., Schauer, J.J., Olson, M.R., Shafer, M.M., Rutter, A.P., Walz, K.A., Morschauer P.A., 2009, "Effects of A Platinum-Cerium Bimetallic Fuel Additive on the Chemical Composition of Diesel Engine Exhaust Particles", *Energy Fuels*, Vol. 23, pp. 4974-4980.
- Ooi, J.B., Ismail, H.M., Swamy, V., Wang, X., Swain, A.K., Rajanren, J.R., 2016, "Graphite Oxide Nanoparticles as Diesel Fuel Additive for Cleaner Emission and Lower Fuel Consumption", *Energy Fuels*, Vol. 30, No. 2, pp. 1341-1353.
- Prabhu, L., Kumar, S.S., Anderson, A., Rajan, K., 2015, "Investigation on Performance and Emission Analysis of TiO₂ Nanoparticle as An Additive for Bio-Diesel Blends", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, Special Issue Vol. 7, pp. 408-412.
- Prakash, P.J., Reddy, S.S.K., Kesavulu, P., Suresh, A., 2016, "Experimental Investigation on Rhombus Grooved Piston with Jatropa Biodiesel and Al₂O₃ Nano Fluid", *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 1, No. 6, pp. 44-49.
- Raj, N.M., Gajendiran, M., Pitchandi, K., Nallusamy, N., 2016, "Investigation on Aluminium Oxide Nano Particles Blended Diesel Fuel Combustion, Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 246-257.

- Rajalingam, A., Jani, S.P., Kumar, A.S., Khan, A.A., 2016, "The Effect in Neem Oil Biodiesel Properties due to The Blending of Cerium Oxide Nanoparticles", *International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 290-293.
- Ramachandran, S.B., 2015, "Ferrofluid-Diesel Blend", *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 2, No. 5, pp. 92-94.
- Ramarao, K., Rao, C.J., Sreeramulu, D., 2015, "The Experimental Investigation on Performance and Emission Characteristics of A Single Cylinder Diesel Engine Using Nano Additives in Diesel and Biodiesel", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 8, No. 29, pp. 1-9.
- Ramesh, D.K., Dhananjaya, Kumar, J.L., Hemanth Kumar, S.G., Namith, V., Parashuram, B.J., Sharath S., 2016, "Study on Effects of Alumina Nanoparticles as Additive with Poultry Litter Biodiesel on Performance, Combustion and Emission Characteristic of Diesel Engine", *Materials Today*, Vol. 338, pp. 1-7.
- Sajeevan, A.C., Sajith, V., 2013, "Diesel Engine Emission Reduction Using Catalytic Nano-Particles: An Experimental Investigation", *Adv Mech Eng*, ID 589382, 9 pages.
- Sajith, V., Sobhan, C.B., Peterson, G.P., 2010, "Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nano Particles Fuel Additives on Biodiesel", *Adv Mech Eng*, ID 581407, 6 pages.
- Sajith, V., Mohamed Jihad, P.M., 2015, "Development of Stable Cerium Zirconium Mixed Oxide Nano Particle Additive for Emission Reduction in Biodiesel Blends", *J Eng Tech*, Vol. 4, No. 2, pp. 23-34.
- Samuel, N., Shefeek, M.K., 2015, "Performance and Emission Characteristics of A CI Engine with Cerium Oxide Nanoparticles as Additive to Diesel", *International Journal of Science and Research*, Vol. 4, No. 7, pp. 672-676.
- Sanjay, K.C., Shreyas, Pinto V., Gafoor, S.S.A., Biju, T., Raju, K., 2016, "Effect of Alumina Nanoparticles on the Performance and Emission Characteristics of CI Engine Fuelled with Lard Oil Methyl Ester Blends", *American Journal of Materials Science*, Vol. 6, No. 4A, pp. 94-98.
- Santhanamuthu, M., Chittibabu, S., Tamizharasan, T., Mani, T.P., 2014, "Evaluation of CI Engine Performance Fuelled by Diesel-Polanga Oil Blends Doped with Iron Oxide Nano Particles", *Int J Chem Tech Res*, Vol. 6, No. 2, pp. 1299-1308.
- Saraee, H.S., Jafarmadar, S., Taghavifar, H., Ashrafi, S.J., 2015, "Reduction of Emissions and Fuel Consumption in A Compression Ignition Engine Using Nanoparticles", *Int J Environ Sci Technol*, Vol. 12, pp. 2245-2252.
- Sarvestany, N.S., Farzad, A., Bajestan, E.E., Mir, M., 2013, "Effects of Magnetic Nano Fluid Fuel Combustion on the Performance and Emission Characteristics", *J Dispers Sci Technol*, Vol. 35, pp. 1745-1750.
- Sathiyamoorthi, R., Puviyarasan, M., Kumar, B.B., Joshua, D.B., 2016, "Effect of CeO₂ Nano Additive on Performance and Emissions of Diesel Engine Fuelled by Neem Oil-Biodiesel", *Int J Chem Sci*, Vol. 14, No. 2, pp. 473-484.
- Shaafi, T., Sairam, K., Gopinath, A., Kumaresan, G., Velraj, V., 2015, "Effect of Dispersion of Various Nano Additives on the Performance and Emission Characteristics of A CI Engine Fuelled with Diesel, Biodiesel and Blends-A Review", *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 49, pp. 563-573.
- Shaafi, T., Velraj, R., 2015, "Influence of Alumina Nano Particles, Ethanol and Isopropanol Blend as Additive with Diesel Soybean Biodiesel Blend Fuel: Combustion, Engine Performance and Emissions", *Renew Energy*, Vol. 80, pp. 655-663.
- Shafil, M.B., Daneshvar, F., Jahani, N., Mobini, K., 2011, "Effect of Ferro Fluid on the Performance and Emission Patterns of A Four Stroke Diesel Engine", *Adv Mech Eng*, ID529049, 5 pages.
- Sharma, Y.C., Singh, B., 2008, "Development of Bio Diesel from Karanja, A Tree Found in Rural India", *Fuel*, Vol. 87, pp. 1740-1742.
- Selvan, V.A.M., Anand, R.B., Udaykumar, M., 2009, "Effect of Cerium Oxide Nano Particle Addition in Diesel and Diesel-Biodiesel-Ethanol Blends on the Performance and Emission Characteristics of A CI Engine", *ARPN J Eng Appl Sci*, Vol. 4, No. 7, pp. 1-6.

- Selvan, V.A.M., Anand, R.B., Udayakumar, M., 2014, "Effect of Cerium Oxide Nano Particles and Carbon Nano Tubes As Fuel-Borne Additives in Diesterol Blends on the Performance, Combustion and Emission Characteristics of A Variable Compression Ratio Engine", *Fuel*, Vol. 130, pp. 160-167.
- Selvaganapthy, A., Sundar, A., Kumaragurubaran, B., Gopal, P., 2013, "An Experimental Investigation to Study the Effects of Various Nano Particles with Diesel on DI Diesel Engine", *ARPJ Journal of Science and Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 112-115.
- Senthilraja, S., Karthikeyan, M., Gangadevi, R., 2010, "Nanofluid Applications in Future Automobiles: Comprehensive Review of Existing Data", *Nano-MicroLett*, Vol. 2, No. 4, pp. 306-310.
- Silambarasan, R., Senthil, R., 2016, "Effects of Nano Additives on Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Annona Methyl Ester", *Biofuels*, pp. 1-7.
- Singh, N., Bharj, R.S., 2015, "Effect of CNT-Emulsified Fuel on Performance, Emission and Combustion Characteristics of Four Stroke Diesel Engine", *Int J Current Eng Tech*, Vol. 5, No. 1, pp. 477-485.
- Singh, N., Bharj, R.S., 2016, "Experimental Investigation on the Role of Indigenous Carbon Nanotube Emulsified Fuel in A Four-Stroke Diesel Engine", *J Mechanical Engineering Science*, Vol. 230, No. 12, pp. 2046-2059.
- Sonawane, S., Patankar, K., Fogla, A., Puranik, B., Bhandarkar, U., Kumar, S.S., 2011, "An Experimental Investigation of Thermo-Physical Properties and Heat Transfer Performance of Al₂O₃-Aviation Turbine Fuel Nano Fluids", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, pp. 2841-2849.
- Soni, G.S., Rathod, P.P., Goswami, J.J., 2015, "Performance and Emission Characteristics of CI Engine Using Diesel and Biodiesel Blends with Nanoparticles as Additive-A Review Study", *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 879-884.
- Sungur, B., Topaloglu, B., Ozcan, H., 2016, "Effects of Nanoparticle Additives to Diesel on the Combustion Performance and Emissions of A Flame Tube Boiler", *Energy*, Vol. 113, pp. 44-51.
- Tewari, P., Doijode, E., Banapurmath, N.R., Yaliwal, V.S., 2013, "Experimental Investigations on A Diesel Engine Fuelled with Multiwalled Carbon Nanotubes Blended Biodiesel Fuels", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 72-76.
- Thirumal, B.J., Gunasekaran, E.J., Loganathan Saravanan, C.G., 2015, "Emission Reduction from A Diesel Engine Fueled by Cerium Oxide Nano-Additives Using SCR with Different Metal Oxides Coated Catalytic Converter", *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 10, No. 11, pp. 1404-1421.
- Thulasi, G., Kandampalayam Ponnusamy, A., Rathanasamy, R., Palaniappan, S.K., Palanisamy, S.K., 2016, "Reduction of Harmful Nitrogen Oxide Emission from Low Heat Rejection Diesel Engine Using Carbon Nanotubes", *Thermal Science*, Vol. 20, No. 4, pp. 1181-1187.
- Venkatesan, S.P., 2015, "Influence of Aluminum Oxide Nano Particle Additive on Performance and Exhaust Emissions of Diesel Engine", *American-Eur J Sci Res*, Vol. 10, No. 2, pp. 88-92.
- Venkatesan, S.P., Kadiresh, P.N., Kumar, K.S., 2014, "Experimental Investigation of Aqueous Cerium Oxide Nano Fluid Blend in Diesel Engine", *Adv Mater Res*, Vol. 938, pp. 286-291.
- Venkatesan, S.P., Kadiresh, P.N., 2015, "Effects of Nano-Sized Metal Oxide Additive on Performance and Exhaust Emissions of CI Engine", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 766-767, pp. 389-395.
- Venkatesan, S.P., Kadiresh, P.N., 2016, "Influence of An Aqueous Cerium Oxide Nanofluid Fuel Additive on Performance and Emission Characteristics of A Compression Ignition Engine", *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 37, No. 1, pp. 64-67.
- Venu, H., Madhavan, V., 2016, "Effect of Nano Additives (Titanium and Zirconium Oxides) and Diethyl Ether on Biodiesel-Ethanol Fuelled CI Engine", *Journal of Mechanical Science Technology*, Vol. 30, No. 5, pp. 2361-2368.
- Yuvarajan, D., Ramanan, M.V., 2016, "Effect of Magnetite Ferrofluid on the Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engine Using Methyl Esters of Mustard Oil", *Arab J Sci Eng*, Vol. 41, pp. 2023-2030.

Zhang, J., Nazarenko, Y., Zhang, L., Calderon, L., Lee, K., Garfunkel, E., Schwander, S., Tetley, T.D., Chung, K.F., Porter, A.E., Ryan, M., Kipen, H., Liroy, P.J., Mainelis, G., 2013, "Impacts of A Nanosized Ceria Additive on Diesel Engine Emissions of Particulate and Gaseous Pollutants", *Environ Sci Technol*, Vol. 47, No. 22, pp. 13077-13085.

SEMBOL VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
BD	: Biyodizel
BDEX	: % X etanol içeren biyodizel-etanol karışımı
BDWX	: % X su içeren biyodizel emülsiyon yakıtı
CaO	: Kalsiyum oksit
CeO ₂	: Seryum oksit
Ce-Zr-O ₂	: Seryum zirkonyum oksit
Co ₃ O ₄	: Kobalt oksit
ÇTKNT	: Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler
D	: Dizel yakıtı
DBDXEY	: % X biyodizel ve % Y etanol içeren dizel-biyodizel-etanol karışımı
DBDX	: % X biyodizel içeren dizel-biyodizel karışımı
DEX	: % X etanol içeren dizel-etanol karışımı
DWX	: % X su içeren dizel emülsiyon yakıtı
E	: Etanol
FeCl ₃	: Demir klorür
Fe ₂ O ₃	: Demir II oksit
Fe ₃ O ₄	: Demir III oksit
GO	: Grafit oksit
K	: Kerosin (havacılık yakıtı)
KNT	: Karbon Nano Tüpler
MgO	: Magnezyum oksit
MnO ₂	: Mangan dioksit
MnO	: Mangan oksit
n-Al	: Nano alüminyum
n-Al-Mg	: Nano alüminyum-magnezyum
n-B	: Nano bor
n-Ce	: Nano seryum
n-Fe	: Nano demir
n-G	: Nano grafit
n-Ag	: Nano gümüş
n-Mn	: Nano mangan
n-Pt	: Nano platin
n-Si	: Nano silikon
NiO	: Nikel oksit
Rh ₂ O ₃	: Rodyum oksit
TiO ₂	: Titanyum oksit
ZrO ₂	: Zirkonyum oksit
ZnO	: Çinko oksit



THERMAL SIMULATION SOFTWARE BASED ON EXCEL FOR SPACECRAFT APPLICATIONS

Murat BULUT

*Turksat Satellite Communication Cable TV and Operations Joint Stock Co., Satellite Programs Directorate,
Golbasi, Ankara, Turkey
muratbulut@turksat.com.tr*

(Geliş/Received: 15.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 04.04.2018)

ABSTRACT: In the early development stage of the spacecraft program, it is desirable to establish thermal analysis results within a couple of minutes. Therefore, an in-house thermal simulation software (TSS) tool was developed to predict the temperature quickly and accurately. The TSS tool is not intended to replace the current commercial simulation tools for spacecraft thermal behavior. Its purpose is to allow fast assessment and comparison of technical solutions. In this study, a simple TSS tool model (7 nodes) was developed to execute quick trade studies, compare temperature, and compare computation time to that using ThermXL and SatTherm software tools. The TSS software provides satisfactory temperature results in significantly less computational time than ThermXL or SatTherm.

Key Words: *Thermal analysis, Thermal design, Thermal control, Spacecraft*

Uzay Araç Uygulamaları için Excel üzerinde Isıl Simulasyon Yazılımı

ÖZ: Uzay aracı programının erken sayfasında ısıl analiz sonuçlarının bir kaç dakika içerisinde sonuçlanması istenilmektedir. Bu yüzden, ısıl simulasyon yazılım aracı sıcaklıkları kısa bir süre içerisinde tahmin etmek için geliştirilmiştir. Isıl simulasyon yazılımı aracı, kritik tasarımı gözden geçirmek için kullanılan detaylı simulasyon için gerekli ticari yazılım aracının yerini almak için tasarlanmamıştır. Amacı, teknik çözümlerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini ve karşılaştırılmasını sağlamaktır. Bu çalışmada, hızlı bir kar zarar çalışması yapmak için TSS araç modeli (7 düğümlü) geliştirildi ve ThermXL ve SatTherm yazılım araçlarını kullanarak sıcaklık sonuçları ve hesaplama süresi karşılaştırıldı. TSS yazılım aracı, ThermXL ve SatTherm'e karşılaştırıldığında daha düşük hesaplama zamanında yeterli sıcaklık sonuçları sağlar.

Anahtar Kelimeler: *Isıl analiz, Isıl tasarım, Isıl kontrol, Uzay aracı*

INTRODUCTION

Maintaining spacecraft temperature is extremely important for a successful space mission. In a spacecraft, every component requires temperature limitations which include operational and non-operational (survival) temperature range. Thermal control system of a spacecraft is responsible for maintaining temperatures within the required temperature limitations. Component temperatures and thermal analyses are evaluated during the multiple stages of spacecraft design. Therefore, there are many commercial software tools in the aerospace industry to support detailed analysis of components, sub-systems, and systems. Examples of the software tools are Thermal Desktop by Cullimore & Ring Technology, Thermica by Systema (Airbus Defence and Space), and ESATAN-TMS by ITP Group. All of these tools are well suited to the requirements of later phases of the spacecraft process. They are far from

optimal during the early phase of the spacecraft thermal design. It is also difficult to build accurate and safe spacecraft models in a short period of time when computations are performed by humans. Therefore, in-house TSS tools are developed by companies within the space industry in order to simplify the process of spacecraft thermal analysis such as ThermXL and SatTherm. ThermXL was released in July 2000 and provided the first thermal analysis tool to be fully integrated within a spreadsheet (Thomas et al., 2001). A simple ThermXL model was developed to exercise quick trade studies to predict the temperatures. The total number of nodes was 10. ThermXL runs on Microsoft Excel. Previously, Excel was limited to 255 columns per spreadsheet. This, in turn, Excel was limited number of 254 nodes. ThermXL provides an environment for constructing a lumped-parameter thermal analysis network, as well as built-in routines for solving the analysis in both transient and steady state (using the well-known finite difference method). SatTherm is a MATLAB and Excel-based thermal analysis tool developed for small spacecraft as a collaborative effort between the Mission Design Center at NASA Ames and San Jose State University (Allison et al., 2009). The total number of nodes was 10. SatTherm uses the finite difference method to solve for time-dependent temperature of spacecraft components. Thermal Desktop, Thermica, and ESATAN-TMS can have three dimensional regions. Unlike ThermXL, SatTherm and TSS are limited to two dimensional nodal regions.

Although thermal engineers in the aerospace industries and universities rely on the commercial analysis tools, they still can develop in-house thermal software tool. Richmond presented the Adaptive Thermal Modeling Tool (ATMT) (Richmond, 2010). ATMT is a MATLAB-based thermal modeling tool designed for smallsat applications. ATMT is a free for educational institutes. Shirazi and Mirshams developed Satellite Thermal Modeling Software (STMS) based on MATLAB GUI in order to design and analyze the satellite model (Shirazi and Mirshams, 2013). It compares the thermal analysis of a satellite with specific configuration and thermophysical properties in STMS software and SatTherm software. Error calculations for ten random data were presented (Diaz-Aguado et al., 2009). The maximum and minimum errors were 3.953 % and 0.158 % (Shirazi and Mirshams, 2013).

Space industries have developed in-house software tools to help support the analysis. This introduces an additional effort required to maintain and validate the tools. Even then they often need to be modified for anything other than very standard applications. Commercial software tools in space industries have distinct advantages and disadvantages. The advantages of using commercial software tools are accuracy, modeling flexibility, and pre and post processing capabilities. The disadvantages are cost, modeling time, and complexity (Richmond, 2010).

Many of the software tools used for spacecraft design and analysis have considerable cost and complexity. TSS is an alternative thermal analysis tool developed for in-house spacecraft software tool. TSS can quickly approximate the average temperature of spacecraft components at the beginning of the spacecraft project.

THERMAL ANALYSIS

Thermal control is a process of energy management in which environmental heating plays a major role. The principal forms of environmental heating in orbit are direct sunlight (solar), sunlight reflected off the Earth (albedo), and Earth Infrared (IR) emitted by Earth (Blom et al., 2006). The energy balance between the spacecraft and space is shown in Figure 1.

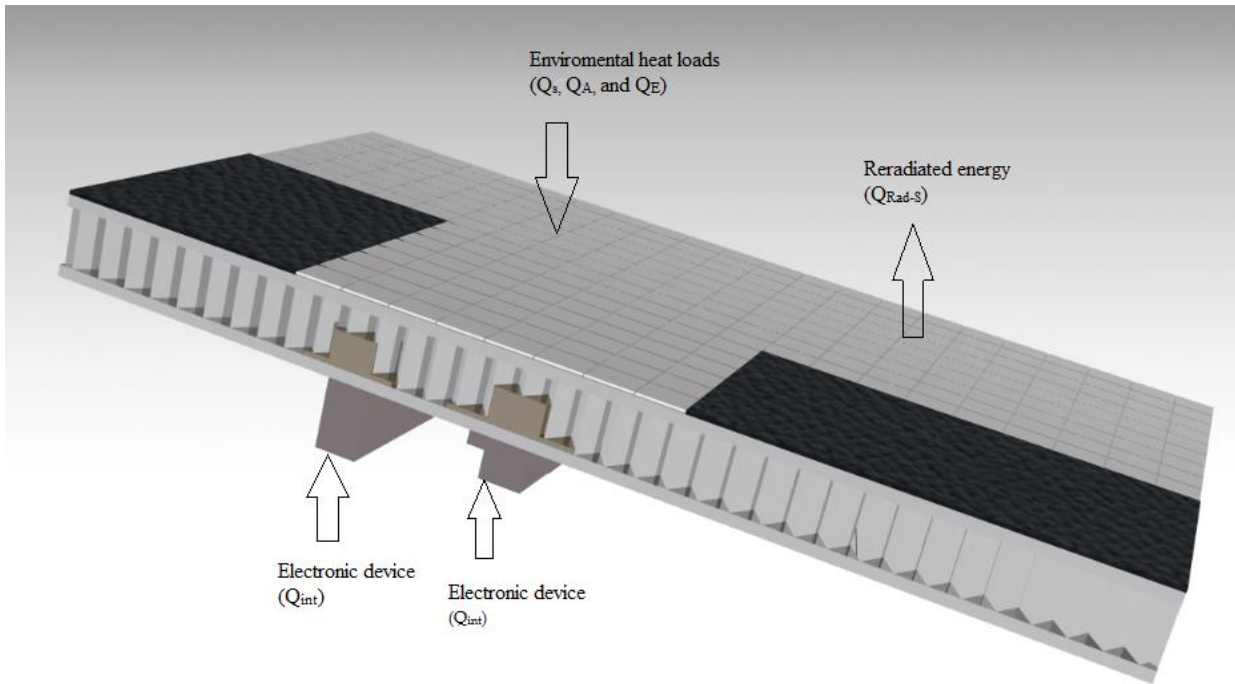


Figure 1. Energy balance between spacecraft and space

Spacecraft temperature energy (heat) is obtained from the solution of balance equations. The energy equation is written for each part of the satellites. The equilibrium temperature is obtained from condition $Q_{in} = Q_{out}$. Energy balance for spacecraft;

$$Q_S + Q_A + Q_E + Q_{int} = Q_{Rad-S} \tag{1}$$

Based on equation (1); left side of equation shows heat load produced by electronic device (Q_{int}) and absorbed by spacecraft (Q_S, Q_A, Q_E). The right side equation (2), shows heat load received by spacecraft (Q_{Rad-S}).

$$(A_S q_S + A_A q_A) \alpha + A_E q_E \varepsilon + Q_{int} = A_{surface} \sigma (T_r^4 - T_s^4) \varepsilon \tag{2}$$

$A_S, A_A,$ and $A_E,$ are the projected areas receiving Solar, Albedo, and Earth. $A_{surface}$ is the spacecraft radiator area. Environmental heat loads are heat received directly from the Sun, Albedo contribution, and Earth radiation contribution.

Heat flux is defined as the amount of direct solar radiation by the spacecraft is defined as

$$Q_S = q_S \alpha A_S \tag{3}$$

Where q_S is Sun flux, α is absorptivity, and A_S is surface area from Sun radiation.

The amount of reflected heat flux that is absorbed by the satellite is

$$Q_A = q_A \alpha A_A \tag{4}$$

Where q_A is albedo flux, α is absorptivity, and A_A is surface area from earth (albedo) radiation.

The total Earth radiation absorbed by the spacecraft is given by

$$Q_E = q_E \alpha A_E \quad (5)$$

Where q_E is Earth flux, α is absorptivity, and A_E is surface area from earth infrared radiation.

The right side, equation (2), is the heat rejected from the radiator surface.

$$Q_{Rad-S} = \sigma(T_r^4 - T_s^4) \varepsilon A_{surface} \quad (6)$$

where σ is Stefan-Boltzman constant (5.699×10^{-8} W/m²K⁴). T_r is radiator temperature. T_s is space temperature. ε is emmissivity. $A_{surface}$ is the spacecraft radiator area.

OVERVIEW OF THERMAL SIMULATION SOFTWARE

The TSS tool is a thermal model based on the Microsoft® Excel spreadsheet program. This is the mathematical approach used for predicting temperatures in a small thermal model. The TSS tool handles conduction and radiation. Thermal model consists of 7 nodes. The thermal model network is defined within the excel spreadsheet. Individual worksheets are provided to hold the node information, conduction matrix, radiation matrix and Sun impact. With the TSS tool, each spacecraft component should be modeled by a single node, not split into multiple nodes.

THE THERMAL SIMULATION SOFTWARE STRUCTURE

The TSS tool is developed in-house to predict the temperature at the early stage of the spacecraft program. Thermal model consists of 7 nodes. The excel based user-interface has four pages of inputs in which the user can fully define the thermal model. Example screenshot of the TSS tool inputs is displayed in Figure 2. In general, yellow cells are inputs for user to define. Green cells are calculated based from the user's inputs. Figure 2 shows the screenshot of the first page of the TSS tool inputs. First page (input) is to specify absorptivity (α), emmissivity (ε), radiative surface ($A_{surface}$), Sun factor ($q_{s,i}$), space view factor (F_{ij}), dissipation (Q_{intj}), and initial temperature. The second page (conduction matrix) is to specify conductive conductance (CC). The third page (radiation matrix) is to specify radiative conductance (RC). Fourth page includes calculated values of Sun impact (SI).

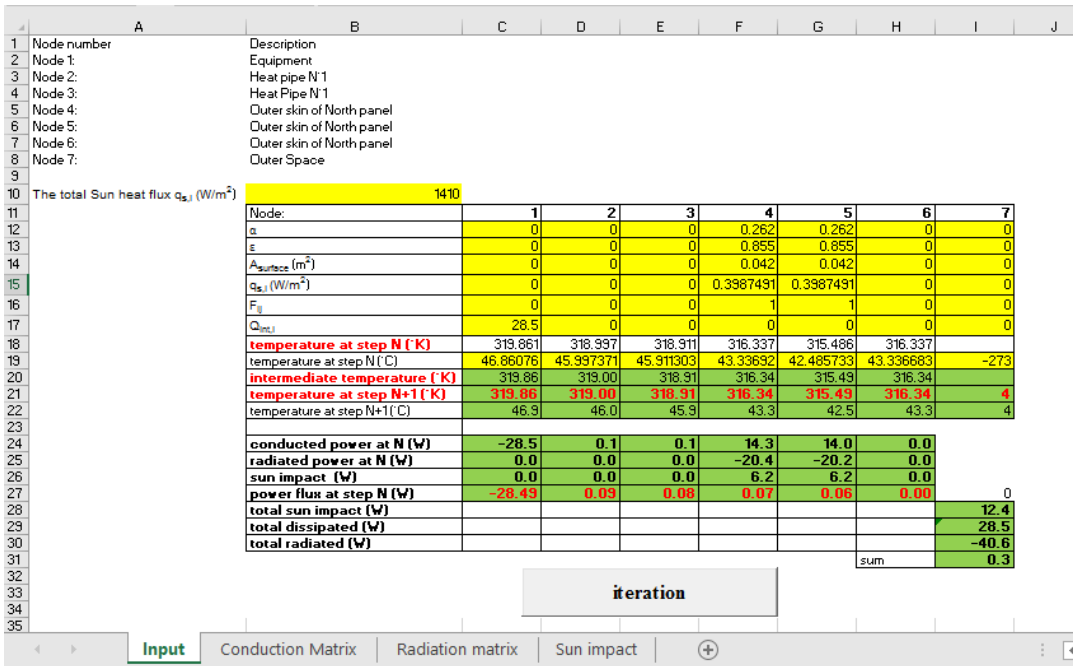


Figure 2. Screenshot of inputs of the TSS software tool

The subject of the TSS software tool is to calculate the temperature in °C of a thermal node. Thermal node is linked to a physical entity. It can be the baseplate of a piece of equipment, the wall of a heat-pipe, or deep space. The heat flux occurring through conduction (q_C) between two nodes is expressed as follows:

$$q_C = C_{ij} \times (T_j - T_i) \tag{7}$$

C_{ij} (W/°K) is conduction coefficient between node "i" and node "j". T_i is temperature of node "i" in °K. T_j is temperature of node "j" in °K. The heat flux occurring through radiation (q_R) between two nodes is expressed as follows:

$$q_R = (R_{ji} \times T_j^4) - (R_{ij} \times T_i^4) \tag{8}$$

R_{ij} (W/°K) is radiation coefficient between node "i" and node "j".

The energy balance for node "i" can be written as follows:

$$0 = (\sum_j C_{ij} \times (T_j - T_i)) + (\sum_j R_{ji} \times (T_j^4 - T_i^4)) + q_{inti} + q_{s,i} \tag{9}$$

If n is the iteration step number n and n+1 is the next iteration step, one can write, with a great probability convergence.

$$0 = (\sum_j C_{ij} \times T_{j,n}) - (\sum_j C_{ij} \times T_{i,n+1}) + (\sum_j R_{ji} \times T_{j,n}^4) - (\sum_j R_{ji} \times T_{i,n}^3 \times T_{i,n+1}) + q_{inti} + q_{s,i} \tag{10}$$

and hence:

$$T_{i,n+1} = \frac{(\sum_j R_{ji} x T_{j,n}^4) + (\sum_j C_{ij} x T_{j,n}) + q_{inti} + q_{s,i}}{(\sum_j R_{ji} x T_{i,n}^3) + (\sum_j C_{ij})} \quad (11)$$

If n is the iteration step number n and $n+1$ the next iteration step, one can write great probability of convergence. Convergence is eased by the fact that when $T_{i,n+1}$ is very near from $T_{i,n}$. The effects on the energy balance of the decomposition are becoming 0. q_{inti} is the heat dissipation in node "i". q_{inti} is positive for standard electronic equipment. $q_{s,i}$ is the incident Sun heat flux. It is always positive.

AN EXAMPLE OF THE APPLICATION OF TSS TOOL

In this section, one example is presented by using TSS tool. Figure 3 and Figure 4 show the model which was studied. The thermal model includes in 6 nodes. Node 1 is electronic equipment. Node 2 is an evaporation side of the heat pipe. Node 3 is a condenser side of the heat pipe. Node 4 is a radiative panel outer surface covered by optical solar reflector (OSR) which directly under heat pipe. Node 5 is other radiative panel outer surface covered by OSR. Node 6 is deep space and with constant temperature of 4 °K.

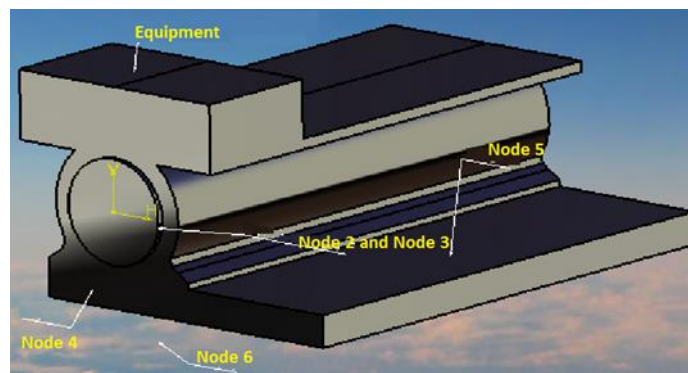


Figure 3. The model configuration (3D view) (Arslantas et al., 2016; Arslantas et al., 2017)

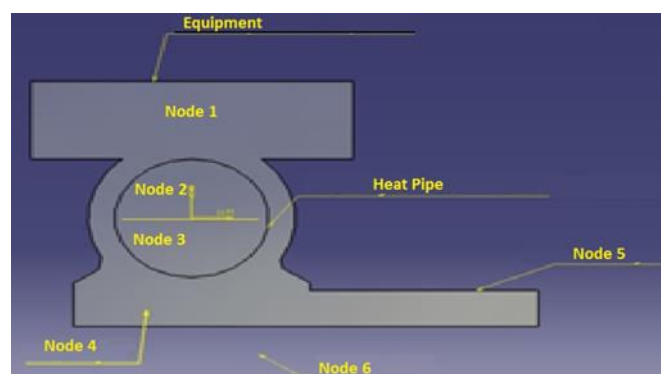


Figure 4. The model configuration (front view) (Arslantas et al., 2016; Arslantas et al., 2017)

Values used in the calculation for temperature parameter are shown in Table 1. The maximum, and minimum values shown in Table 1 were calculated by using the values shown in Table 2. Only heat load comes from Sun have taken into account in calculation because GEO satellites are 36.000 km from the Earth. Earth albedo and Earth IR values are considered zero. View factor was taken 1 in calculation. Stefan Boltzman constant (σ) = $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²/K⁴ has been taken. To demonstrate the accuracy of the TSS

software, the TSS software and ThermXL, the TSS software and SatTherm are both run through the identical simulations (minimum, nominal, maximum).

Table 1. Thermal parameter values

Parameter	Unit	Values		
		Minimum	Nominal	Maximum
Sun Intensity	W/m ²	1397	1418	1439
Absorptivity		0,3589	0,37	0,3811
Emissivity		0,7566	0,78	0,8034
Radiation Area	m ²	0,0475	0,05	0,0525
Conductive				
Conductance	W/K	18-135	20-150	22-165
Dissipation	W	28,5	30	31,5

Table 2 was taken from ECSS-E-30 Space Engineering Part 1A Mechanical- Part 1 Thermal Control document. The values on Table 2 were used in order to calculate the parameter inaccuracies.

Table 2. Parameter inaccuracies (ECSS, 2000)

Parameter	Unit	ECSS
		Standard
Solar Intensity	W/m ²	+/-21
Absorptivity		+/-0,03%
Emissivity		+/-0,03%
Radiation Area	m ²	+/-5%
Conductive		
Conductance	W/K	+/-10%
Dissipation (>10 W)	W	+/-5%

Table 3 shows the thermal analysis conditions which are taken account during thermal analysis.

Table 3. Thermal analysis conditions

Parameter	Maximum	Nominal	Minimum
Solar Intensity	Max	Nominal	Min
Absorptivity	Max	Nominal	Min
Emissivity	Min	Nominal	Max
Radiation Area	Min	Nominal	Max
Conductive			
Conductance	Min	Nominal	Max
Dissipation	Max	Nominal	Min

During the maximum condition, solar intensity, absorptivity and dissipation values are maximum values. On the other hand, emissivity, radiation area, and conductive conductance are minimum values.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Thermal analysis of the spacecraft is required to verify and refine the thermal design. It is used to predict temperature of the spacecraft in a known or assumed heating environment, using a steady state analysis.

In this study, maximum and minimum calculated temperatures are presented with the small thermal model by using the TSS tool, ThermXL, and SatTherm Software. The calculated temperature values are shown in Table 4. By using the TSS tool, temperatures are as follows. The highest temperature is 66,8 °C at node 1 (equipment temperature) in the maximum condition. The highest temperature is 42,5 °C at node 5 (radiator temperature) in the minimum condition. The highest temperature difference between node 1 and node 5 is 5,9 °C in the maximum condition. The lowest temperature difference between node 1 and node 5 is 4,4 °C. Between the maximum temperature and the minimum temperature at node is 19,9 °C. Most electronic equipment operates below 85 °C. By using ThermXL software tool, the maximum and minimum temperatures are 62,8 °C at node 1 and 38,4 °C at node 5. By using SatTherm software tool, the maximum and minimum temperatures were 63,7 °C at node 1 and 39,6 °C at node 5, respectively. The average computation time of the TSS tool, ThermXL, and SatTherm are 11, 8, 9 seconds.

It can also be seen from Table 4 that the calculated temperature results varied greatly because of the parameters, shown in Table 3. It can be seen from Table 4 that all the temperatures are within the range of the allowable maximum temperature.

Table 4. Calculated temperature results

Software	Temperatures	Node				
		1	2	3	4	5
		°C				
TSS	Maximum Temperature	66,8	65,7	65,5	62,1	60,9
	Nominal Temperature	56,6	55,6	55,5	52,5	51,5
	Minimum Temperature	46,9	46	45,9	43,3	42,5
ThermXL	Maximum Temperature	62,8	61,7	61,5	58,1	56,9
	Nominal Temperature	53,5	52,5	52,1	49,8	48,7
	Minimum Temperature	43,8	42,7	42,5	39,4	38,4
SatTherm	Maximum Temperature	63,7	62,6	62,5	59,2	57,8
	Nominal Temperature	54,6	53,8	53,6	50,7	49,6
	Minimum Temperature	44,5	43,9	43,7	40,5	39,6

CONCLUSION

In this study, the initial thermal performance of the sample model was presented with using the TSS tool at a steady state condition. All analysis conditions were run by using ThermXL and SatTherm software tools. The temperature results and computation time were compared to each other. The results of the initial analysis involving radiation and conduction of the sample model were represented.

The temperatures predicted by the TSS tool agreed with those predicted by ThermXL tool within 4 °C or less and SatTherm tool within 3 °C or less. The computation time of the TSS was 3 seconds longer than the computation time of ThermXL and 2 seconds longer than SatTherm. Because Excel re-calculates every cell when the number was modified, the solution time with the TSS tool, ThermXL, and SatTherm

were noticeably slower than using the commercial softwares (Thermal Desktop, Thermica, Esatan-TMS).

The TSS tool is found to be a suitable tool for early phase thermal design and analysis. The thermal model development time is quick, simple, and intuitive as the design progresses. TSS tool enables quick turnaround result, which is suitable for parametric studies.

REFERENCES

- Allison, C., Diaz-Aguado, M., Jaroux, B., 2009, "SatTherm: A Thermal Analysis and Design Tool for Small Spacecraft", *23rd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, UT, USA, 10-13 August 2009.
- Arslantas, E., Bulut, M., Sozbir, N., 2016, "Haberleşme Uydularında Belirsizlik Değerlerinin Isıl Kontrol Sistemine Etkisi", *IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, Kocaeli, Turkey, 28-30 September 2016. (in Turkish)
- Arslantas, E., Bulut, M., Sozbir, N., 2017, "The Effect of Uncertainty Values of Thermal Control System on GEO Satellites". *8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST 2017*, Turkish Airforce Academy, Istanbul, 19-22 June 2017.
- Blom, E., Narverud, E., Birkeland, R., 2006, *Technical Specifications*, pp. 25-29.
- Diaz-Aguado, M.F., Ghassemieh, S., Van Outryve, C., Beasley, C., and Schooley, A., 2009, "Small Class-D Spacecraft Thermal Design, Test and Analysis- PharmaSat Biological Experiment", *IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 7-14 March 2009.
- ECSS-E-30, 2000, *Part 1A: Space Engineering, Mechanical –Part 1: Thermal Control*, ESA Publications.
- Richmond, J.A., 2010, *Adaptive Thermal Modeling Architecture for Small Satellite Applications*, Master of Science in Aeronautics and Astronautics at Massachusetts Institute of Technology, June 2010.
- Shirazi, A., Mirshams, M., 2013, "Software Development for Satellite Thermal Design", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 390, pp 703-707.
- Thomas, J., Robson, A., Price, S., 2001, "Spreadsheet Analysis for Early Phase Thermal Design", *31st International Conference on Environmental Systems*, Orlando, FL, USA, 9-12 July 2001.

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE ZEMİN KAYMA YÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

¹Atıla DEMİRÖZ, ²Özcan TAN, ³Ayhan GÖKTEPE, ⁴Hakan KARABÖRK

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

³Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

⁴Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

¹ademiroz@selcuk.edu.tr, ²ozcantan@selcuk.edu.tr, ³agoktepe@selcuk.edu.tr, ⁴hkarabork@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 18.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.12.2017)

ÖZ: Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülemede, kırılma yüzeylerini görmek için deneye bir süre daha devam ederek temelin oturmasının artması gerekmektedir. Bu durumda çıplak gözle belirlenen kırılma yüzeyleri gerçekte kırılma anına karşılık gelen yüzeyler olmadığından ölçülen kırılma geometrisi de gerçek durumu yansıtmamaktadır.

Bu çalışmada kırılma yüzeylerinin fotogrametri tekniği ile yüklemenin başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak izlenebilmesidir. Bu amaçla, geogrid donatılı ve donatısız kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen değişik faktörlere göre belirlenen deneyler yapılmış ve fotogrametrik olarak izlenmiştir. Deneylerde çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniğiyle değerlendirilerek kayma yüzeyleri sayısallaştırılarak koordinatları belirlenmiştir. Bu teknik ile donatılı ve donatısız zeminlerde oluşan kayma yüzeyleri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital fotogrametri tekniği, Geogrid, Görüntü analizi, Sürekli temel.

Evaluation of The Shear Surfaces in The Soils Using Digital Photogrammetry Technique

ABSTRACT: During the loading tests with model foundations, it is not possible to see the failure surfaces with the naked eye when the limit bearing capacity is reached and it is necessary to continue the test for a while to see the failure surfaces. In this case, since the failure surfaces determined by the naked eye are not actually the surfaces corresponding to the failure moment, the measured failure geometry does not reflect the actual situation.

The purpose of this study is to continuously monitor the failure surfaces from the beginning to the end of the loading with the photogrammetry technique. For this purpose, tests were carried out and photogrammetrically monitored according to different factors affecting the bearing capacity on strip foundations sitting on geogrid reinforced sand and unreinforced sand. The photographs taken in the tests were evaluated by digital photogrammetry technique and their coordinates were determined by the shear surfaces were digitized. The shear surfaces formed on the reinforced and unreinforced soils with this technique have been determined more accurately.

Key Words: Digital photogrammetry technique, Geogrid, Image analysis, Strip foundation.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları izin verilen değerlerde tutmak için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar (geotekstil, geogrid vb.) kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde kullanımları hızla artış göstermektedir. Geogridler, yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılma direncine sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirmesinde kullanılan bir geosentetik türüdür. Geogridlerle güçlendirmedeki asıl amaç, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık yüksek çekme

mukavemeti oluşturmaktır. Bu da temel zemini ile geogrid arasındaki kenetlenme sayesinde ortaya çıkmaktadır (Demiröz ve Tan, 2008)

Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülememekte, kırılma yüzeylerini görmek için deneye bir süre daha devam ederek temelin oturmasının artması gerekmektedir. Bu durumda çıplak gözle belirlenen kırılma yüzeyleri gerçekte kırılma anına karşılık gelen yüzeyler olmadığından ölçülen kırılma geometrisi de gerçek durumu yansıtmamaktadır. Çalışmanın amacı, kırılma yüzeylerinin fotogrametri tekniği ile yüklemenin başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak izlenebilmesidir. Bu amaçla, geogrid donatılı ve donatısız kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen değişik faktörlere göre belirlenen deneyler yapılmış ve fotogrametrik olarak izlenmiştir. Dijital fotogrametri üzerinde günümüze kadar çok çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış olup bunlardan birkaç tanesi aşağıda özet olarak verilmiştir.

Summers ve diğ. (2003), Yozgat İli, Kerkenez Dağının eteklerindeki maden devrinden kalma şehrin taş duvarları ve yol kaplamasında kullanılan taşların dokusu fotogrametrik tekniklerle rölöveleri çıkarılmıştır. Çalışmada taş duvarlar için kontrol noktaları belirlenmiş, Total Station ile koordinatları ölçülmüş ve fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraflar AERIAL 5.3 yazılımıyla düzeltme yapılarak AutoCAD yazılımında gerekli çizimler yapılmıştır. İstenen doku, geleneksel yöntemle yapılan ölçüme göre kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Yakar ve Yıldız (2005), Konya İli, Beyşehir İlçesinde restorasyon amaçlı belgelendirme ve tespit çalışmasında 29 adet tescilli yapı fotogrametrik olarak belgelenmiştir. Araştırmacılar projede TOPCON 3005 Total Station aletiyle 15 adet kontrol noktasında ölçümler yapmış ve daha sonra tescilli yapıları Kodak EasyShare DX4530, Nikon Coolpix 950 dijital kameralarla fotoğrafları çekilmiştir. Sonuç olarak tüm rölöveler Photo Modeler yazılımıyla 3D boyutlu olarak oluşturulmuştur.

Yalçın (2005), Doğu Karadeniz Bölgesinde Rize İli, Ardeşen İlçesinde yerleşim yerlerinin yoğun olduğu alanlarda heyelan duyarlılık analizi yapılarak, heyelan açısından tehlikeli alanların belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması ve de yeni yerleşim merkezlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve dijital fotogrametri tekniklerinden yararlanılarak heyelan bölgesinin heyelan envanter haritası üretilmiştir.

Avşar (2006), çalışmasında, Kapuağası Köprüsündeki her bir taşın 2B ve 3B koordinatları belirlemek amacıyla köprünün her iki yüzünün resimleri yüzeye paralel ve bindirmeli olarak yaklaşık 10, 20 ve 40 m mesafeden çekilerek fotogrametrik değerlendirmesi Pictran yazılımı ile yapılmıştır. Sonuç olarak köprünün çeşitli ölçeklerde rölöveleri üretilmiş ve üç boyutlu olarak modellenmesi yapılmıştır.

Aydar (2007), tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Tapu ve Kadastro II. Bölge Müdürlüğü Binasının ön cephe resimlerini cep telefonu ve dijital kamera ile çekerek elde edilen resimleri Pictran, Photo Model ve Pho Topol fotogrametrik yazılımları kullanarak düşeye çevirmiştir. Çalışmanın amacı, iki ayrı veri elde etme aracıyla alınan resimlerin düşeye çevirme yöntemi kullanarak karşılaştırma yapılmasıdır. Araştırmacı elde edilen sonuçlara göre cep telefonu ile çekilen resimlerin dijital kamerayla çekilen resimlere göre daha iyi sonuçların alındığını belirtmiştir.

Yakar ve diğ. (2005), Konya İli, Sille Köyünde (Mahallesi) tarihi dokunun korunması amacıyla yapılan Kentsel Koruma Projesi'nde fotogrametrik ölçüm teknikleri esas alınarak rölöve ve sokağın silüetlerinin çıkarılması hedeflenmiştir. Proje çalışmasında Kodak DSC 4530 dijital kamera ile sokağın fotoğrafları çekilmiş ve Photo Modeler yazılımıyla elde edilen tüm çizimler değerlendirilmiştir.

Bitellia ve diğ. (2007), Pompeii antik kentteki "Lararium" tapınağının (antik Roma evlerinde, LAR adı verilen ve evlerin içini koruduğuna inanılan tanrıya adanmış kutsal mekân, bi nevi küçük tapınma mekânı) günümüze kadar meydana gelen değişiklikleri ortaya çıkarmak amacıyla objenin üç eski fotoğrafından yararlanarak, geçmişteki durumunun modellenmesi ve de fotogrametrik yöntemlerle Lararium'un mevcut hali modellenmiştir.

Erwes ve diğ. (2003), tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'da 23 m. yüksekliğinde 107 m. uzunluğundaki binanın fotogrametrik olarak ölçekli cephe üç ayrı ortofoto üretilerek ele alınmıştır. Araştırmacılar, binanın büyük oluşu ve ağaçların olması nedeniyle yakından fotoğraf çekerek binanın üç ayrı parça olarak ele alınmış ve üç ayrı ortofoto üretilerek daha sonra birleştirilmiştir. 30 adet kontrol

noktası belirlenerek kontrol noktaları arasındaki mesafeler ölçülmüştür. Ayrıca ölçümler, LEICA TSR 307 Total Station aleti ile koordinat sistemiyle ölçümler tekrar kontrol edilmiştir. PhotoModeler 4.0 yazılımıyla ortofotolar üretilerek ve ortofoto görüntüler AutoCAD yazılımı ile cepheye ait çizimler elde edilmiştir.

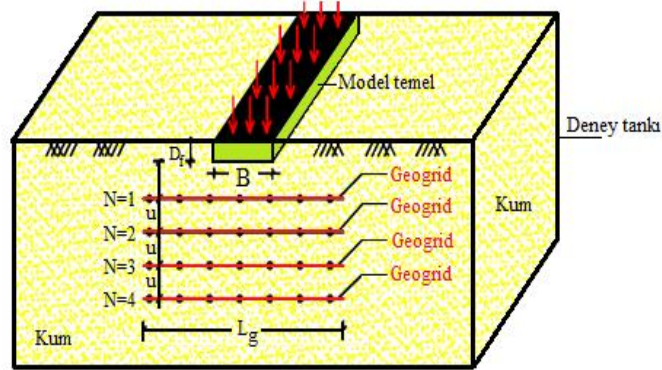
Köken ve diğ. (2014), yazarlar, tersinir-tekrarlanır yüklemeye maruz kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki dönme açısının tespitinde iki farklı ölçüm tekniği kullanmışlardır. Birinci yöntemde yapı mekaniği deneylerinde yaygın olarak kullanılan klasik ölçüm tekniğiyle yer değiştirmeler elektronik deplasman ölçerler (LVTD) yardımıyla ölçülmüştür. İkinci yöntemde dijital fotogrametrik ölçüm tekniği kullanılmıştır. Test edilen 10 adet deney numunesinin kiriş-kolon birleşim bölgesindeki dönme açıları bu iki yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde ölçüm ve değerlendirme prosedürü tartışıldıktan sonra elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Çalışma sonunda fotogrametrik ölçüm tekniğinin elektronik deplasman ölçerlerin (LVDT) kullanıldığı klasik ölçüm tekniğine alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Maraş ve diğ. (2016), Bu çalışmada, Kurt Köprüsünün dokümantasyonun hazırlanması, tahrip olmuş yapısının, tahrip olan kısımlarına ait bilgilerin dijital fotogrametri tekniğiyle 3B model oluşturulmuştur. 3B modeller üzerinden köprünün plan, kesit ve görünüşleri hazırlanmıştır.

DENEYSSEL TASARIM VE DİJİTAL FOTOMETRİ YÖNTEMİ (EXPERIMENTAL DESIGN AND DIGITAL PHOTOMETRY METHOD)

Seçilen Tasarım Parametreleri (Selected Design Parameters)

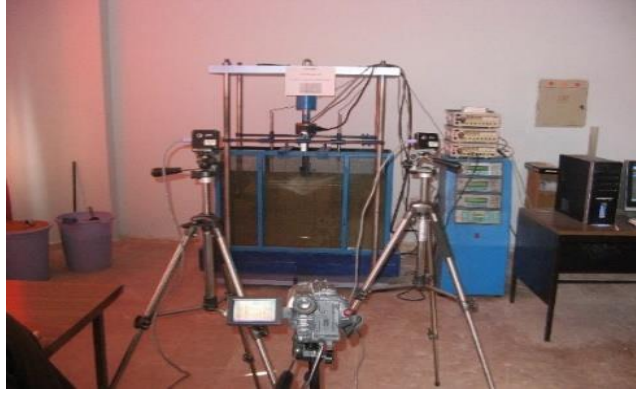
Çalışmada; geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin sınır taşıma gücünü etkileyen ve kontrol edilebilen donatı etki oranı (u), temel genişliği (B), temel derinliği (D_f), donatı tabaka sayısı (N), donatı tabakasının uzunluğu (genişliği) (L_g), parametreleri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Donatı geometrik parametreleri

Figure 1. Reinforcement geometric parameters

Model temelerde taşıma gücü deneyleri kumun rölatif sıklığı %85 seçilerek, donatısız ve değişik derinlik oranlarında donatı kullanılarak iki farklı grupta deneyler yapılmıştır. Çalışmaya ait ayrıntılı bilgi Demiröz, (2008) doktora tezinde verilmiştir. Yükleme platformu içerisine yerleştirilen deney tankı alt rijit taban plakasına kaynakla sabitlenmiştir. Böylelikle deney esnasında tankın herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir (Şekil 2). Deneylerde donatı malzemesi olarak kullanılan GEOGRİD UR55 Türkiye'de 2000 yılından beri Çevre Plastik Ürünleri San. Tic. Taah. Ltd. tarafından üretilmektedir (URL-1). Yerleştirilen donatılar boyuna nervürler, temel plakasının uzun kenarına paralel olarak yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kum zeminin sınıfı kötü derecelenmiş temiz kumdur (SP). Kuma ait sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 1).



Şekil 2. Deney kasası ve yükleme çerçevesi
Figure 2. Test case and loading frame

Çizelge 1. Kumun fiziksel özellikleri
Table 1. Physical properties of sand

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif dane çapı D_{10} (mm)	0,35
D_{30} (mm)	0,48
D_{60} (mm)	0,55
Üniformluk katsayısı C_u	1,375
Derecelenme katsayısı C_c	1,05
Özgül yoğunluk G_s	2,68
Minimum boşluk oranı (e_{min})	0,53
Maksimum boşluk oranı (e_{max})	0,71
Minimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{min} (kN/m ³)	15,54
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{max} (kN/m ³)	17,52
Rölatif Sıkılık (%)	85

Dijital Fotogrametri ile Deney Tasarımı (Experimental Design with Digital Photogrammetry)

Dijital fotogrametri sayısal kameralar ile çekilen stereo fotoğraflar yardımıyla güvenilir ölçüler elde etme bilimi ve tekniğidir. Fotogrametri; fotoğraflar üzerinden nesnelere ölçme tekniği ve görüntü verilerinin metrik yorumlanması olarak da tanımlanmaktadır (Wolf ve Dewitt, 2000). İnsanoğlu objelere bakarken sağ ve sol göz, objeleri farklı açılarla görmekte ve her gözde cismin ayrı bir görüntüsü oluşmaktadır. Bu görüntüler optik sinirler aracılığıyla beynin görme merkezinde birleştirilerek 3B görme olayı gerçekleşmektedir. Fotogrametrik değerlendirme yapılacak sahanın iki farklı noktadan ortak görüntü alanı oluşturacak şekilde sayısal görüntüleri elde edilmekte ve bu fotoğrafların ortak görüntü alanlarının 3B görüntü değerlendirmesi yapılmaktadır. Fotogrametri, gelişen teknolojiye paralel olarak bugün, artık fotoğraf yerine video veya CCD (Charge Couple Device, Yük bağlamalı Düzen, Dijital) kameralarla üretilen veya tarayıcılarla elektronik olarak optik ya da manyetik ortamlara sayısal olarak kaydedilen görüntüleri kullanmaktadır.

Dijital Fotogrametride Kullanılan Yazılımlar (Software Used in Digital Photogrammetry)

Fotogrametrik çalışmalar için kullanılacak sayısal kameralar yüksek çözünürlüklü olmalıdır (Göktepe, 1998). Düşük çözünürlüklü kameralar üç boyutlu görsel sunular için yeterli olabilir ancak metrik ölçümler için yeterli değildir. Kullanılacak yazılımlar ihtiyaca göre seçilir. Üç boyutlu görselleştirme ya da ortofoto yapılacaksa yazılım amaca uygun seçilmelidir. Sağladığı üstünlüklerden dolayı ışın demetleri yöntemine göre alım yapıldıysa bu yöntemin verilerini kullanan değerlendirme

yazılımları kullanılmalıdır. Her türlü CAD yazılımı ve bu verileri kullanabilen görsel sunum araçları değişik ihtiyaçlar için kullanılabilir. Ancak günümüzde resimler doğrudan digital formatta çekilmekte ve bilgisayar ortamında bu amaçla yazılmış programlarla (Pictran, Photomodeler, Z-Map, vs) değerlendirilmektedir. Çalışmada dijital görüntü işlemek için kullanılan yazılım Pictran yazılımıdır. Pictran yazılımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Laboratuvarından temin edilerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Deneylerde Dijital Fotogrametri Yönteminin Uygulanması (Application of Digital Photogrammetry in Experiments)

Deneylerde çekilen resimlerden, kayma yüzeyinin ilk oluşumunu, yatay hareket miktarını, kum zemindeki kabarmaları ve kayma yüzeyinin şeklini belirlemek için dijital fotogrametri yöntemi uygulanmıştır. Deneylerde stereo model oluşturabilmek için farklı noktalardan çekilen sayısal görüntülerin birbirleriyle %60-%70 örtülü alan oluşturacak şekilde alımları yapılmıştır.

Görüntüler bilgisayar kontrollü olarak çalışan 1/150 sn hızında seri çekim yapabilen Dragonfly Express video kamera ile alınmıştır. Kamerada alınan görüntülerin tek bir fotoğrafik görüntü olarak da kaydedilme özelliği mevcuttur. Görüntüler alınırken poz aralığı olarak 1/15 sn/poz seçilmiştir. Poz aralığının büyük seçilmesinin nedeni, yük uygulandığı zaman objedeki deplasmanları daha net ve belirgin olarak görüntüleyebilmektir. Deplasmanlar yük uygulandığı anlarda oluştuğundan dinamik bir hareket söz konusu değildir. Çekilen resimlerin bilgisayar ortamında dijital fotogrametri PICTRAN yazılımında dış yöneltmesinin (exterior orientation) yapılabilmesi için obje üzerinde 12 adet sabit kontrol noktası işaretlenmiştir. Bu noktalar, TOPCON GTS 701 elektronik uzunluk ölçer (EUÖ) ile ölçüleri yapılmıştır (Şekil 3). Bu noktaların hesaplanan koordinatları (X, Y, Z) Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 3. TOPCON GTS 701
Figure 3. TOPCON GTS 701

Çizelge 2. Deney tankı üzerindeki kontrol noktalarının obje koordinatları

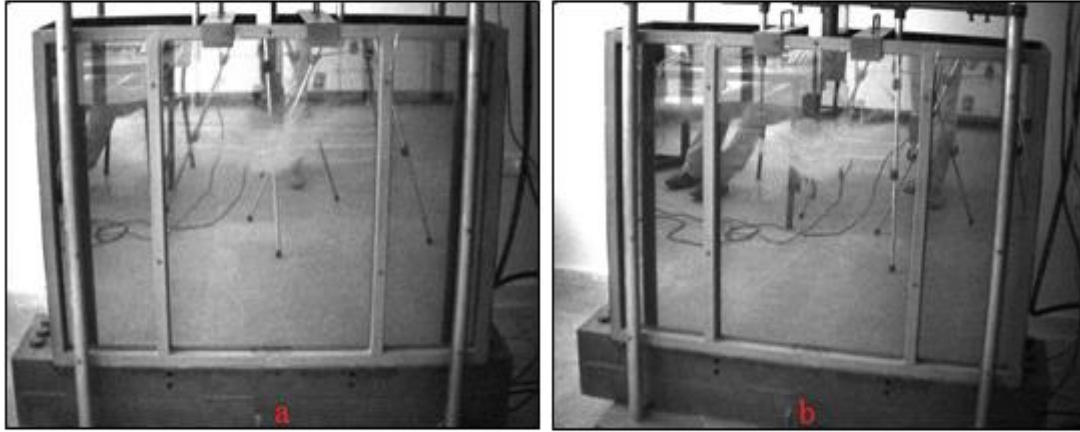
Table 2. Object coordinates of control points on the test tank

Nokta	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	99.4910	400.3420	304.2650
2	99.0220	400.3500	304.2660
3	98.7570	400.3360	304.2680
4	99.3970	400.5420	304.3170
5	98.9890	400.5440	304.3190
6	99.4020	401.0880	304.3180
7	98.9620	401.0850	304.3160
8	99.4270	401.2940	304.2680
9	99.0750	401.2910	304.2660
10	99.7770	401.2880	304.2670
11	100.1490	401.1980	304.2190
12	99.5120	400.8160	304.3190

Bu çalışmada, objenin ebatları 110 cm, 80 cm ebatlarında, kullanılan Dragonfly video kameranın odak uzaklığı $f=8$ mm'dir. Bu nedenle fotoğraf çekimleri, obje ile çekim noktaları arasındaki uzaklık 3 m olarak seçilmiştir. İki çekim noktası arasındaki uzaklık (baz uzunluğu) ise 1,5 m olarak seçilmiştir. Fotogrametride en iyi stereoskopik alan derinliği $b/h=0,3-0,6$ (baz/çekim uzaklığı) oranları arasında sağlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada $b/h=0,5$ baz/yükseklik oranı elde edilecek şekilde bir fotoğraf çekim düzeni oluşturulmuştur. Sonuçta fotoğraf ölçeği $1/mr=1/375$ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle en uygun stereoskopik görüş ve netlik sağlanmıştır.

Görüntülerin stereoskopik değerlendirmesine geçmeden önce, Dragonfly Express Video kameranın kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyonun asıl amacı, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden iç yöneltme (interior orientation) parametrelerin hesaplanmasıdır. Bu parametreler, resim çekim kamerasının düzeltilmiş odak uzaklığı (f), resim ana noktasının (principal point) fotoğraf orta noktasına göre koordinatları (öteleme değerleri x_0 , y_0) ile mercek distorsiyonunun ait denklemin katsayıları hesaplanmıştır. Sayısal görüntüdeki her bir pikselin büyüklüğü ise $7,4$ μ m olarak bulunmuştur. Stereoskopik görüntü alımı için objenin iki farklı noktadan görüntüleri alınmıştır. Bu işlem için sol ve sağ kamera objeden 3m uzaklıkta ve 1.5m baz aralığında konumlandırılmış ve görüntüler kaydedilmiştir. 1/15 sn poz aralığında kaydedilen görüntülerin eşzamanlı olanlar arasından en uygun olan iki görüntü seçilmiştir. Seçilen bu iki ortak örtü alanına sahip görüntüler kullanılarak 3B görüntüleri elde edilmiştir. Görüntü alımları, değişik yük kademelerinde ardışık olarak tekrar edilmiştir.

Donatısız deneylere ait olan deneyde 6 dakika süre ile sol ve sağ kameralardan alınmış görüntüler Şekil 4.a ve 4.b'de verilmiştir. Deney sırasında 6 dakika süresince çekilmiş olan görüntüler 1/15 sn/poz aralığında kaydedilmiştir. 15 poz içerisinde eş zamanlı olan iki tanesi alınmıştır.



Şekil 4. (a) Sol kamera ile 6. dakikada alınan görüntü ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm), (b) Sağ kamera ile 6. dakikada alınan görüntü ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm)

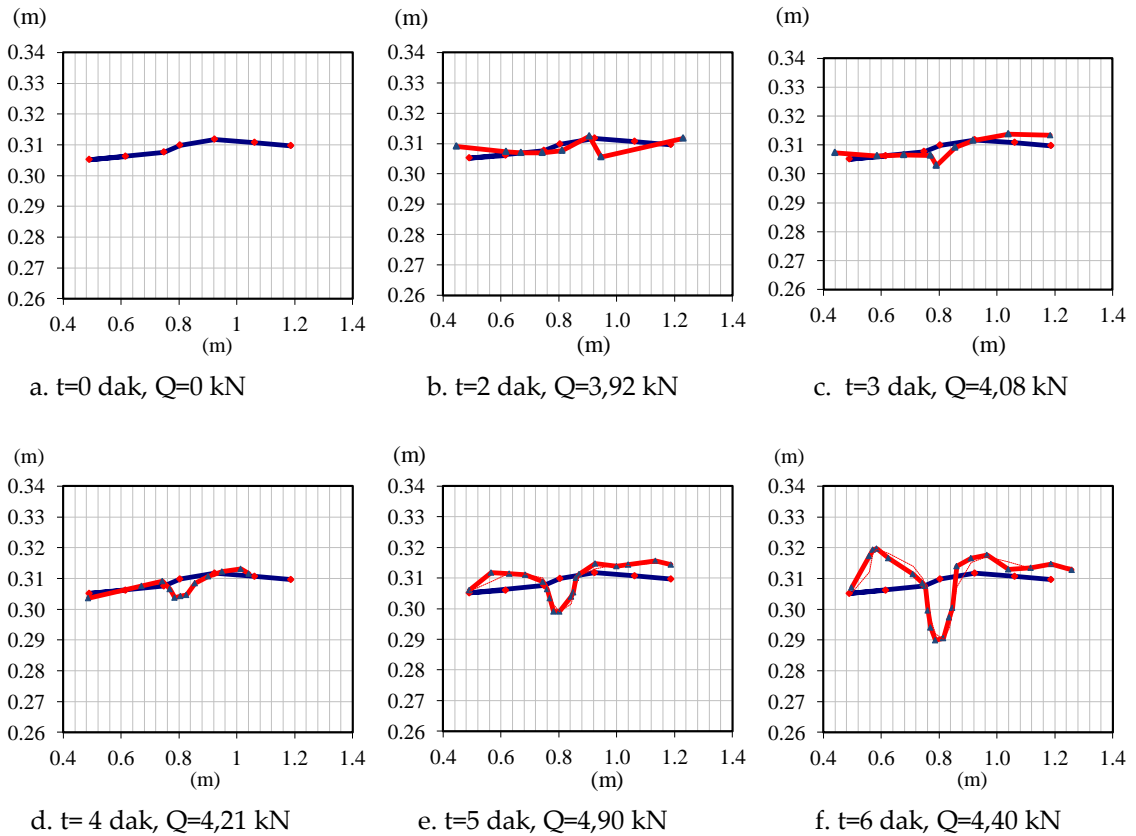
Figure 4. (a) Image taken with the left camera in the 6th minute ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm) (b) Image taken with the right camera in the 6th minute

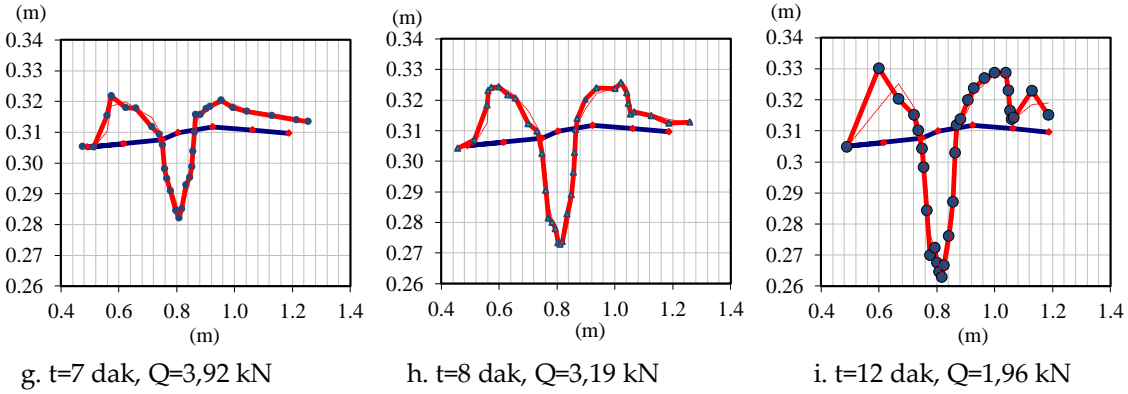
Seçilen eş zamanlı görüntüler ile stereoskopik görüntü (proje) oluşturulmuştur. Projeye ait görüntü özellikleri tanımlandıktan sonra iç yöneltme (interior orientation) işlemi yapılmıştır. İç yöneltme işlemi PICTRAN yazılımının PICTRAN-D modülüyle, demet dengemesi PICTRAN B modülü ile yapılmıştır. Demet dengemesinin amacı, iç yöneltmesi yapılan resimlerin dış yöneltme işlemini gerçekleştirilmesidir. Bu işlem adımı obje üzerinde önceden işaretlenen kontrol noktalarının (12 adet) TOPCON GTS 701 cihazı ile hesaplanan obje koordinatları ile bilgisayar ortamında ölçülen görüntü koordinatları arasında 3B dönüşüm yapılarak her iki koordinat sistemi arasındaki bilinmeyenler hesaplanmıştır. Bu bilinmeyenler obje koordinat sistemi ($X;Y;Z$) ile resim koordinat sistemi ($x;y;z$) arasındaki dönüklük ve öteleme değerlerinin hesaplanması için yapılmıştır.

ZEMİN KAYMA YÜZEYLERİNİN DİJİTAL FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF SOIL SHEAR SURFACES BY DIGITAL PHOTOGRAMMETRY)

Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülememektedir. Dijital fotogrametri tekniğiyle kırılma yüzeyleri çıplak gözle izlemeye göre daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Deneylerde çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniğiyle değerlendirilerek kayma yüzeylerinin koordinatları sayısallaştırılmıştır. Bu şekilde temel zeminde kırılma gerçekleşene kadar kayma yüzeylerinin gelişimi izlenmiştir. İki farklı açıdan çekilen fotoğraflardan oluşan üç boyutlu görüntülerle obje üzerindeki deplasmanların tespiti için dış yönlendirmede kullanılan obje üzerindeki 12 referans noktası kullanılmıştır. Deneyler esnasında kum tanelerinin hareketlerini modellemek için tank içerisine kum istenilen sıklıkta yerleştirilirken belirli aralıklarla 1-3 sıra beyaz renkli kum taneleri 2-2,5 mm kalınlığında tabaka olacak şekilde serpilmiştir. Bu şekilde deney başlangıcında yatay ve birbirine paralel olan doğrulara (referans doğruları) ait koordinatların deney esnasındaki değişimi izlenmiştir. Temel genişliği B=8 cm olan donatısız ve donatılı temeller için yapılan değerlendirme sonuçları örnek olarak verilmiştir.

Temel genişliği B=8 cm ve temel derinliği D=0 olan donatısız deneyde deney başlangıcından itibaren t=0, t=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 12 dakikalarda çekilen resimler değerlendirilerek referans doğrusunun (beyaz renkli ince kum tabakasının) koordinatları belirlenmiştir. Verilen grafiklerden kum tanelerindeki hareketler belirgin bir şekilde görülmektedir. Referans doğrusunun altındaki noktalar kum tanesinin aşağıya doğru hareketini, üstündeki noktalar ise yukarıya doğru hareketini göstermektedir. Deney başlangıcından 5 dakika sonra sınır taşıma gücüne ulaşılmıştır. Deney esnasında kırılma yüzeyleri çıplak gözle t=8 dakika sonra görülmüştür. 5. ve 8. dakikalar için çizilen grafikler karşılaştırıldığında çıplak gözle izlenen kayma yüzeylerinin kayma yenilmesi durumuna karşılık gelmediği, iki durum arasında kum tanesinin yaklaşık 3 cm daha fazla oturma yaptığı görülmektedir. Deney başlangıcında yatay olan doğruya ait koordinatların zamana (yük artışına) bağlı değişim grafikleri Şekil 5'de verilmiştir.





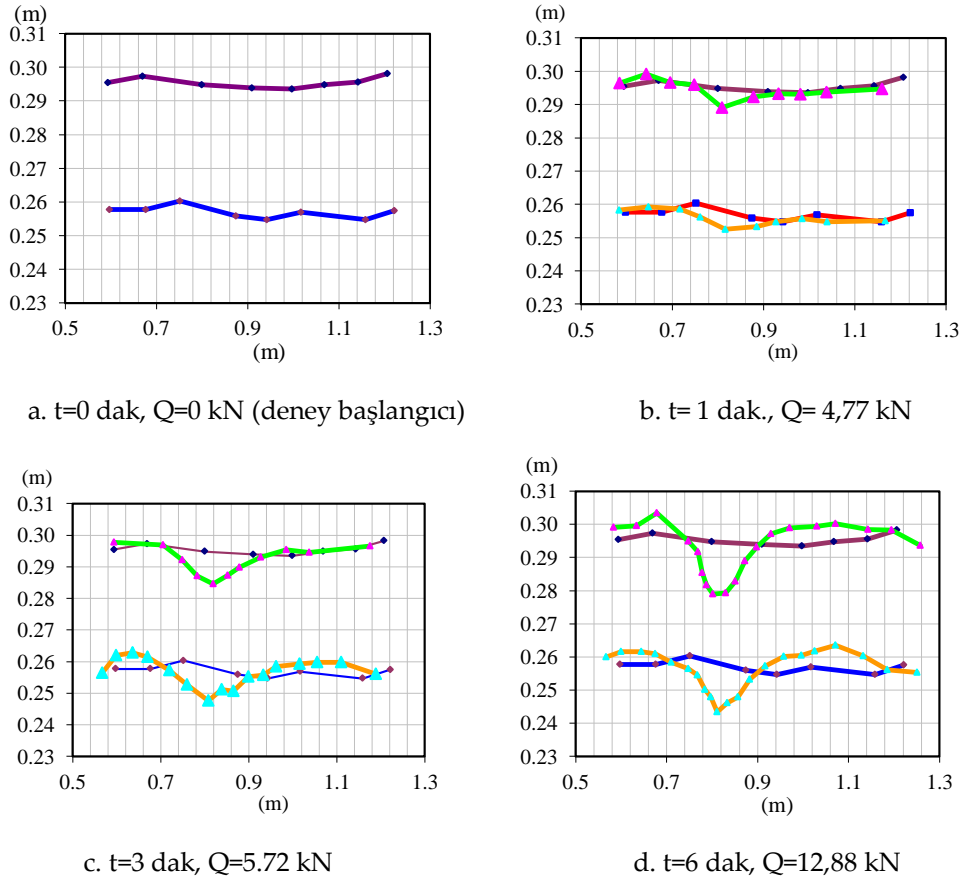
Şekil 5. ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm) donatısız zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

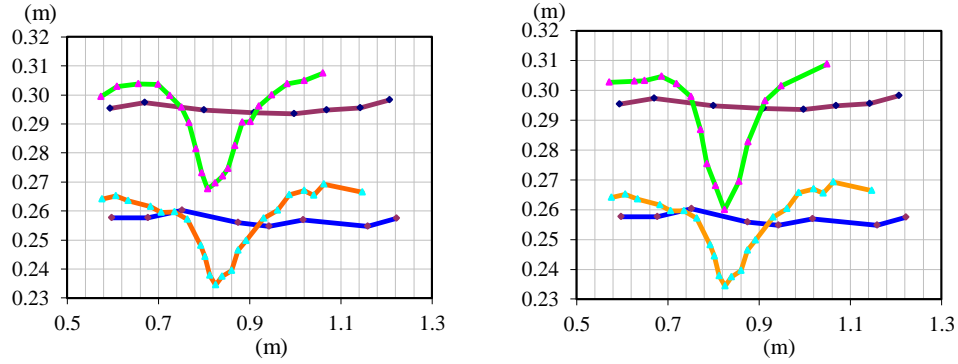
Figure 5. ($B = 8$ cm, $D_f = 0$ cm) sand motions determined by digital photogrammetry in unreinforced soil

Temel genişliği $B=8$ cm, donatı sayısı $N=1$, temel derinliği $D_f=4$ cm, donatı uzunluğu $L_G=80$ cm ve temel tabanı ile donatı arasındaki düşey uzaklık $u=6$ cm olan donatılı deneye ait grafikler şekil 6'de verilmiştir.

Sınır taşıma gücüne ulaşıldığı durum ($t=6$ dak.) ile kayma yüzeyinin belirgin olarak görüldüğü durum ($t=10$ dak.) arasında yaklaşık 2 cm oturma farkının olduğu gözlenmiştir. Grafiklere bakıldığında donatılı zeminlerde sınır taşıma gücüne ulaşmak için donatısız zemine göre daha fazla oturma olduğu görülmektedir.

Donatılı zemin ait resimler şekil 7'de verilmiştir. Çalışmada fotogrametrik olarak gerçekleştirilen deneyler ve deneylerde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3).





e. t=8 dak Q=7,94 kN

f. t=10 dak, Q=5,25 kN

Şekil 6. (B=8 cm N=1 u= 6 cm L_G=80 cm, D_f= 4 cm) donatılı zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

Figure 6. B = 8 cm N = 1 u = 6 cm L_G = 80 cm, D_f = 4 cm sand movements determined by digital photogrammetry



Şekil 7. Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm, N=3, u=3 cm, L_G=32 cm, D_f= 4 cm)

Figure 7. Images of reinforced soil tests (B = 4 cm, N = 3, u = 3 cm, L_G = 32 cm, D_f = 4 cm)

SONUÇ (RESULT)

Fotogrametride elde edilen resimlerin değerlendirilmesindeki otomasyon ve doğruluk, üç boyutlu cisim koordinatlarının resimlerdeki ölçmelerden elde edilmesindeki kolaylık ve sürat, artık fotogrametrinin gelişim yönünü belirleyen en önemli etkidir (Marangoz, 2002). Fotogrametrideki gelişmeler sonucunda fotogrametrik sistemlerin mühendislik uygulamalarında kullanımı yaygın bir şekilde artmaktadır. Fotogrametri kullanıcılarına sağladığı avantaj sayısal görüntü eşleme teknikleri ve dış yöneltme parametreleri ile objenin 3B sayısal modelinin oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada elde edilen sayısal sonuçlar ve görsellere göre kum tanelerindeki deplasmanlar belirgin bir şekilde görülmektedir. Referans doğrusunun altındaki noktalar kum tanelerinin aşağıya doğru hareketini, üstündeki noktalar ise yukarıya doğru hareketini göstermektedir. Deney başlangıcından 5 dakika sonra sınır taşıma gücüne ulaşılmıştır.

Deney esnasında kırılma yüzeyleri çıplak gözle t=8 dakika sonra görülmüştür. 5. ve 8. dakikalar için çizilen grafikler karşılaştırıldığında çıplak gözle izlenen kayma yüzeylerinin kayma yenilmesi durumuna karşılık gelmediği, iki durum arasında kum tanelerinin yaklaşık 3 cm daha fazla oturma yaptığı görülmektedir.

Dijital fotogrametri tekniğiyle kayma bölgesindeki daha fazla sayıdaki noktanın koordinatları izlenerek daha kapsamlı sonuçlar geliştirilebilir. Bu şekilde kayma yüzeylerinin ilk oluştuğu andaki oturma ile sınır taşıma gücü arasındaki ilişkileri modellenebilir, ayrıca kayma bölgesindeki üçgen

kamanın dengesini dikkate alan taşıma gücü teorilerinin gerçek kayma yüzeyleri dikkate alınarak geliştirilmesi de araştırılabilir.

Çizelge 3. Dijital fotogrametri ölçümleri

Table 3. Digital photogrammetry measurements

Deney No	DONATISIZ					KONTROL DENEYLERİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DZ8-1	8	-	-	-	0	DF UYGULANDI
DZ8-2	8	-	-	-	4	DF UYGULANDI
DZ8-3	8	-	-	-	8	DF UYGULANDI
DZ8-4	8	-	-	-	12	DF UYGULANDI
Deney No	DONATISIZ					KONTROL DENEYLERİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DZ6-1	6	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ10-1	10	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	0	-
DZ4-2	4	-	-	-	2	-
DZ4-3	4	-	-	-	4	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	6	D.F. UYGULANDI
Deney No	DONATILI					KONTROL DENEYİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DN8-1	8	1	4	72	0	D.F. UYGULANDI
DN8-2	8	2	4	72	0	D.F. UYGULANDI
DN8-3	8	3	4	72	0	D.F. UYGULANDI
Deney No	DONATILI					DENEY
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
T-DN4-1		1	1	16	0	
T-DN4-2	4	2	2	24	2	D.F. UYGULANDI
T-DN4-3		3	3	32	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-4		4	4	40	6	-
T-DN4-5		1	3	48	9	-
T-DN4-6	6	2	1,5	60	6	D.F. UYGULANDI
T-DN4-7		3	6	24	3	D.F. UYGULANDI
T-DN4-8		4	4,5	36	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-9		1	6	80	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-10	8	2	8	64	0	-
T-DN4-11		3	2	48	12	D.F. UYGULANDI
T-DN4-12		4	4	32	8	D.F. UYGULANDI
T-DN4-13		1	10	60	10	D.F. UYGULANDI
T-DN4-14	10	2	7,5	40	15	-
T-DN4-15		3	5	100	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-16		4	2,5	80	5	D.F. UYGULANDI

T: Taguchi Deneyi, DN: Donatılı, DZ: Donatısız, DF: Dijital Foto

B: Temel Genişliği N: Donatı Sayısı u: Donatılar Arası Uzaklık,

L_G: Donatı Uzunluğu, D_f: Temel Derinliği

Dijital fotogrametri tekniği ile sınır taşıma gücüne ulaşıldığı duruma karşılık gelen kayma yüzeylerinin doğru bir şekilde belirlenebileceği, donatılı zeminlerde donatılı zeminlere göre daha fazla oturma olduğu, bu yöntemin taşıma gücü ve diğer geoteknik çalışma alanlarında uygulanabileceği

gösterilmiştir. Dijital fotogrametri tekniğiyle mühendislik yapılarının modellenmesi için yapıya ait bilgiler (rölövesi, ebatları vb) belirlenebilir. Elde edilen veriler yardımı ile yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesi yönünden disiplinler arası çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada "Kum Üzerine Oturan Geogrid Donatılı Sürekli Temelerde Taşıma Gücünü Etkileyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması" başlığı ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 07101035 nolu tez projesi olarak desteklenmiştir. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Avşar, E.Ö., 2006, *Tarihi Köprülerin Digital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.105, İstanbul.
- Aydar, U., 2007, *Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 57, İstanbul.
- Bitellia, G., Girellia, V., A., Marzialib, M., Zanuttaa, A., 2007, "Use of Historical Images for The Documentation and The Metrical Study of Cultural Heritage By Means of Digital Photogrammetric Techniques", *XXI International CIPA Symposium*, Athens, Greece, 01-06 October 2007. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP028.pdf>
- Demiröz, A., 2008, *Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Sürekli Temelerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması*, Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:248, Konya.
- Demiröz, A., Tan, Ö., 2008, "Donatılı Zeminler Üzerindeki Sürekli Temelerin Oturmasını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması", *Selçuk Üni., Müh-Mim., Fak., Dergisi*, c.23, s, 3, ss.13-24, Konya.
- Erwes, H., J. B., Prado., W. S., Silva, A., G. R., Melo, D. W. F., 2003, "Valuation of Orthorectification by Use of Photomodeler Software, *CIPA XIXth International Symposium in Antalya Turkey*. http://la.teikav.edu.gr/epoche/elearn/pluginfile.php/46/mod_resource/content/2/75.pdf
- Göktepe, A., 1998, *Metrik Olmayan Digital Kameraların İç Yöneltilme Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 59s.
- Köken, A., Koroğlu, M, A., Karabork, H., Ceylan, A., 2014, "Photogrammetric Approach in Determining Beam Column Connection Deformations", *Boletim de Ciências Geodésicas Sec Artigos*, Curitiba, Vol. 20, No.3, pp.720-733.
- Marangoz A. M., 2002, *Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. ABD, Uzaktan Algılama ve CBS Programı İstanbul.
- Maraş, E, E., Hacıfendioğlu, K., Birinci, F., Uslu, G., 2016, "Tarihi Köprülerin Dökümantasyonu için Dijital Fotogrametri ile 3B Modellerinin Oluşturulması ve Dinamik Analizlerinin Yapılması (Tarihi Kurt Köprüsü Örneği)" *Harita Dergisi*, Ocak 2016, Sayı 155 ss.1-15.
- Summers, F., Atalan, N., Aydın, N., Basagaç, Ö., Uçar, G., (2003), "Documentation of Archaeological Ruins and Standing Monuments using Photo-Rectification and 3D Modelling" in Altan, M. O. (ed.) *Proceedings of the XIX International Symposium CIPA 2003*, New Perspectives to Save Cultural Heritage, 660-668, Antalya, Turkey, 30 September 04 October, 2003.
- URL -1, <http://www.cevreplastik.com.tr>.
- Wolf, P, R., Dewitt, B, A., 2000, *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd Edition*, McGraw-Hill, USA.
- Yakar, M., Yildiz, F., Yılmaz, H, M., Ulvi, A., Karasaka, L., Karabork, H., 2005, "Photogrammetric Silhouette Study and Sille Example, *CIPA 2005 XX International Symposium-Torino 2005*, Italy. <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/595.pdf.29-06-2009>

- Yakar, M., Yıldız, F., 2005, "Digital Photogrammetric Methods in Documentation of Cultural Heritages and Beyşehir Example", *CIPA 2005 XX International Symposium-Torino 2005, Italy*.
<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/590.pdf>.29-06-2009
- Yalçın, A., 2005, *Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi*, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, , s: 158, Trabzon.

APPLICATION OF FUZZY TOPSIS METHOD AND DOPGA ALGORITHM IN PURCHASING DECISION PROCESS: 3D TELEVISION EXAMPLE

Engin Ufuk ERGUL

*Amasya University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, 05100, Amasya,
Turkey*

engin.ergul@amasya.edu.tr

(Geliş/Received: 24.01.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 01.05.2018)

ABSTRACT: Nowadays, television is at the head of devices where people can have fun in their homes, and people spend most of their time on television. So, they want to purchase a pretty good television. At the head of these televisions are three-dimension televisions (3D TVs). Since purchasing a television is a long-term shopping, it is necessary to evaluate it with great care and to determine its best before purchasing it. Evaluation of the best 3D TV is a complex problem with no definite structure and it depends on the features of the 3D TVs. There are many performance indicators as dynamic contrast ratio, refresh rate, power consumption on mode, depth, weight, cost, response time *etc.* affecting the decision-making process about 3D TVs. Therefore, evaluation of 3D TVs is a complex decision-making process. Hence, this problem can be solved by multi-criteria decision-making (MCDM) methods. In this paper, eight popular 3D TVs considered to be purchased in technology markets are compared by using six specifications obtained from its catalog and the experts' opinion. In this study, in order to determine the best 3D TV, alternative 3D TVs were first sorted by using Fuzzy Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method, and then, the sensitivity analysis was performed. Secondly, to compare the 3D TV ranking obtained from Fuzzy TOPSIS method, 3D TVs were ordered by using Domination Power of an Individual Genetic Algorithm (DOPGA) method and necessary comparisons and evaluations were made and the best 3D TV was selected.

Key Words: *Decision making, Evolutionary algorithms, Fuzzy TOPSIS, MCDM, Sensitivity analysis, 3D TV*

Satın Alma Karar Sürecinde Bulanık Topsis Yöntemi ve Dopga Algoritmasının Uygulanması: 3D Televizyon Örneği

ÖZ: Günümüzde insanların evlerinde eğlenceli vakit geçirebilecekleri aygıtların başında televizyon gelmektedir ve vakitlerinin çoğunu televizyon karşısında geçirmektedirler. Bu yüzden oldukça iyi bir televizyon satın almak isterler. Bu televizyonların başında üç boyutlu televizyonlar (3D TV) gelmektedir. Televizyon satın alma, uzun vadeli bir alışveriş olduğu için satın almadan önce oldukça titiz bir çalışmayla değerlendirme yapmak ve en iyisini belirlemek gerekmektedir. En iyi 3D TV' nin değerlendirilmesi, kesin bir yapıya sahip olmayan karmaşık bir problemdir ve 3D TV' nin özelliklerine bağlıdır. 3D TV' nin karar verme sürecini etkileyen, dinamik karışıklık oranı, tazeleme oranı, güç tüketimi, derinlik, ağırlık, maliyet, cevap süresi gibi birçok performans göstergesi vardır. Bu yüzden, 3D TV' nin değerlendirilmesi karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu nedenle, bu problem çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile çözülebilir. Bu makalede, teknoloji marketlerinden satın alınması düşünülen sekiz popüler 3D TV, kataloglarından ve uzmanların görüşlerinden elde edilen altı özelliği kullanılarak karşılaştırılmıştır. En iyi 3D televizyonu belirlemek için yapılan çalışmada ilk olarak Bulanık İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği

(TOPSIS) metodu uygulanarak 3D TV' ler sıralanmış ve daha sonra duyarlılık analizi yapılmıştır. İkinci olarak, Fuzzy TOPSIS yönteminden elde edilen 3D TV sıralamasını karşılaştırmak için Bireyin Baskınlık Gücü Genetik Algoritma (DOPGA) yöntemi uygulanarak 3D TV' ler sıralanarak gerekli karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapılmış ve en iyi 3D TV seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karar verme, Evrimsel algoritmalar, Bulanık TOPSIS, MCDM, Duyarlılık analizi, 3D TV

INTRODUCTION

TV technologies are developed very fast in every day. Therefore, more specific TVs appear in technology markets. Every year millions of televisions are sold in the technology markets. According to Che (2009), "Due to the changes of the digital signal transmission mode, a display technique revolution has begun in TV market, among the LCD TV having the advantages of slight, electricity-saving, radiation-free and so on. LCD TV products are very popular nowadays". So, the LCD TVs are the best-selling TVs in technology markets.

When customers are buying a TV, generally they look its appearance, its smartness and whether it has 3D or not except its performance parameters. Therefore, TV sellers start not to share the real performance parameters and also they use various terms instead of its (high dynamic contrast ratio, ultra-dynamic contrast ratio *etc.*). So, customers must consider a lot of parameters when purchasing a TV. The parameters taken into consideration in TV purchasing are: dynamic contrast ratio, refresh rate, power consumption on mode, depth, weight, cost, response time, brightness, static contrast ratio, number of connections (HDMI, DVI *etc.*), smartness (internet connection), type (passive or active) and number of 3D glasses.

Because of TV sellers' not sharing the real TV parameters with the customers, people who consider buying a TV are indecisive during the purchase process. Because of various TVs and a lot of parameters, TV customers have to make a multi-criteria selection. So, TV purchasing process must be thought a MCDM problem and MCDM methods must be used to solve it.

Determining the optimal solution among alternatives is a very difficult situation for the decision makers (Grobbelaar and Visser, 2015). Conventional methods cannot achieve a certain solution in this selection operation. Nevertheless, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods can solve the problem easily. Fuzzy logic and fuzzy set theory are very effective methods to solve multi-criteria decision-making issues. Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Fuzzy TOPSIS, Analytic Network Process (ANP), Fuzzy ANP (FANP), Analytic Hierarchy Process (AHP), ELECTRE, Data Envelopment Analysis (DEA) and genetic algorithms (GA) are often used for MCDM (Yayla and Yildiz, 2013). A comprehensive literature review about MCDM methods can be found in (Yildiz and Yayla, 2015).

Shahanaghi and Yazdian (2009) applied the fuzzy TOPSIS method for the best supplier selection according to the determined criteria, in terms of purchasing of main components from alternative suppliers in the application performed in the automotive company and the best supplier was selected at the end of the calculations performed after the assessment of four alternative suppliers by three decision makers, according to the determined criteria. In the study of Wang *et al.* (2009), three suppliers were assessed and arranged by three decision makers according to four selection criteria in the study of supplier selection, which was performed according to hierarchical fuzzy TOPSIS. It was indicated that this method was more reasonable than other methods and could be applied for the calculation of the weights. Yayla *et al.* (2012) used fuzzy TOPSIS method to select the most suitable supplier in a textile firm in Turkey. According to results, ranking of three suppliers determined by in terms of closeness index values. Roshandel *et al.* (2013) used fuzzy TOPSIS to select the best supplier from four suppliers that supply a big healthcare products manufacturer in Iran. Vinodh *et al.* (2014) developed a model and technique based on TOPSIS and AHP to evaluate the performance in fuzzy environment. In this study, it was aimed to select the best plastic recycling between

various processes of plastic recycling and the combined approach which was determined the best one. Cheng *et al.* (2006) used genetic algorithms and TOPSIS for calibration of conceptual rainfall-runoff models in a new framework and they compared the results of two methods. Ic (2014) studied the application of a new approach, Design of Experiment and TOPSIS method (DoE-TOPSIS) together make company ranking as frequently encountered in the real-time financial environment. Bas (2013) proposed an integrated framework for the analysis of an electricity supply chain using an integrated SWOT-fuzzy TOPSIS methodology combined with AHP. Kim *et al.* (2013) proposed a new framework that prioritized the best sites for treated wastewater (TWW) in stream use by fuzzy TOPSIS. Rouyendegh and Saputro (2014) provided an overview of the fuzzy TOPSIS and Multi-Choice Goal Programming (MCGP) methods for MCDM problem under uncertain environments. Kannan *et al.* (2014) used this method to select the best green suppliers for an electronics company. Lee *et al.* (2014) used fuzzy TOPSIS to improve the general flood vulnerability approach. Taylan *et al.* (2014) combined fuzzy decision tree, fuzzy TOPSIS, and DEA for selecting Air Traffic Controllers (ATCs).

Yeh and Chuang (2011) used two MOEAs to find a mathematical planning model for green partner selection and they used the weighted sum approach to obtain much more Pareto-optimal solutions. Chan and Chung (2004) proposed a multi-criterion genetic algorithm for an orderly distribution in a demand-driven supply chain. Yan (2009) proposed an integrated approach adopting a genetic algorithm and AHP to accomplish green supplier optimization. Altıparmak *et al.* (2006) proposed a new solution procedure based on genetic algorithms to find a Pareto-optimal set for multi-objective supplier chain design problem. Chiang (2012) used a MOEA to search for the optimal design chain partner combination to minimize product development cost and time and maximize product reliability and employed it for a digital TV box. Bandyopadhyay and Bhattacharya (2013) used a NSGA-II based MOEA and applied it to a novel multi-objective problem for a two-echelon serial supply chain. Ozcan *et al.* (2017) used ANP and TOPSIS methods for evaluating alternative renewable energy investments in Turkey.

In this study, Fuzzy TOPSIS and DOPGA (Domination power of an individual genetic algorithm) which is one of the MOEA algorithms are used to evaluate the best 3D TV through the alternative 3D TVs. Afterwards, the results are compared and the best 3D TV is determined.

The rest of this paper is organized as follows. In Section 2, general information about fuzzy TOPSIS, MOEA and DOPGA are given. In Section 3, these methods are applied to the evaluation of the best 3D TV problem separately, and the results are given. Finally, Section 4 contains concluding remarks, assessments, and future directions.

MATERIALS AND METHODS

Fuzzy Topsis

Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is a method that ranks the preferences by using similarity to the optimum solution. This method is currently one of the most useful MCDM methods (Dymova *et al.*, 2013; Chiu *et al.*, 2015). TOPSIS aims to reach the closest truth (Chen and Tsai, 2007).

Kim *et al.* (2013) stated that "TOPSIS method is used to solve multiple-attribute decision making problems in which preference information is not articulated. In this method, the ideal alternative has the best values for all attributes, whereas the negative ideal is the alternative with all of the worst attribute values". In TOPSIS method, first, the positive and negative ideal solutions are defined and after that, the distance of the alternatives from the ideal solutions are found. TOPSIS method identifies a closeness coefficient index to the positive ideal solution (PIS) and remoteness to the negative ideal solution (NIS). TOPSIS selects the best alternative according to maximum closeness coefficient to the PIS (Kannan *et al.*, 2014).

Fuzzy TOPSIS method, which has demonstrated very successful application examples of real-world problems in which especially personal judgment are expressed with linguistic data, can be utilized in making group decisions in fuzzy environments. Classical TOPSIS method is given superiority because the fuzzy TOPSIS method ensures freedom for expressing experts' thoughts in a certain range, as well as being a mathematical method handling the judgments of TOPSIS method experts with quantitative data (Chen, 2000).

Chen (2000) extended TOPSIS to the fuzzy case. The linguistic expressions of the fuzzy theory are considered as natural presentations of preferences, the fuzzy importance weights of the criteria and the fuzzy rating of alternatives at criteria are inputs and located in a matrix form in the fuzzy TOPSIS approach. The TOPSIS algorithm is given below (Chen, 2000):

Step 1: Inputs are given in a decision matrix format:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & K & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & K & \tilde{x}_{2n} \\ M & M & O & M \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & K & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \Lambda, \tilde{w}_n] \quad (2)$$

Here, \tilde{x}_{ij} are fuzzy ratings of the alternatives, \tilde{w}_j are fuzzy importance weights of the criteria, m is the number of alternatives, n is the number of criteria. ($i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$)

Step 2: Compute the normalized fuzzy decision matrix \tilde{R} :

$$\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij} \right]_{m \times n} \quad (3)$$

For the benefit criteria, the normalized value of \tilde{r}_{ij} is computed as:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \quad (4)$$

where;

$$u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad (5)$$

Normalized value of \tilde{r}_{ij} for the cost criteria is computed as:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad (6)$$

Here;

$$l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (7)$$

Step 3: Compute the weighted normalized fuzzy decision matrix is \tilde{V} :

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad (8)$$

The weighted normalized fuzzy value \tilde{v}_{ij} is computed as:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (9)$$

Here \tilde{w}_j is the fuzzy weight of j th criterion.

Step 4: Define the fuzzy PIS (FPIS) and the fuzzy NIS (FNIS):

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (10)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (11)$$

In Eqs(10)-(11), $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ and $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

Step 5: Compute the distances of each alternative to the FPIS and FNIS by using:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^+) \quad (12)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^-) \quad (13)$$

In Eqs(12)-(13), $d(\tilde{v}_a, \tilde{v}_b)$ shows the distance between two fuzzy numbers.

Step 6: Compute the relative closeness to the ideal solution. The relative closeness of the alternative A_i is computed:

$$C_i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+) \quad (14)$$

Here $0 \leq C_i \leq 1$, an alternative i is closer to the FPIS and far from the FNIS as C_i approaches to 1.

Step 7: Rank the alternatives according to C_i . Then, an alternative which has maximum C_i is selected.

Multi-Objective Evolutionary Algorithm (MOEA)

Evolutionary Algorithm (EA) is a global search method that mimics the process of natural evolution. EAs have been successful to solve many multi-objective real-world optimization problems that have several conflicting objectives. Solving a multi-objective optimization problem (MOP), it can be found many Pareto-optimal solutions. The set of all the Pareto-optimal solutions is called the Pareto set (PS) and its image in the objective space is the Pareto front (PF). MOEAs aim to find reasonable numbers of solutions to approximate the PF. Finding PF is not enough for solving a MOP all alone, after that, a decision maker must choose a single solution within PF. There are a lot of MOEA methods proposed in the literature. Interested readers may refer to Deb (2001), Ghosh and Dehuri (2004) and Coello *et al.* (2007) for detailed information regarding the MOEA methods.

In this paper, a newly proposed fitness assignment scheme is used for ranking some 3D TV brands using their six specifications (refresh rate, dynamic contrast ratio, power consumption on mode, weight, depth, and cost). DOPGA ranks among all the solutions (Ergul and Eminoglu, 2014). Furthermore, DOPGA does not use fitness sharing, niching and crowding distances etc. to rank the solutions.

In literature, there are a lot of fitness assignment scheme for ranking the Pareto-optimal solutions (Fonseca and Fleming, 1993; Srinivas and Deb, 1994; Zitzler and Thiele, 1999; Zitzler *et al.*, 2001; Deb *et al.*, 2002). They ranked solutions using their schemes to find the best solutions to the multi-objective problems. These methods did not use only fitness assignment to solve MOPs but also used GA operators (crossover and mutation), selection mechanisms, elitism strategies, and archive management. Detailed surveys of MOEAs can be accessed in Coello(2006) and Zhou *et al.*(2011).

The fitness values of the solutions are calculated by using a two-phased algorithm in DOPGA. In the first phase, the population is separated into several subpopulations and the rank values of the solutions in the subpopulations are determined by MOGA (Multi-objective Genetic Algorithm) (Fonseca and Fleming, 1993). In MOGA, the rank of a solution is found by the number of solutions by which it is dominated. All Pareto solutions are assigned rank 1, while dominated ones are penalized according to the population density of the corresponding region of the trade-off surface. In the second phase, the solutions in each subpopulation are re-ranked according to the domination power. The fitness assignment approach of DOPGA only uses the neighborhood of the solutions. Therefore, a decision maker can easily select the best solution. Because, DOPGA can order the solutions from the best one to the worst one in a unique order.

In this paper, DOPGA is only used to rank the solutions, so we use only fitness assignment (or ranking) scheme. After the DOPGA, solutions have a unique rank and DOPGA can sort them the best one to the worst one. In the MOEA literature, the use of priori methods in decision making is very popular. In these methods, MOPs are transformed to SOPs (Single Objective Optimization Problems) using aggregation methods like weighted sum approaches.

Domination power of an individual genetic algorithm (DOPGA)

DOPGA is a recently proposed fitness assignment scheme for MOEAs (Ergul and Eminoglu, 2014). DOPGA assigns a fitness value to a solution in a two-phased algorithm. In the first phase, the main population is separated into several subpopulations by using MOGA (Fonseca and Fleming, 1993). In the next phase, solutions are re-ranked according to the domination power algorithm. In this paper, we use only the fitness assignment (or ranking) scheme of DOPGA. The whole algorithm of DOPGA can be found in Ergul and Eminoglu(2014). The ranking or fitness assignment algorithm of DOPGA is given as:

Step 1: Assign *dummy fitness* to each solution inversely proportional to their sub-population number (obtained from MOGA algorithm):

$$df(sol_i) = \frac{1}{|sub - population(j)|} \quad (15)$$

where $sol_i \in sub - population(j), i = \{1, \Lambda, p\}$, and $|\cdot|$ means the number of elements in the set.

Step 2: Calculate *relative domination power* of a solution. To do so, find out how many solutions are dominated by this particular solution and sum all the dummy fitnesses of dominated solutions. This will determine:

$$rdp(sol_i) = \sum_{k=1}^r df(sol_k) \quad (16)$$

where sol_k is dominated by sol_i and $k \in \{1, \Lambda, r\}, k \neq i$.

Step 3: Repeat Step 2 for the rest of the solutions within the same subpopulation. Sum the rdp of all solutions within the same sub-population and obtain *total domination power* for that sub-population as formulated below:

$$tdp(sub - population(j)) = \sum_{i=1}^p (rdp(sol_i)) \quad (17)$$

where i in $\{1, \Lambda, p\}$ represents all solutions inside the $sub - population(j)$.

Step 4: Calculate the *real fitness* or rank for the i -th solution with the following formula (where $1e-6$ is added to the denominator to avoid divide by zero):

$$rfi(i) = sub - population(j) + \frac{rdp(i)}{(tdp(sub - population(j)) + 1e - 6)} \quad (18)$$

Step 5: Repeat Step 2 to Step 4 until all solutions are ranked.

For the sake of clarity, there is a population of solutions ranked by DOPGA in Fig.1. First, solutions are ranked by using MOGA. So, the solutions have identical ranks. In Fig. 1a; solution A, B, C, and D are in the first Pareto-optimal front and their fitness values are one (1). Solution E and F are on the second front and their fitness values are two (2). Solution G has fitness value of three (3) and Solution H has fitness value of eight (8).

Second, each solution in all subpopulations is re-ranked by using the domination power concept. The final (or real) rank values of the solutions are found by using the above algorithm. An example population is depicted in Fig. 1b.

For a better understanding, the rank of solution B is computed step by step below.

Step 1: Solution B is on the first Pareto-optimal front (the first subpopulation)

$$df(B) = \frac{1}{sub - population(B)} = \frac{1}{1} = 1$$

Step 2: Solution B dominates three solutions (F, G, and H), therefore the relative domination power of B is calculated as:

$$\begin{aligned} rdp(B) &= df(F) + df(G) + df(H) = 0.500 + 0.3333 + 0.1250 \\ rdp(B) &= 0.9583 \end{aligned}$$

Step 3: Total domination power of the first subpopulation is found by summing the relative domination powers of all solutions on this front.

$$\begin{aligned} tdp(sub - pop(1st)) &= \sum rdp(A, B, C, D) \\ &= 0.4583 + 0.9583 + 0.625 + 0.125 \\ &= 2.1666 \end{aligned}$$

Step 4: The real fitness or rank of solution B is calculated as:

$$rfi(B) = sub - pop(B) + \frac{rdp(B)}{tdp(sub - pop(1st)) + 1e - 6}$$

$$rfi(B) = 1 + \frac{0.9583}{2.1666 + 1e - 6} = 1.4423$$

Solutions in the first Pareto-optimal front have different fitness values in Fig. 1b.

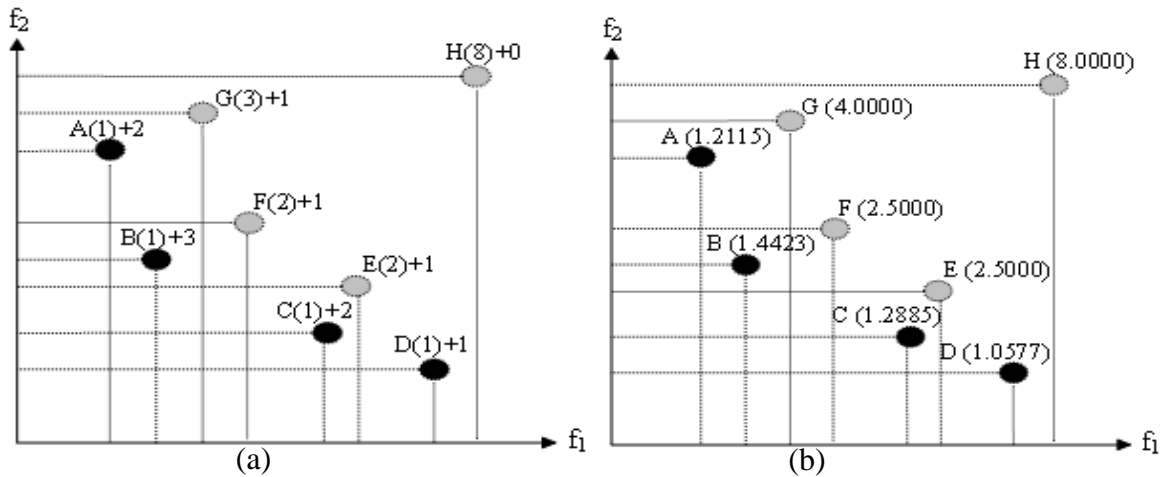


Figure 1. (a) Raw fitness values and, (b) ranks or real fitness (*rfi*) values

THE CASE STUDY

In this paper, Fuzzy TOPSIS and DOPGA are implemented for evaluating the best 3D TV through the alternative 3D TVs. Eight 55 inch Full HD 3D LED TVs are used in the evaluation/decision process. TV catalogs have been utilized to determine the criteria for evaluating the best 3D TV. It is benefited from three experts' opinion to determine the TV parameters used in this paper. The TV parameters used in this study are dynamic contrast ratio, refresh rate, weight, power consumption, depth, and cost. Hierarchy of the 3D TV evaluation problem is depicted in Fig. 2.

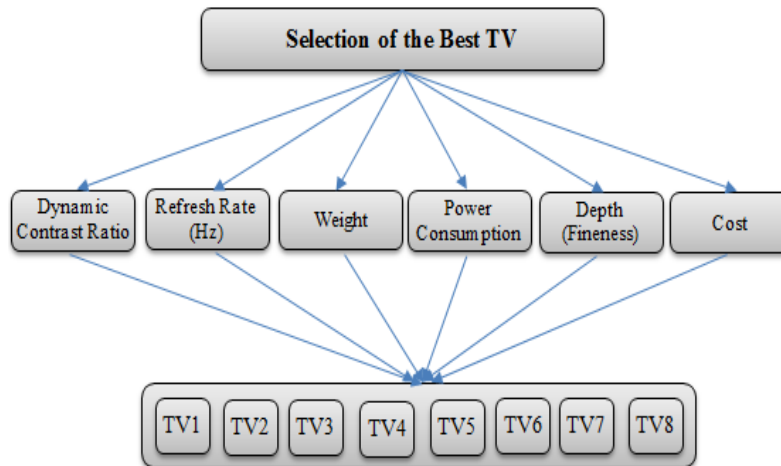


Figure 2. Hierarchy of the 3D TV selection problem

Flowchart of the methods applied to the 3D TV evaluation problem is shown in Fig. 3.

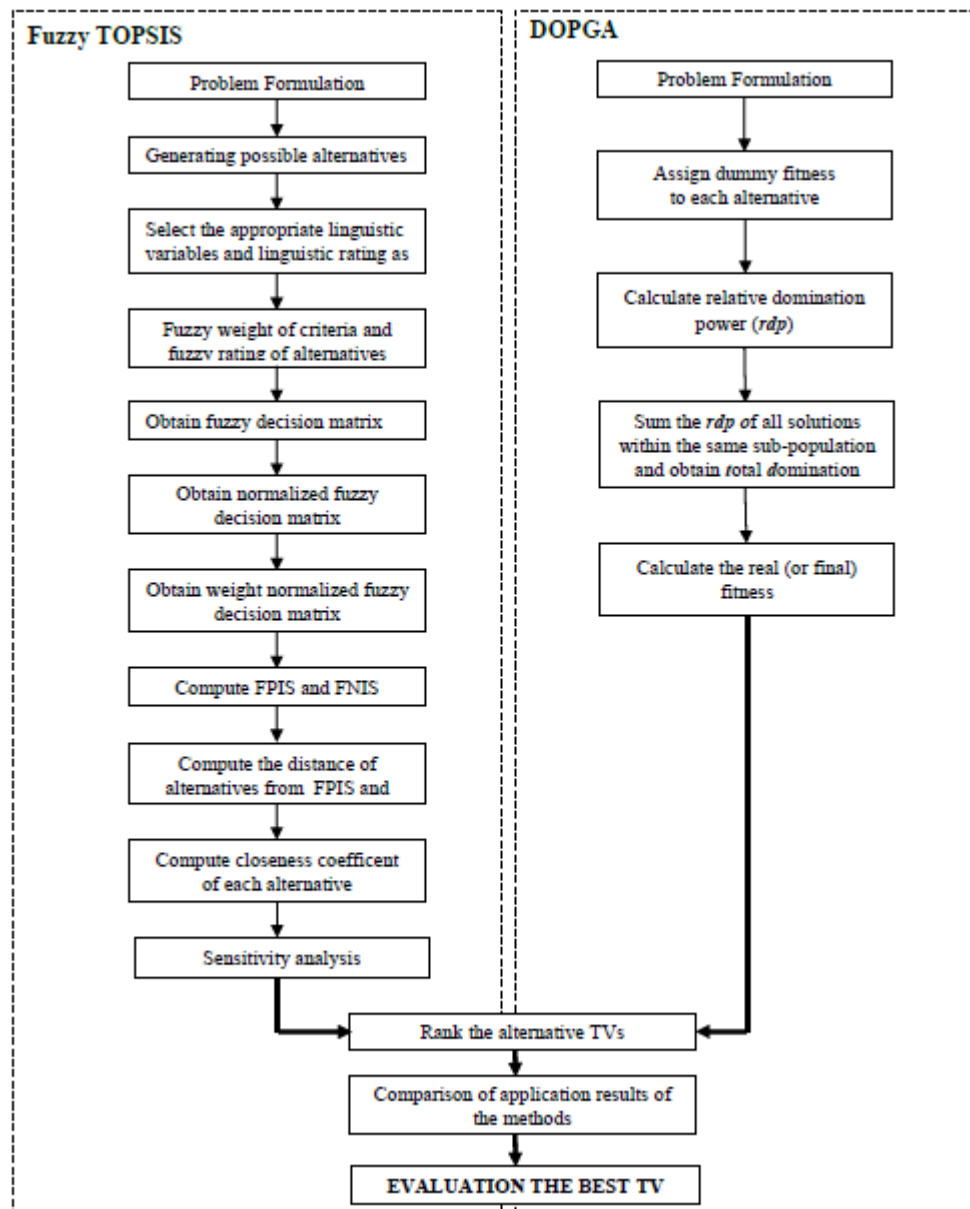


Figure 3. Flowchart of the methods applied to the TV selection problem.

Application of Fuzzy TOPSIS Method to 3D TV Evaluation Problem

The catalog values of selected parameters of eight alternative 3D TVs are given in Table 1. Since the criteria of weight, power consumption on mode, depth, and cost (\$) are generally known; only the dynamic contrast ratio and refresh rate criteria are briefly explained below.

Table 1. The catalogue values of alternative 3D TVs

CRITERIA	ALTERNATIVE 3D TVs							
	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
Dynamic Contrast Ratio	9.000.000:	1.000.000:	1.000.000:	2.000.000:	5.000.000:	500.000:	1.000.000:	7.000.000:
Refresh Rate (Hz)	240	240	240	240	400	200	600	400
Weight (kg)	21.3	16.8	18.4	17	36,8	19.5	20,4	22,1
Power Consumption on Mode (W)	160	70	59.25	82.3	120	90	112	185
Depth (Fineness-mm)	33	35	46	27	60	32,5	36	43
Cost (\$)	1.259,99	2.497,99	1.598,00	1.695,00	6.351,85	3.052,00	1.601,00	1.639,00

Dynamic contrast ratio is a rating used to determine the image quality of a TV. The static contrast ratio denotes the luminance of the brightest possible white colors on the screen versus the deepness and darkness of black shades. The refresh rate is the number of times in a second that display hardware updates its buffer.

After determining the criteria and hierarchy of the problem, people who are considering the purchase of 3D TV have used the linguistic variables in Table 2 to determine importance weights of the 3D TV selection criteria (Table 3).

Table 2. Linguistic variables for the importance weight of criteria

Linguistic variable	Triangular Fuzzy Numbers (TFNs)
Very low (VL)	(0,0,0.1)
Low (L)	(0,0.1,0.3)
Medium low (ML)	(0.1,0.3,0.5)
Medium (M)	(0.3,0.5,0.7)
Medium high (MH)	(0.5,0.7,0.9)
High (H)	(0.7,0.9,1)
Very high (VH)	(0.9,1,1)

Table 3. Importance weights of criteria

Criteria	Decision	Fuzzy
Dynamic Contrast Ratio	C_1	VH (0.9,1,1)
Refresh Rate (Hz)	C_2	H (0.7,0.9,1)
Weight (Kg)	C_3	MH (0.5,0.7,0.9)
Power Consumption on Mode (W)		H (0.7,0.9,1)
Depth (Fineness-mm)	C_5	H (0.7,0.9,1)
Cost (\$)	C_6	VH (0.9,1,1)

Then, the linguistic variables in Table 4 are determined by using a transformation calculation of the catalog values in Table 1. Afterward, the evaluations in Table 5 are done by using the linguistic variables in Table 4.

Table 4. Linguistic variables used in the evaluation of alternative 3D TVs

Linguistic	Triangular Fuzzy Numbers
Very poor (VP)	(0,0,1)
Poor (P)	(0,1,3)
Medium poor	(1,3,5)
Fair (F)	(3,5,7)
Medium good	(5,7,9)
Good (G)	(7,9,10)
Very good (VG)	(9,10,10)

Table 5. Evaluation Results of Alternative 3D TVs According to Six Criteria

Criteria	Alternatives							
	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
C ₁	VG	P	P	MP	MG	VP	P	G
C ₂	MP	MP	MP	MP	MG	P	VG	MG
C ₃	MG	VG	G	G	VP	G	MG	MG
C ₄	P	G	VG	MG	F	MG	F	VP
C ₅	MG	MG	MP	VG	VP	MG	MG	F
C ₆	G	MG	G	G	VP	F	G	G

Fuzzy decision matrix is formed by converting the linguistic evaluations to triangular fuzzy numbers (Table 6).

Table 6. Fuzzy decision matrix and fuzzy weights of eight alternatives

Criteria	Alternatives							
	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
C ₁	(9,10,10)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)	(0,0,1)	(0,1,3)	(7,9,10)
C ₂	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(0,1,3)	(9,10,10)	(5,7,9)
C ₃	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,0,1)	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
C ₄	(0,1,3)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,0,1)
C ₅	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(9,10,10)	(0,0,1)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
C ₆	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,0,1)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)

Fuzzy decision matrix is normalized as in Table 7, then weighted normalized fuzzy decision matrix is obtained as given in Table 8.

Table 7. Normalized fuzzy decision matrix

Criteria	Alternatives							
	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
C ₁	(0.9,1,1)	(0,0.1,0.3)	(0,0.1,0.3)	(0.07,0.2,0.4)	(0.5,0.7,0.9)	(0,0,0.1)	(0,0.1,0.3)	(0.7,0.9,1)
C ₂	(0.1,0.3,0.5)	(0.1,0.3,0.5)	(0.1,0.3,0.5)	(0.1,0.3,0.5)	(0.5,0.7,0.9)	(0,0.1,0.3)	(0.9,1,1)	(0.5,0.7,0.9)
C ₃	(0.5,0.7,0.9)	(0.9,1,1)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0,0,0.1)	(0.7,0.9,1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.7,0.9)
C ₄	(0,0.1,0.3)	(0.7,0.9,1)	(0.9,1,1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)	(0,0,0.1)
C ₅	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.7,0.9)	(0.1,0.3,0.5)	(0.9,1,1)	(0,0,0.1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)
C ₆	(0.7,0.9,1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0,0,0.1)	(0.3,0.5,0.7)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)

Table 8. Weighted normalized fuzzy decision matrix

Criteria	Alternatives							
	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
C₁	(0.81,1,1)	(0,0.1,0.3)	(0,0.1,0.3)	(0.06,0.23,0.43)	(0.45,0.7,0.9)	(0,0,0.1)	(0,0.1,0.3)	(0.63,0.9,1)
C₂	(0.07,0.27,0.5)	(0.07,0.27,0.5)	(0.07,0.27,0.5)	(0.07,0.27,0.5)	(0.35,0.63,0.9)	(0,0.09,0.3)	(0.63,0.9,1)	(0.35,0.63,0.9)
C₃	(0.25,0.49,0.81)	(0.45,0.7,0.9)	(0.35,0.63,0.9)	(0.35,0.63,0.9)	(0,0,0.09)	(0.35,0.63,0.9)	(0.25,0.49,0.81)	(0.25,0.49,0.81)
C₄	(0,0.09,0.3)	(0.49,0.81,1)	(0.63,0.9,1)	(0.35,0.63,0.9)	(0.21,0.45,0.7)	(0.35,0.63,0.9)	(0.21,0.45,0.7)	(0,0,0.1)
C₅	(0.35,0.63,0.9)	(0.35,0.63,0.9)	(0.07,0.27,0.5)	(0.63,0.9,1)	(0,0,0.1)	(0.35,0.63,0.9)	(0.35,0.63,0.9)	(0.21,0.45,0.7)
C₆	(0.7,0.9,1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0,0,0.1)	(0.3,0.5,0.7)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)

Distance from FPIS (d_i^+) values of each alternative 3D TVs are calculated by Equation 10 and their distance from FNIS (d_i^-) values are computed by Equation 11. Then, closeness index is computed for each alternative by using Equation 14 considering d_i^+ and d_i^- values. The results are given in Table 9.

Table 9. d_i^+ , d_i^- and C_i values

	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8
d_i^+	2.922	3.099	3.236	2.828	4.291	3.693	2.871	2.963
d_i^-	3.541	3.389	3.225	3.664	2.036	2.756	3.624	3.500
C_i	0.548	0.522	0.499	0.564	0.322	0.427	0.558	0.542

Due to closeness coefficients, the order of the 3DTV alternatives is as TV4> TV7> TV1> TV8> TV2> TV3> TV6> TV5 based on Table 9. According to this result, it will be the best to choose TV4 which has the highest closeness coefficient value among alternative 3D TVs.

A sensitivity analysis is applied to show how well the alternatives perform with each objective and how sensitive the alternatives are to changes in the importance of the objectives. After the order of the alternatives determined, it must be evaluated that how sensitive the order of alternatives and the final decision against the changes in the judgments in order to check the results of the established model. By changing the weights of the selection criteria in the sensitivity analysis, the variation of the closeness coefficients and the order of the alternatives under the total of 9 different cases shown in Table 10 are examined and the obtained results are shown in Fig. 4 and Fig. 5.

Table 10. The Case combinations with different criteria weights

Cases	Combinations
Case 1	Current
Case 2	All Low
Case 3	All Medium
Case 4	Dynamic Contrast Ratio High, The Rest Low
Case 5	Refresh Rate High, The Rest Low
Case 6	Weight High, The Rest Low
Case 7	Power Consumption on Mode High, The Rest Low
Case 8	Depth High, The Rest Low
Case 9	Cost High, The Rest Low

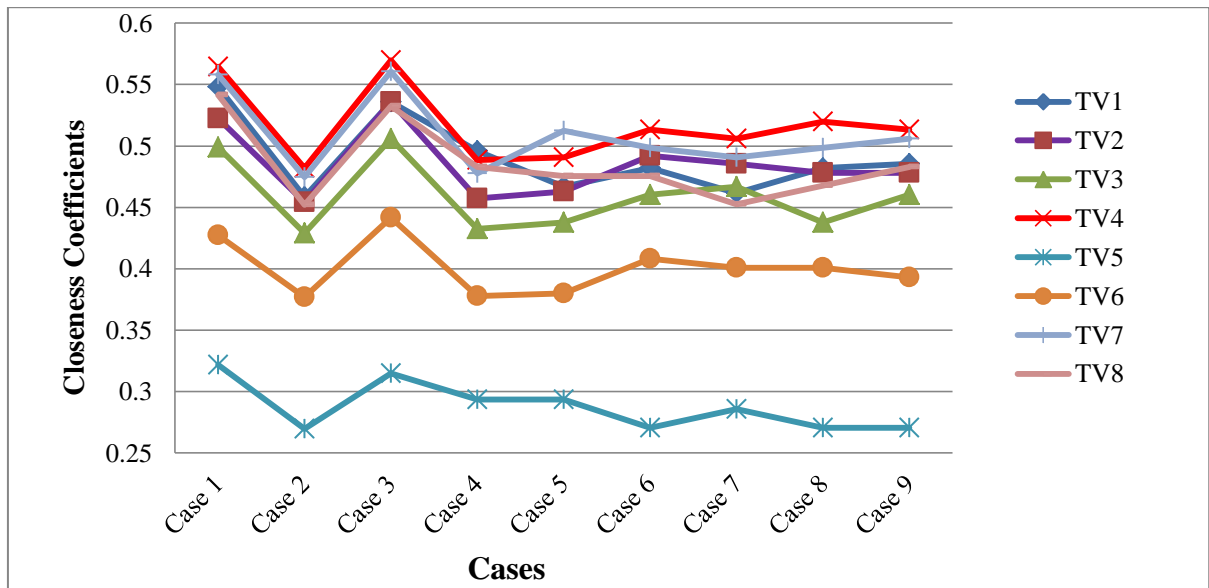


Figure 4. Closeness coefficients changes based on sensitivity analysis

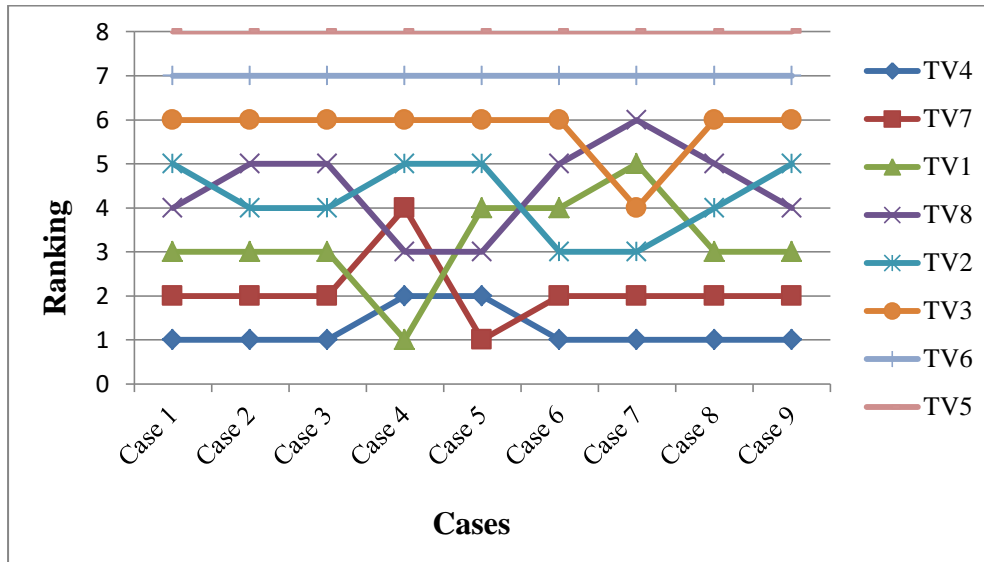


Figure 5. The ranking changes of the alternative 3DTVs based on the sensitivity analysis

When Fig. 4 and Fig.5 are examined, it is seen that TV4 has the highest closeness coefficient in all cases except Case 4 and Case 5, and TV5 has the lowest closeness coefficient in all cases. Figure 5 shows the order of the alternatives, it is seen that in the Case 4 and Case 5, the dynamic contrast ratio and refresh rate (Hz) criteria have a negative effect on the TV4 and the dynamic contrast ratio criteria on TV7 in a similar way. Also, it is seen that dynamic contrast ratio and depth criteria have a positive effect on the TV1.

Application of DOPGA Method to 3D TV Evaluation Problem

DOPGA is used as MOEA method to rank the alternative 3D TVs. For the best graphical visualizations, criteria are used in DOPGA two by two. Afterward, the real fitness/rank values of alternative 3D TVs are found by ranking or fitness assignment algorithm of DOPGA. The visualizations are shown in Fig. 6, Fig. 7 and Fig. 8. Then, DOPGA is worked by using the real fitness/rank values founded by two by two applications. The results of DOPGA is depicted in Fig. 9 by using the obtained real fitness values of all solutions. The real fitness values or ranks calculated by using Eq.18 are given in Table 11.

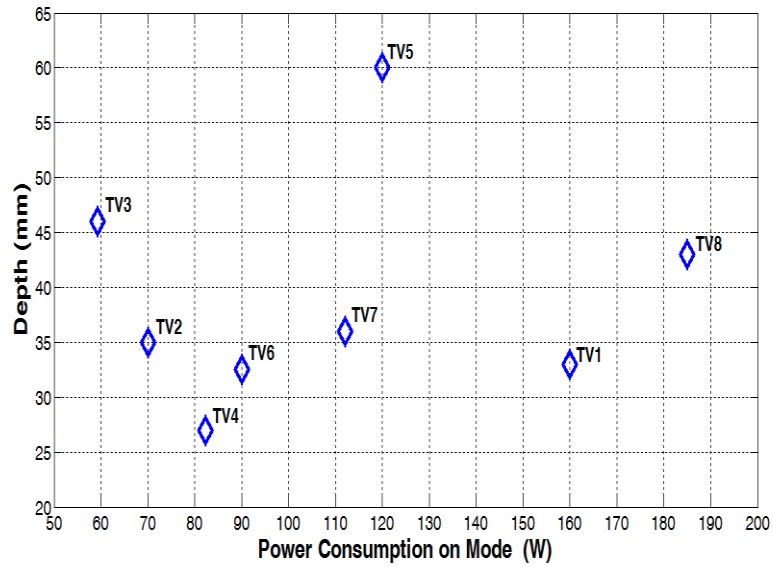


Figure 6. Criteria values of depth and power consumption on the mode of eight alternative 3D TVs

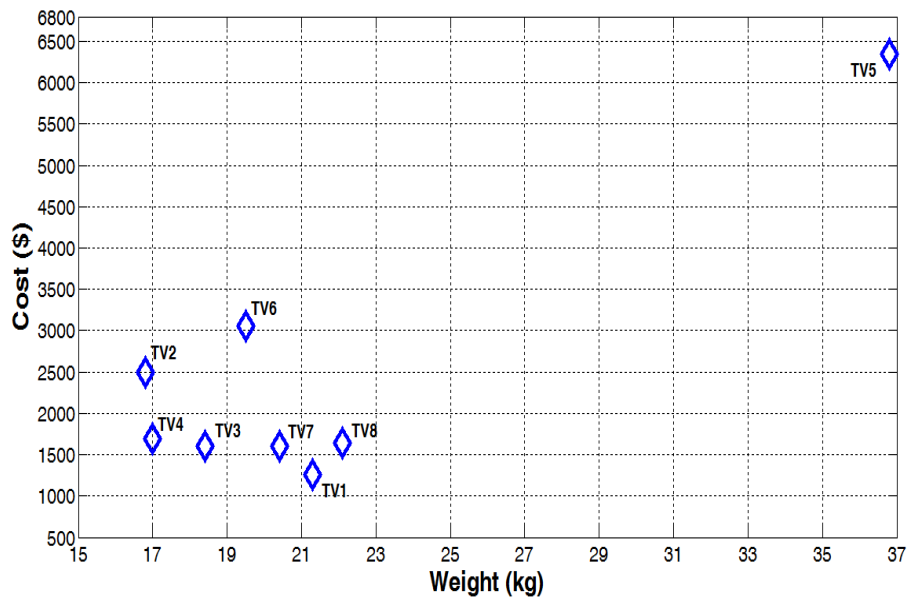


Figure 7. Criteria values of cost and weight of eight alternative 3D TVs

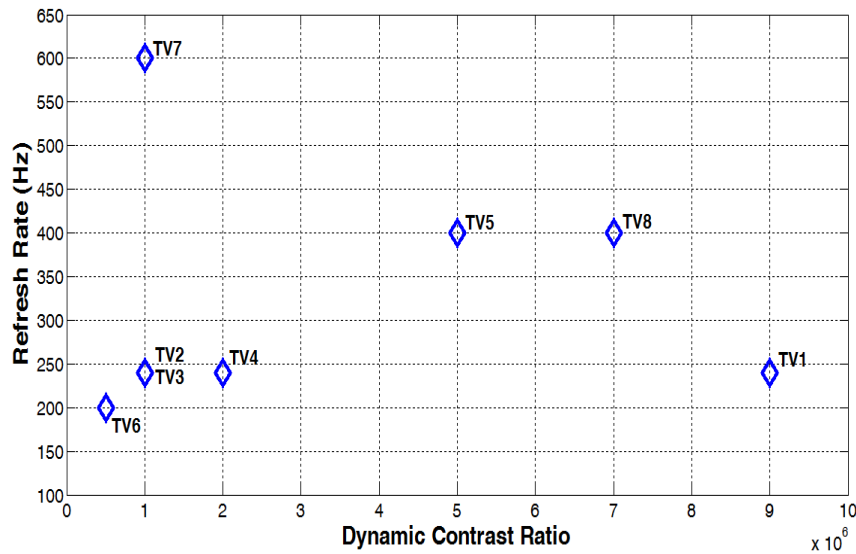


Figure 8. Criteria values of refresh rate and dynamic contrast ratio of eight alternative 3D TVs

The result obtained from DOPGA are given in Table 11. Solution 1,2,3,4 and 7 are Pareto-optimal solutions and DOPGA separated them perfectly. And the decision maker no longer confuses to separate them. DOPGA sorts the solutions from the most desired one to the least desired one.

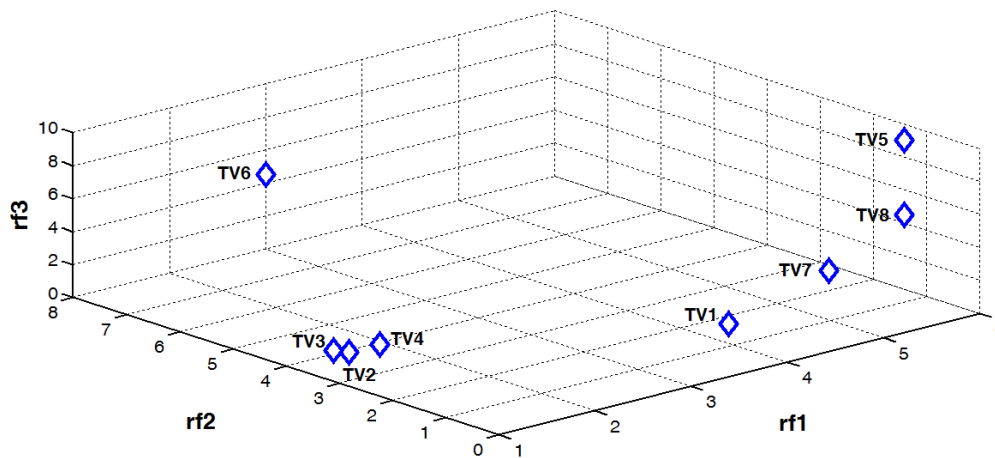


Figure 9. Real fitness values/ranks found by DOPGA

Table 11. Results obtained from DOPGA

Alternative 3DTVs	Real fitness (rfi) values	Rank
TV1	1.2084	3
TV2	1.2222	4
TV3	1.3175	5
TV4	1.1270	1
TV5	5.0000	8
TV6	3.1667	7
TV7	1.1667	2
TV8	3.0000	6

According to the real fitness values, alternatives are ranked as $TV4 > TV7 > TV1 > TV2 > TV3 > TV8 > TV6 > TV5$ in descending order shown in Table 11. According to this result, it will be the best to choose TV4 which has the lowest real fitness value among alternative 3D TVs.

Table 12 is obtained via the results derived by implementing every two methods individually at the 3D TV selection problem.

Table 12. The results of fuzzy TOPSIS and DOPGA

Alternative 3D TVs	Ranking	
	Fuzzy TOPSIS	DOPGA
<i>TV1</i>	3	3
<i>TV2</i>	5	4
<i>TV3</i>	6	5
<i>TV4</i>	1	1
<i>TV5</i>	8	8
<i>TV6</i>	7	7
<i>TV7</i>	2	2
<i>TV8</i>	4	6

Table 12 shows the ranks of TVs obtained by the closeness coefficients of fuzzy TOPSIS and the real fitness values of DOPGA. According to these results, TV4 is the first order, TV7 is the second order and TV1 is the third order in both methods. Besides, the last two 3D TVs are the same with both methods. Therefore, it is detected that both methods have a similar ranking. According to these results, someone who purchases a 3D TV should select TV4.

CONCLUSION

Innovative products are developed rapidly. One of them is TV. With the rapid advancement of technology and the continuous increase of customers' needs, a huge increase in the variety of TVs. Thus, TV purchasing becomes a MCDM problem and TV customers confuse in selecting the correct TV among various TVs that have a lot of features. Using MCDM methods as in solving other selection problems will contribute to solving the TV selection problem.

Fuzzy TOPSIS is a MCDM method used in the fuzzy environment and it assigns different importance weight to the decision criteria. Therefore, it makes easy to select a more accurate and more reliable choice among the alternatives for decision makers. In addition, because of fuzzy TOPSIS method gets decision makers thoughts for the preference articulation; it can be avoided possible conflicts among decision makers.

EAs are very popular and useful search tools for optimization. Unlike the classical optimization methods, EAs use a population of solutions to find the optimum of a problem. EAs do not need derivative information, and they are very easy to implement.

In this paper, newly proposed DOPGA method is applied to 3D TV selection problem. DOPGA method can assign a unique rank to all solutions. DOPGA can sort the solutions (TV alternatives) from the best one to the worst one. Due to these reasons, fuzzy TOPSIS and DOPGA are used to solve 3D TV selection problem in this study.

According to the results, TV4 is selected the best 3D TV in fuzzy TOPSIS and DOPGA methods. In both methods, the order of alternative 3D TVs is nearly the same. It can be seen that fuzzy TOPSIS and DOPGA can be used together to solve 3D TV selection problem.

This complex problem is solved by using fuzzy TOPSIS and DOPGA for a customer who purchases a 3D TV. On this count, the people who will purchase 3D TV will no longer be confused. Purchasing problems like this can easily be solved in this way.

This study is the first study for solving 3D TV selection problems in the literature. In a future work, it is planned to use fuzzy ANP and generalized Choquet to solve this problem and to compare the results of this study. Therefore, it can be performed a more precise selection. Also, the TV selection model, the methods and the results used in this study will guide TV customers and researchers.

REFERENCES

- Altıparmak, F., Gen, M., Lin L., Paksoy, T.A., 2006, "Genetic Algorithm Approach for Multi-Objective Optimization of Supply Chain Networks", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 51(1), pp. 197–216.
- Bandyopadhyay, S., Bhattacharya, R., 2013, "Applying Modified NSGA-II for Bi-Objective Supply Chain Problem", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 24(1), pp. 707-716.
- Bas, E., 2013, "The Integrated Framework for Analysis of Electricity Supply Chain Using an Integrated SWOT-Fuzzy TOPSIS Methodology Combined with AHP: The Case of Turkey", *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 44, pp. 897–907.
- Chan, F.T.S., Chung, S.H., 2004, "A Multi-Criterion Genetic Algorithm for Order Distribution in a Demand Driven Supply Chain", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17(4), pp. 339-351.
- Che, Z.H., 2009, "Pricing Strategy and Reserved Capacity Plan Based on Product Life Cycle and Production Function on LCD TV Manufacturer", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 2048–2061.
- Chen, C.F., Tsai, D., 2007, "How Destination Image and Evaluative Factors Affect Behavioral Intentions?", *Tourism Management*, Vol. 28, pp. 1115-1122.
- Chen, C.T., 2000, "Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 114, pp. 1-9.
- Cheng, C.T., Zhao, M.Y., Chau, K.W., Wu, X.Y., 2006, "Using Genetic Algorithm and TOPSIS for Xinanjiang Model Calibration with a Single Procedure", *Journal of Hydrology*, Vol. 316, pp. 129–140.
- Chiang, Tzu-An., 2012, "Multi-objective Decision-Making Methodology to Create an Optimal Design Chain Partner Combination", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 63, pp. 875–889.
- Chiu, M. C., Kuo, M. Y., Kuo, T. C., 2015, "A Systematic Methodology to Develop Business Model of A Product Service System", *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, Vol. 22(3).
- Coello, C.A.C., 2006, "Evolutionary Multi-Objective Optimization: A Historical View of the Field", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, Vol. 1(1), pp. 28-36.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., Van Veldhuizen, D. A., 2007, "Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems", Vol. 5, New York: Springer.
- Dymova, L., Sevastjanov, P., Tikhonenko, A., 2013, "An Approach to Generalization of Fuzzy TOPSIS Method", *Information Sciences*, Vol. 238, pp. 149–162.
- Deb, K., 2001, *Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, Chichester, U.K, Wiley.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002, "A Fast and Elitist Multi-Objective Genetic Algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 6(2), pp. 182-197.

- Ergul, E.U., Eminoglu, I., 2014, "DOPGA: A New Fitness Assignment Scheme for Multi-Objective Evolutionary Algorithms", *International Journal of Systems Science*, Vol. 45(3), pp. 407-426.
- Fonseca, C.M., Fleming, P.J., 1993, "Genetic Algorithms for Multi-Objective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization", *In Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 416-423.
- Ghosh, A. & Dehuri S. (2004). Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization: A Survey *International Journal of Computing & Information Sciences*, Vol. 2 (1), pp. 38-57.
- Grobbelaar, S., Visser, J. K., 2015, "Determining the Cost of Predictive Component Replacement in order to Assist with Maintenance Decision-Making", *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 26(1), pp. 150-162.
- Ic, Y.T., 2014, "A TOPSIS based Design of Experiment Approach to Assess Company Ranking", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 227, pp. 630-647.
- Kannan, D., Jabbour, A.B.L.S, Jabbour, C.J.C., 2014, "Selecting Green Suppliers based on GSCM Practices: Using Fuzzy TOPSIS Applied to a Brazilian Electronics Company", *European Journal of Operational Research*, Vol. 233, pp. 432-447.
- Kim, Y., Chung, E.S., Jun, S.M., Kim, S.U., 2013, "Prioritizing the Best Sites for Treated Wastewater Instream use in an Urban Watershed Using Fuzzy TOPSIS", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 73, pp. 23- 32.
- Lee, G., Jun, K.S., Chung, E.S., 2014, "Robust Spatial Flood Vulnerability Assessment for Han River Using Fuzzy TOPSIS with A-Cut Level Set", *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, pp. 644-654.
- Ozcan, E. C., Unlusoy, S., Eren, T., 2017, "ANP ve TOPSIS Yontemleriyle Turkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatirim Alternatiflerinin Degerlendirilmesi", *Selcuk University Journal of Engineering, Science And Technology*, Vol. 5(2), pp. 204-219.
- Shahanaghi, K. S., Yazdian, S.A., 2009, "Vendor Selection Using a New Fuzzy Group TOPSIS Approach", *Journal of Uncertain Systems*, Vol. 3(3), pp. 221-231.
- Roshandel, J., Miri-Nargesi, S.S., Hatami-Shirkouhi, L., 2013, "Evaluating and Selecting the Supplier in Detergent Production Industry Using Hierarchical Fuzzy TOPSIS", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, pp. 10170-10181.
- Rouyendegh, B.D., Saputro, T.E., 2014, "Supplier Selection using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study" *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 116, pp 3957-3970.
- Srinivas, N., Deb, K., 1994, "Multi-objective Function Optimization Using Nondominated Sorting Genetic Algorithm", *Evolutionary Computation*, Vol. 2(3), pp. 221-248.
- Taylan, O., Alidrisi, H., Kabli, M., 2014, "A Multi-Criteria Decision-Making Approach that Combines Fuzzy Topsis and DEA Methodologies", *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 25(3), pp.39-56.
- Vinodh, S., Prasanna, M., Hari Prakash, N., 2014, "Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS for Selecting the Best Plastic Recycling Method: A Case Study", *Applied Mathematical Modelling*, In press.
- Wang, J.V., Cheng, C.H., Kun-Cheng, H., 2009, "Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection", *Applied Soft Computing*, Vol. 9, pp. 377-386.
- Yan, G., 2009, "Research on Green Suppliers' Evaluation based on AHP & Genetic Algorithm", *In: International Conference on SPS, IEEE*, pp. 615-619, 15-17 May 2009.
- Yayla, A.Y., Yildiz, A., Özbek, A., 2012, "Fuzzy TOPSIS Method in Supplier Selection and an Application in Garment Industry", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 20, 4(93), pp 20-23.
- Yayla, A.Y., Yildiz, A., 2013, "Fuzzy ANP based MCDM Methodology for a Family Automobile Purchasing Decision" *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 24(2), pp. 167-180.
- Yıldız, A., Yayla, A.Y., 2015, "Multi-Criteria Decision-Making Methods For Supplier Selection: A Literature Review", *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 26(2), pp. 158-177.

- Yeh, W.-C., Chuang, M.C., 2011, "Using Multi-Objective Genetic Algorithm for Partner Selection in Green Supply Chain Problems", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(4), pp. 4244-4253.
- Zhou, A., Qu, B.Y., Li, H., Zhao, S.Z., Suganthan, P.N., Zhang, Q., 2011, "Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art", *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 1(1), pp. 32-49.
- Zitzler, E., Thiele, L., 1999, "Multi-objective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach. *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, Vol. 3(4), pp. 257-271.
- Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L., 2001, "SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm", TIK-Report 103, *Swiss Federal Institute of Technology*, Zurich.

SYNTHESIS of Ag-DOPED ZnO NANOFIBERS USING ELECTROSPINNING METHOD and THEIR PHOTOCATALYTIC ACTIVITIES

^{1,2}Ozlem ALTINTAS YILDIRIM

¹Selçuk University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Konya, Turkey

²Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Konya, Turkey
ozlemaltintas@gmail.com

(Received/Geliş: 08.02.2018; Accepted in Revised Form/Kabul: 07.03.2018)

ABSTRACT: Silver (Ag) doped zinc oxide (ZnO) nanofibers with 1 at.% and 3 at.% Ag content were prepared using the electrospinning technique and their structural, morphological and photocatalytic properties were investigated. Pure ZnO nanofibers were also prepared with the same procedure for structure and property related comparison purposes. The photocatalytic activity of the Ag doped ZnO nanofibers were determined as a function of Ag content by exploring the degradation behavior of methylene blue under UV light irradiation. It was found that photocatalytic ability of fibers was improved with Ag addition and higher Ag incorporation resulted higher methylene blue degradation rate. For pure ZnO fibers, the degraded amount of dye was 52% of its initial amount after 270 min of UV irradiation time. For the same irradiation time, 60% and 67% decomposition ratios of the dye molecules were achieved with the fibers containing 1 at.% Ag and 3 at.% Ag, respectively. The origin of the improvement of photocatalytic activity in Ag doped ZnO nanofibers was attributed to the substitutional incorporation of Ag ions into Zn sites within the ZnO crystal. The substitutional incorporation has been proved with the positional shift of the XRD diffraction lines.

Key Words: Ag doping, Electrospinning method, Photocatalytic property, ZnO nanofibers.

Elektro Eğirme Yöntemi Kullanılarak Ag Aşıl原因mış ZnO Nano Fiberlerin Sentezi ve Foto Katalitik Aktivitelerinin İncelenmesi

ÖZ: %1 ve %3 gümüş (Ag) içeren Ag aşıl原因mış çinko oksit (ZnO) nano fiberler elektro eğirme yöntemi kullanılarak hazırlanmış ve yapısal, şekilsel ve foto katalitik özellikleri incelenmiştir. Saf ZnO nano fiberler de yapı ve özelliklerin karşılaştırılması amacı ile aynı yöntemle sentezlenmişlerdir, Ag aşıl原因mış ZnO nano fiberlerin foto katalitik özellikleri UV ışığı altında metilen mavisini bozma eğiliminin Ag miktarına bağlı olarak değişiminin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Ag aşıl原因ma ile fiberlerin foto katalitik aktivitelerinin geliştiği ve yüksek miktarda Ag miktarının eklenmesi ile metilen mavisinin bozunum oranının daha iyi olduğu bulunmuştur. Saf ZnO fiberler ile 270 dakikalık UV ışımından sonra boyanın bozunum miktarının %52 oranında olduğu tespit edilmiştir. Aynı ışımaya suresinde %1 Ag içeren fiberlerde boya moleküllerinin bozunum oranı %60 iken, %3 Ag içeren fiberlerde bu oran %77'dir. Ag aşıl原因ma ile ZnO fiberlerin foto katalitik aktivitelerinde gözlemlenen iyileşme ZnO kristal yapısında Zn bölgeleri içine Ag iyonlarının yer alan atom olarak geçmesi ile açıklanabilir. Yer alan atom pozisyonunda yerleşme XRD piklerinin pozisyonlarında meydana gelen kayma ile doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ag aşıl原因ma, Elektro eğirme yöntemi, Foto katalitik özellik, ZnO nano fiberler.

INTRODUCTION

During the last few decades, water and air pollution have created a driving force for the fundamental and applied research in the waste stabilization and environmental remediation areas (Sharma and Lewis 1994). The control of the optical properties of semiconductor materials have increased the importance in the technological applications of the environmental remediation. In the literature, studies related with optical properties of II-VI type semiconductor nanomaterials are mainly focused on the CdSe and CdS nanoparticles containing hazardous elements to the environment (Costi et al., 2008; Yan et al., 2009). However, as an environmentally friendly semiconductor, zinc oxide (ZnO) nanostructures with wide band gap (3.37 eV) and large exciton binding energy (60 meV) show unique optical properties, providing that ZnO nanoparticles are in the foreground material in the technological applications in variety fields such as gas sensors, field emitters, solar cells and photocatalytic applications (Lee et al., 2016).

One of the important application area of ZnO nanostructures is the photocatalytic applications. In this application field, the aim is to destroy unwanted organisms in the air, water and various surfaces with a chemical reaction using a common and inexpensive energy source such as light energy (Serpone and Pelizzetti 1989). The working mechanism of photocatalytic devices is based on the principle of accelerating the photo reaction of a semiconductor material with wide band gap under solar energy. For the photocatalytic reactions, although solar energy is harmless and the most common source of the energy, UV radiation is found to be more effective to degrade dye molecules. The photocatalytic activities of semiconductor materials are classified according to their tendency to form electron-hole pairs under the photoluminescence. When semiconductor nanoparticles are exposed to UV radiation with more energy than their band-energy, they will form hole in the valence band and electrons in the conduction band (O'Neil et al., 1990). The photocatalytic reaction will occur when these electron-hole pairs reach the surface of the material. As a catalyst material, ZnO nanostructures have been observed to be highly effective in visible and near-infrared regions because they require high-energy UV radiation to act as catalysts. In addition, rapid recombination of the resulting electron-hole pairs is another limiting for ZnO. Various methods have been tried to solve these problems, such as semiconductor junction (Chen et al. 2008), transition metal doping (Litter, 1999) and noble metal doping (Li et al. 2011). Among these techniques, it has been observed that the photocatalytic activity can be effectively improved with noble metal addition. It has been observed that the addition of palladium, gold and silver as an advanced metal addition enhances photocatalytic activity (Liqiang et al., 2004; Wu and Tseng 2006; Seery et al., 2007).

The development of the photocatalytic activities of ZnO nanoparticles by Ag doping has been particularly attractive (Yildirim et al., 2013; Patil et al., 2016). It was reported that the surface modifications in terms of size and morphology of the Ag doped ZnO particles significantly affect the photocatalytic properties of the ZnO nanoparticles (Yildirim et al., 2013). L. Wang reported that morphologically smooth ZnO nanoparticles exhibit better photocatalytic properties than according to a non-homogeneous morphology (Wang, L. et al., 2008). In addition, Y. Wang observed that the nano flower structure has better photocatalytic activity than rod structure (Wang, Y. et al., 2008). Because of the different working requirements in its applications, the synthesis of Ag doped ZnO nanostructures with well-controlled size and morphology have been also attracted a great attention (Wang et al., 2004). These special morphologies of Ag doped ZnO nanostructures such as nanorods (Hsu and Chang, 2014), nanofilms (Wang et al., 2006), nanoellipsoids (Kumar et al., 2015) and nanoparticles (Yildirim et al., 2013) have been synthesized using methods ranging from gas phase processes to solution routes.

Although ZnO nanoparticles in a few nanometers size scale have been reported a superior photocatalytic activity due to their large surface to volume ratios, in a practical photocatalytic applications, separation of these particles from the solution could be a problem. Furthermore, agglomeration of the particles in the catalyst solution is another common problem causing to reduce photocatalytic activity. For these aspects, nanofiber catalyst can be proper candidate because of their

unique properties originated from well-defined geometry, ordered structure, flexibility of form, three-dimensional open structure, large specific surface area, easy scale-up, and easily separation from the solution. The electrospinning method is favorable to synthesize Ag doped ZnO fibers due to higher efficiency. In this study, it was aimed to synthesize Ag doped ZnO fibers via electrospinning technique and to determine effect of the Ag addition on the photocatalytic property of ZnO fibers. For this purpose, ZnO fibers were synthesized with different Ag content and in the studied dopant content range, the optimum amount of Ag required for the best photocatalytic property was determined.

MATERIALS AND METHOD

Zinc acetate dehydrate ($C_4H_6O_4Zn \cdot 2H_2O$, %99.5, Fluka), polyvinyl alcohol (PVA, $(C_2H_4O)_n$, MA ~55000, Aldrich), silver acetate ($C_2H_3AgO_2$, %99.99, Aldrich), ethonol (C_2H_6O , %99, Merck) were used as raw materials for the production of ZnO and Ag doped ZnO fibers. All materials were of analytical grade and used without further purification.

Production of Ag-Doped ZnO Nanofibers

Synthesis of ZnO nanofibers was carried out by dissolving of 1.54 g PVA in 10 ml distilled water and mixing of the solution at 70 °C for 4 hours using a magnetic stirrer. 1 g of zinc acetate dihydrate was added to PVA solution and mixing was continued for 1 hour to obtain homogeneous solution. The zinc acetate dehydrate solution was then added drop by drop to the PVA solution. At the end of the dripping process, final solution was stirred further 2 hours to achieve complete homogeneity. Then, the solution was inserted into a disposable sterile syringe having a needle pin inner diameter of 0.8 mm and connected to an automatic syringe pump to spray at a 0.3 mL per hour rate. Aluminum foil was used to collect the fibers. During production of the fibers, the distance between the syringe tip and foil was set to 15 cm and applied voltage was set to 15 kV in the electrospinning unit.

In order to fabricate Ag doped ZnO nanofibers, silver acetate was added in the PVA-ZnO stock solution. For this purpose, silver salt was added to the stock solution at amounts equivalent to 1 and 3 at.% Ag ion. Subsequently, they were mixed at room temperature with a magnetic stirrer for 1.5 hours in order to homogeneously distribute the ions in the solution. The silver containing solution was added to the main solution and stirred at room temperature for approximately 1 day. After mixing, the stock solution containing Ag was taken into a single-use sterile syringe and spraying was performed using the same parameters as the production of ZnO fibers with an automatic syringe pump.

After the end of the electrospinning process of the all ZnO and Ag doped ZnO fibers, aluminum foils were put into a vacuum dryer at 70 °C for 8 hours. In order to remove PVA and organic pollution from the ZnO structure and to increase the crystallinity of the ZnO fiber structure, the fibers were subjected to a heat treatment at 400 °C for 5 hours.

Characterization

The phase distributions of the nanofibers were determined by X-ray diffraction (XRD). The size and morphology of the nanofibers were investigated by scanning electron microscopy (SEM). For the measurement of the photocatalytic activities of ZnO fibers, the degradation rate of methylene blue (MB) dye under UV irradiation were determined by UV-Vis spectrometry. Photocatalytic measurements were firstly carried out in a dark region. Then, 100 W UV lamp was used to observe degradation of the organic dye under UV light. To investigate the photocatalytic ability, 50 mg of MB was dissolved in 50 mL of deionized water to prepare a stock solution. In order to measure the photocatalytic activity of the ZnO nanofibers, 50 mg fiber was added to the dye solution and the solution was then subjected to continuous stirring in a dark box. In order to measure the degree of degradation in the dark media, the absorption spectrum between 300-600 nm was examined by UV-Vis spectroscopy. After the exposure

with the 100 W of UV light, measurements were periodically carried out each 0.5 h by examining degradation of the 4 mL of the solution. Photocatalytic activities of the 1 and 3. at.% Ag doped ZnO fibers were also investigated with the same procedure.

RESULTS and DISCUSSIONS

Figure 1 (a) shows x-ray diffractograms of ZnO and Ag-doped ZnO fibers synthesized via electrospinning technique. According to the X-ray diffractograms, fibers are highly crystalline ZnO with the hexagonal wurtzite structure (JCPDS card number: 36-1451). No other crystalline phases were detected from the ZnO fibers. Peak intensities are in agreement with standard peak intensities in the JCPDS card data. For 1 and 3 at.% Ag addition, low-intensity peaks located at $2\theta = 38.37^\circ$ and 46.40° were observed. These diffraction lines corresponds to the metallic silvers (Subhan et al. 2014). The intensity of these metallic Ag peaks increases with an increase in the dopant silver content.

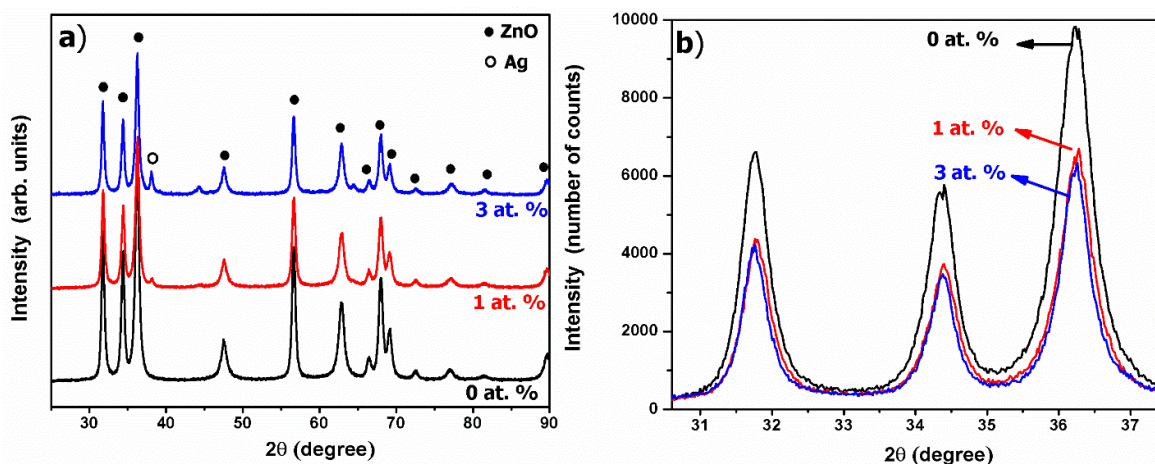


Figure 1. a) XRD diffractogram and b) enlarged XRD diffractogram between $2\theta = 30.5\text{-}37.5^\circ$ of ZnO, 1% and 3% Ag-doped ZnO nanofibers

The peak intensities and positions of ZnO diffractions were examined to investigate the effect of the Ag addition on the crystal structure of ZnO fibers. Figure 1 (b) shows the enlarged XRD diagrams between $2\theta=31.5\text{-}37.5^\circ$ region. It was observed that 1at.% Ag addition considerably decrease the peak intensity of ZnO but in 3at.% Ag doped ZnO fibers, Ag ions have less effect on the peak intensity. According to peak intensities, Ag addition diminished the crystallinity of ZnO fibers. The crystal structure of ZnO is composed of a zinc rich catalytic active top surface and an oxygen rich catalytic inert bottom surface. These two surfaces are also different in terms of energy. This difference ensures that ZnO has a polar structure. With the effect of this polarity, the particles in the solution medium are willing to enlarge low energy surface areas. The chemical structures present in the synthesis medium allow the particles to grow in the desired direction as a result of interaction with the ZnO core structure (Kolodziejczak-Radzimska and Jesionowski 2014). The formation of a second phase with Ag addition prevented the growth of ZnO crystals through the preferential growth direction. Due to this reason, XRD peak intensity and crystallite of ZnO decrease with Ag addition.

Figure 1 (b) also shows a slight shift in the peak positions of Ag-doped ZnO fibers. The 2θ values as a function of the Ag content are listed in Table 1. For pure ZnO fibers, the highest intense peak of hexagonal wurtzite structure appeared at $2\theta = 36.30^\circ$, however, the positions change to $2\theta = 36.28^\circ$ and $2\theta = 36.25^\circ$ for 1% and 3% Ag doped ZnO fibers, respectively. This peak shift caused by Ag addition shows some of the Ag ions are substitutionally incorporated into ZnO crystal structure (Yildirim et al. 2013). Substitutional incorporation of Ag ions can be also proved from the lattice parameters of ZnO. The c-axis lattice constant calculated from the (0002) plane are also listed in the Table I. As observed in

Table I, lattice parameters indicate an enlargement of the lattice from 5.175 to 5.194 Å as the Ag content increased from 0 to 3 at.% because of bigger ionic size of Ag than that of the Zn (Ag^+ : 1.26 Å and Zn^{2+} : 0.74 Å). According to peak shift in the XRD results and lattice parameter change, the Ag ions are substitutionally incorporated into the ZnO crystal by sitting in the Zn^{2+} sites.

Table 1. (002) peak position and lattice parameters for the undoped ZnO and Ag-doped ZnO fibers with different Ag contents

Ag:Zn ratio (at.%)	(002) Peak Position (degree of 2θ)	Lattice Parameter (c, Å)
0	36.30	5.175
1	34.28	5.178
3	34.25	5.194

Figure 2 shows low and high magnification SEM micrographs of as-prepared ZnO and 1 at.% and 3 at.% Ag doped ZnO fibers. As can be seen from the images, fibers with a smooth surface are approximately 40 μm in length and 400 nm in diameter. The addition of Ag did not cause a significant change in the morphology of the as-prepared fibers.

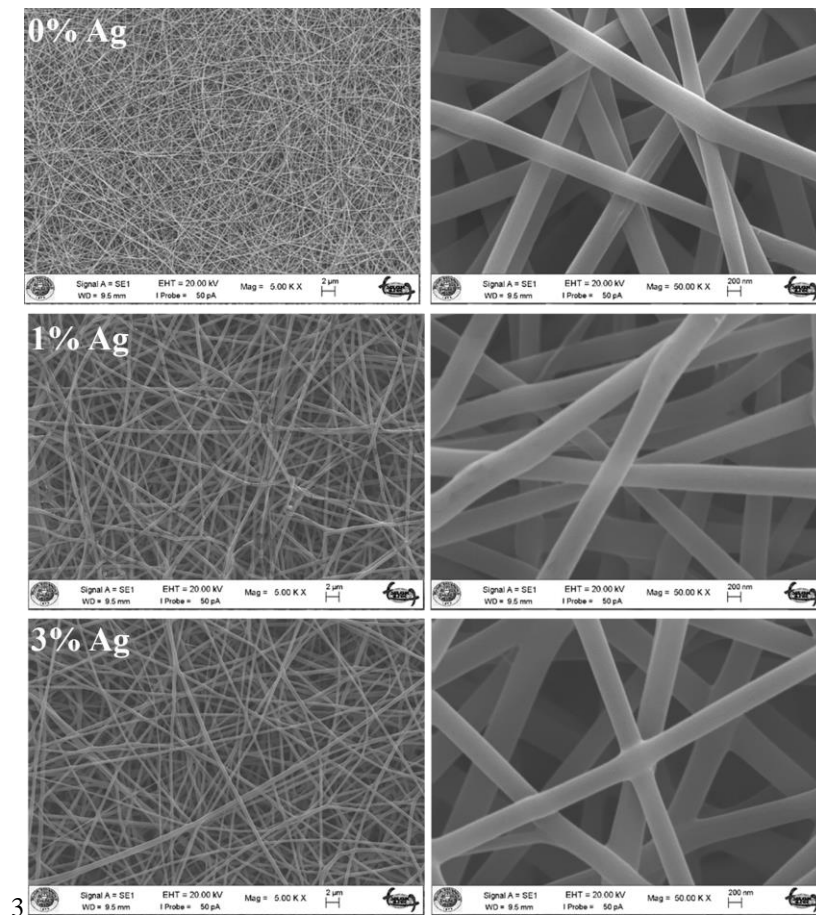


Figure 2. Low and high magnification SEM images of as-prepared ZnO, 1 at.% and 3 at.% Ag-doped ZnO fibers.

Figure 3 shows low and high magnification SEM images of ZnO, 1% and 3% Ag-doped ZnO nanofibers obtained after heat treatment at 400 °C for 5 hours. With the removal of the polymer by the

effect of heat treatment of the fibers, it can be seen that the diameters of the fibers reduce to nearly 80 nm. After the heat treatment of the fibers, it can be also seen that fibers are formed by the particles which are 30 nm in diameter.

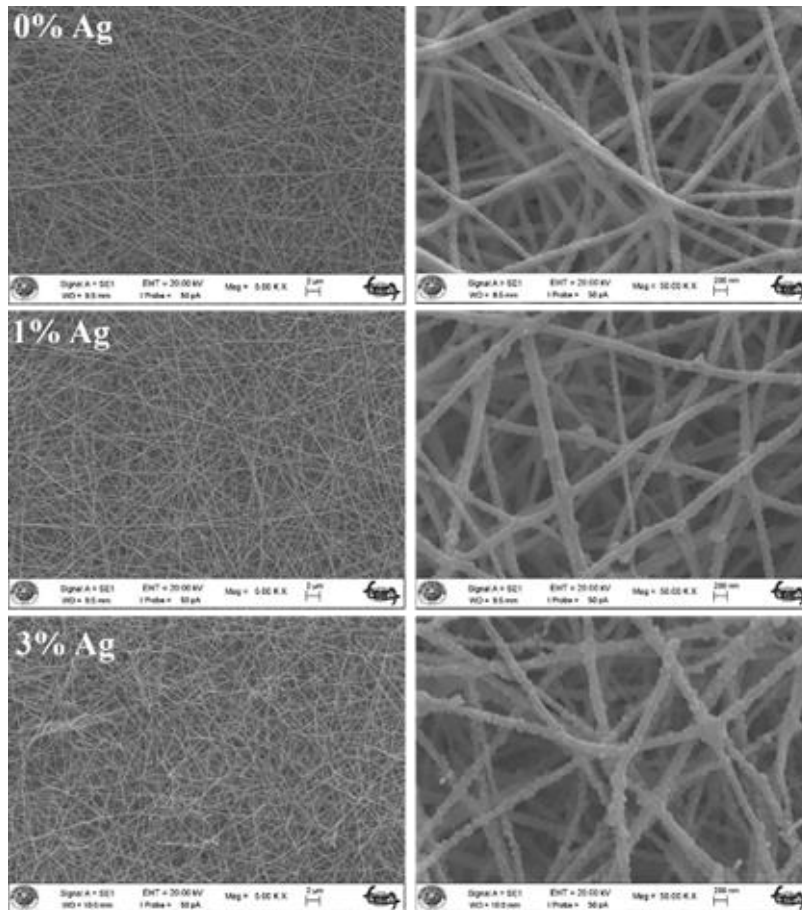


Figure 3. Low and high magnification SEM images of ZnO, 1 at.% and 3 at.% Ag-doped ZnO nanofibers heat treated at 400 °C for 5 hours.

Photocatalytic activities of the nanofiber structures were investigated by the degradation profile of methylene blue under UV light. Figure 4 shows the degradation profile of all ZnO nanofibers. For the comparison purpose, degradation profile of the methylene blue solution without catalyst was also exposed to the UV-light under the same experimental conditions and showed a trace of change with respect to time. A diagram of the reaction of the methylene blue under the influence of light is shown in the Figure 4. It was observed that the methylene blue solution exposed to UV light for 4 hours underwent very little decomposition.

The maximum absorption band at 664 nm was used to degrade the methylene blue. As can be seen from the Figure 4, ZnO began to deteriorate from the 30 minutes and it was observed that the amount of deterioration increased with time due to the effect of UV light. The nanofibers added at 1 and 3 at.% Ag were found to have more efficient for methylene blue dye degradation than that of the bare ZnO fibers. The methylene blue decay according to Figure 4 increases over time in all fiber structures. This degradation in the methylene blue shows the effect of addition of Ag on the photocatalytic properties of ZnO (Chen et al., 2008).

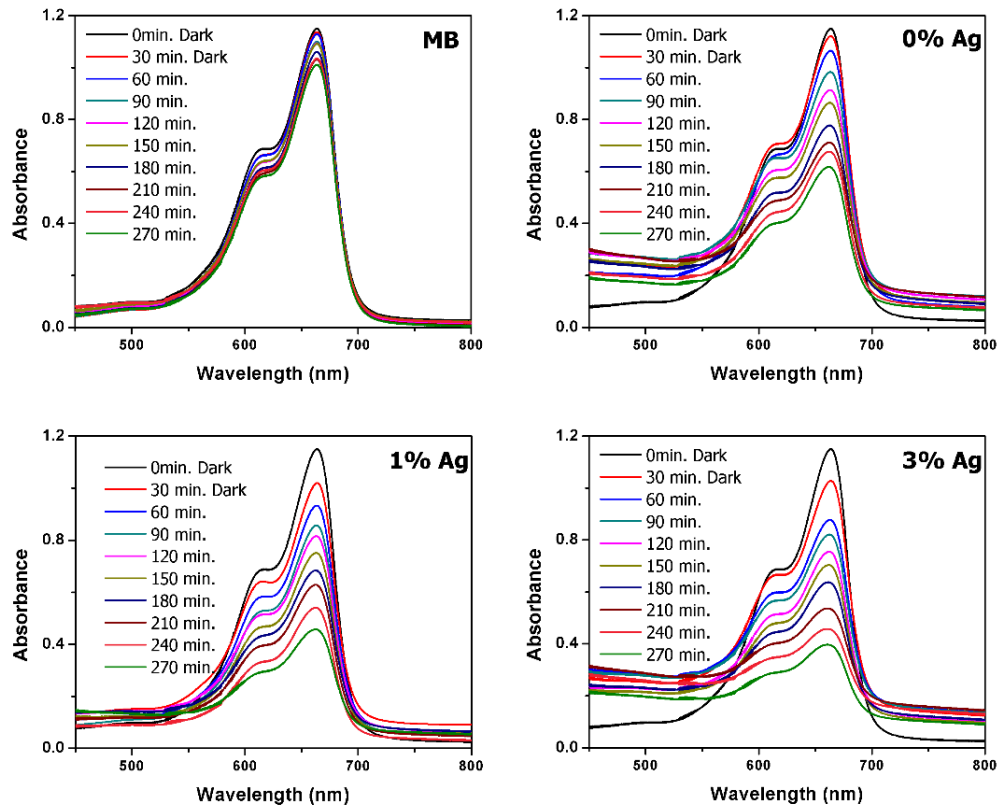


Figure 4. Real-time UV-vis absorption spectra of the photodegradation of methylene blue solutions containing the undoped and 1 at.% and 3 at.% Ag-doped ZnO nanofibers.

Figure 5 exhibits the UV-light degradation of the dye molecules. After the 270 minutes UV irradiation, approximately 70% decomposition was observed in dye molecules without catalyst addition. For the same irradiation time, ZnO fiber catalyst addition to methylene blue solution resulted in an exponentially decrease with respect to time and 48% decomposition was achieved. According to Figure 5, Ag addition increases the dye decomposition. 60% degradation rate was observed with 1% Ag doped ZnO nanofiber. Furthermore, with an increase in the Ag dopant amount to 3 at.%, degradation rate further increased to 67%. Therefore, it has been observed that Ag addition improves the photocatalytic activities of ZnO nanofibers. This increase can be attributed to the change in the electronic structure of the ZnO by the silver ions sitting into Zn site of the crystal. The photocatalytic activity of semiconductor materials can usually be improved by providing the separation of excited electron-hole pairs (Liu et al. 2011). By employing substitutional incorporation of Ag ions into ZnO crystal structure, the photoexcited electron-hole pairs could be efficiency separated by an extra inner field. Based on the above experimental results, the improved photocatalytic efficiency could be due to substitutionally sitting of Ag ions into ZnO crystal.

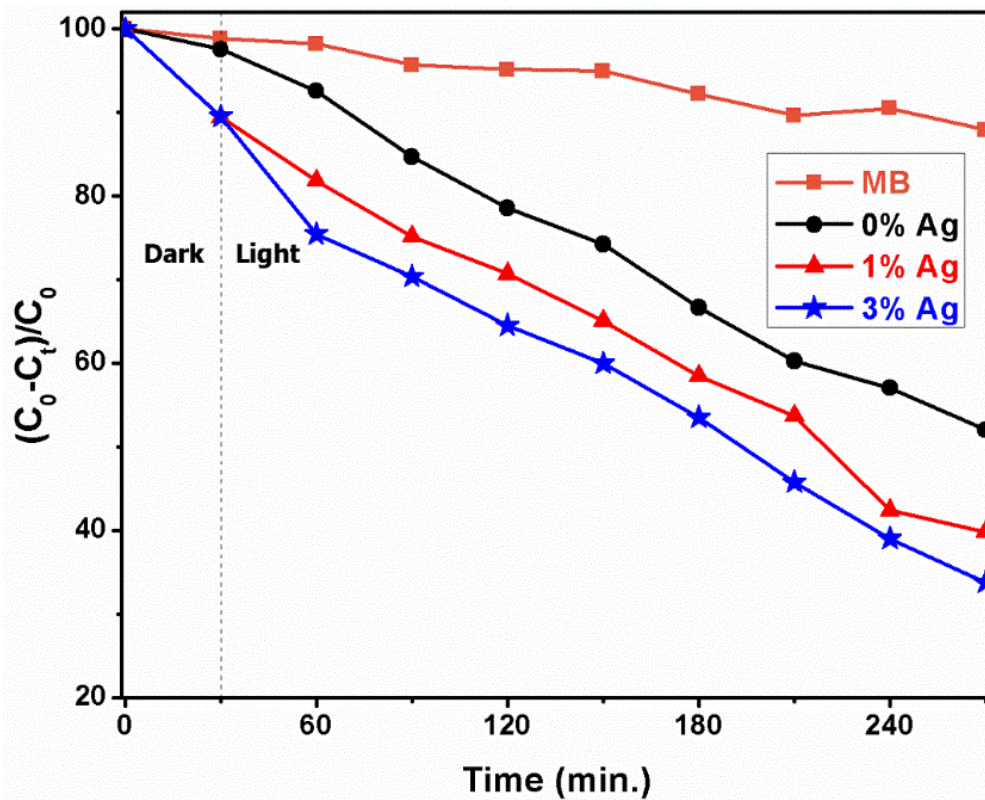


Figure 5. Time-dependent degradation profiles of ZnO and 1 at.% and 3 at.% Ag-doped ZnO nanofibers

CONCLUSIONS

In this study, Ag added ZnO nanofibers with approximately 40 μm in length and 80 nm in diameter were fabricated by the electrospinning technique. The effects of the Ag addition on the structural, morphological and photocatalytic abilities of the ZnO nanofibers were investigated. According to XRD results, the addition of Ag to the ZnO crystal structure led to a shift in diffraction line position and a decrease in the peak intensities of the ZnO peaks. This shift in the peak positions indicates that the added Ag ions are substitutionally incorporated into the ZnO crystal structure. In addition, some of the added Ag ions has formed a separate phase as metallic Ag. The photocatalytic properties of the produced fibers were investigated by examining methylene blue dye degradation under UV light irradiation. It was found that the photocatalytic properties of ZnO nanofibers showing 48% degradation as a result of exposure to 270 minutes of UV irradiation were improved with 1 and 3 at.% Ag addition to 60% and 67% degradation rates, respectively. These results show that Ag addition to ZnO fiber structure gives an opportunity to use nanofibers in the large-scale utilization of photocatalysts using UV light to overcome organic and/or water pollution.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was carried out within the scope of project number 16401052 supported by Selçuk University Scientific Research Projects (BAP). We thank Selçuk University BAP for their financial support.

REFERENCES

- Chen, S., Zhao, W., Liu, W., Zhang, S., 2008, "Preparation, Characterization and Activity Evaluation of p-n Junction Photocatalyst p-ZnO/n-TiO₂", *Applied Surface Science*, Vol. 255, No. 5, pp. 2478-2484.
- Costi, R., Saunders, A. E., Elmalem, E., Salant A., Banin, U., 2008, "Visible Light-induced Charge Retention and Photocatalysis with Hybrid CdSe- Au Nanodumbbells", *Nano Letters*, Vol. 8, No. 2, pp. 637-641.
- Hsu, M.-H., Chang, C.-J., 2014, "Ag-doped ZnO Nanorods Coated Metal Wire Meshes as Hierarchical Photocatalysts with High Visible-Light Driven Photoactivity and Photostability", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 278, No. 1, pp. 444-453.
- Kolodziejczak-Radzimska, A., Jesionowski, T., 2014, "Zinc Oxide-From Synthesis to Application: A Review", *Materials*, Vol. 7, No. 4, pp. 2833-2881.
- Kumar, R., Rana, D., Umar, A., Sharma, P., Chauhan, S., Chauhan, M. S., 2015, "Ag-doped ZnO Nanoellipsoids: Potential Scaffold for Photocatalytic and Sensing Applications", *Talanta*, Vol. 137, No. 1, pp. 204-213.
- Lee, K., M., Lai, C. W., Ngai, K. S., Juan, J. C., 2016, "Recent Developments of Zinc Oxide based Photocatalyst in Water Treatment Technology: a Review", *Water Research*, Vol. 88, No. 1, pp. 428-448.
- Li, P., Wei Z., Wu, T., Peng, Q., Li, Y., 2011, "Au-ZnO Hybrid Nanopyramids and Their Photocatalytic Properties", *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 133, No. 15, pp. 5660-5663.
- Liqiang, J., Baiqi, W., Baifu, X., Shudan, L., Keying, S., Weimin, C., Honggang, F., 2004, "Investigations on the Surface Modification of ZnO Nanoparticle Photocatalyst by Depositing Pd", *Journal of Solid State Chemistry*, Vol. 177, No. 11, pp. 4221-4227.
- Litter, M. I., 1999, "Heterogeneous Photocatalysis: Transition Metal Ions in Photocatalytic Systems", *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 23, No. 2, pp. 89-114.
- Liu, B., Nakata, K., Zhao, X., Ochiai, T., Murakami, T., Fujishima, A., 2011, "Theoretical Kinetic Analysis of Heterogeneous Photocatalysis: the Effects of Surface Trapping and Bulk Recombination Through Defects", *The Journal of Physical Chemistry C*, Vol. 115, No. 32, pp. 16037-16042.
- O'Neil, M., Marohn, J., McLendon, G., 1990, "Dynamics of Electron-Hole Pair Recombination in Semiconductor Clusters", *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 94, No. 10, pp. 4356-4363.
- Patil, S. S., Mali, M. G., Tamboli, M. S., Patil, D. R., Kulkarni, M. V., Yoon, H., Kim, H., Al-Deyab, S. S., Yoon, S. S., Kolekar, S. S., 2016, "Green Approach for Hierarchical Nanostructured Ag-ZnO and Their Photocatalytic Performance under Sunlight", *Catalysis Today*, Vol. 260, No. 1, pp. 126-134.
- Seery, M. K., George, R., Floris, P., Pillai, S. C., 2007, "Silver Doped Titanium Dioxide Nanomaterials for Enhanced Visible Light Photocatalysis", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 189, No. 2-3, pp. 258-263.
- Serpone, N., Pelizzetti, E., 1989, *Photocatalysis: fundamentals and applications*
- Sharma, H. D., Lewis, S. P., 1994, *Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation*, John Wiley & Sons.
- Subhan, M. A., Awal, M., Ahmed, T., Younus, M., 2014, "Photocatalytic and Antibacterial Activities of Ag/ZnO Nanocomposites Fabricated by Co-Precipitation Method", *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, Vol. 27, No. 2, pp. 223-232.
- Wang, L., Chang, L., Zhao, B., Yuan, Z., Shao, G., Zheng, W., 2008, "Systematic Investigation on Morphologies, Forming Mechanism, Photocatalytic and Photoluminescent Properties of ZnO Nanostructures Constructed in Ionic Liquids", *Inorganic Chemistry*, Vol. 47, No. 5, pp. 1443-1452.

- Wang, R., Xin, J. H., Yang, Y., Liu, H., Xu, L., Hu, J., 2004, "The Characteristics and Photocatalytic Activities of Silver Doped ZnO Nanocrystallites", *Applied Surface Science*, Vol. 227, No. 1, pp. 312-317.
- Wang, X., Song, C., Geng, K., Zeng, F., Pan, F., 2006, "Luminescence and Raman Scattering Properties of Ag-doped ZnO films", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 39, No. 23, pp. 4992.
- Wang, Y., Li, X., Wang, N., Quan, X., Chen, Y., 2008, "Controllable Synthesis of ZnO Nanoflowers and Their Morphology-Dependent Photocatalytic activities", *Separation and Purification Technology*, Vol. 62, No. 3, pp. 727-732.
- Wu, J.-J., Tseng, C.-H., 2006, "Photocatalytic Properties of nc-Au/ZnO Nanorod Composites", *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 66, No. 1-2, pp. 51-57.
- Yan, H., Yang, J., Ma, G., Wu, G., Zong, X., Lei, Z., Shi, J., Li, C., 2009, "Visible-light-driven Hydrogen Production with Extremely High Quantum Efficiency on Pt-PdS/CdS Photocatalyst", *Journal of Catalysis*, Vol. 266, No. 2, pp. 165-168.
- Yıldırım, O.A., Unalan, H. E., Durucan, C., 2013, "Highly Efficient Room Temperature Synthesis of Silver-Doped Zinc Oxide (ZnO: Ag) Nanoparticles: Structural, Optical, and Photocatalytic Properties", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 96, No. 3, pp. 766-773.

POWER COEFFICIENT IN ONE POINT LIQUID LIMIT TEST FOR SOILS OF NORTHERN TURKEY AT VARIOUS TEMPERATURES

¹Emre ÜYETÜRK, ²Nejan HUVAJ

¹Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 06800, Ankara, Turkey,

²Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 06800, Ankara, Turkey

¹emreuyeturk@gmail.com, ²nejan@metu.edu.tr

(Geliş/Received: 20.02.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 17.04.2018)

ABSTRACT: In this study, the power coefficient of one-point liquid limit equation given by ASTM 4318-17 is evaluated for weathered volcanic deposits of Northern Turkey. Total of 35 soil samples taken from depths ranging from 0.2 m to 4 m from 8 different sites in the city of Rize and one site in Trabzon, Turkey are used, and a total of 77 Atterberg limit tests are conducted. Three different sample preparation methods are used: (1) starting from in-situ moisture content without any drying, (2) drying at 60°C oven, (3) drying at 110°C oven. For liquid limit determination by one-point method, the best fitting power coefficient is evaluated for different sample preparation conditions separately, and are compared with the power coefficient suggested by ASTM D4318-17. Soils used in this study are in ML-OL to MH-OH zones in plasticity chart and the liquid limit values vary in the range of 35% to 103% (moist preparation). Liquid limits obtained by multi-point method and the ones obtained by one-point method are found to be similar to each other. It is concluded that although the power coefficient changes (in the range of 0.106 to 0.133 with an average value of 0.120) due to sample preparation technique, they are close to ASTM-suggested power value of 0.121, and the differences in resulting liquid limits are negligibly small (0-2%).

Key Words: Liquid limit, Multi point, One point

Türkiye'nin Kuzeyindeki Zeminler İçin Farklı Sıcaklıklarda Tek Nokta Likit Limit Deneyindeki Üstel Katsayı

ÖZ: Bu çalışmada ASTM D4318-17 tarafından önerilen tek nokta likit limit saptama denklemindeki üstel katsayı Türkiye'de Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan ayrıışmış volkanik zeminler için belirlenmiştir. Numuneler 0.2 m ila 4 m derinliklerden, Rize'den 8 sahadan ve Trabzon'dan 1 sahadan alınmış olup toplamda 35 adettir ve bu numunelerle 77 adet Atterberg kıvam limitleri deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada 3 farklı numune hazırlama yöntemi kullanılmıştır. Bunlar (1) herhangi bir ısıtmaya maruz bırakılmadan doğal su muhtevassından numune hazırlama, (2) 60°C fırında kurutulduktan sonra hazırlama ve (3) 110°C fırında kurutulduktan sonra hazırlamadır. Tek nokta likit limit saptama denklemindeki üstel katsayı, farklı yöntemlerle hazırlanan numuneler için hesaplanmış ve bu üstel katsayı ASTM D4318-17 standardında tavsiye edilen değer ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan zeminler Plastisite abağında ML-OL ve MH-OH sınıfında olup likit limit değerleri %35 ile %103 arasında değişmektedir (ıslak hazırlama yöntemi ile). Öte yandan çok nokta yöntemiyle belirlenmiş olan likit limit değerleri ile tek nokta yöntemiyle belirlenen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak farklı numune hazırlama tekniklerinin üstel katsayı değeri 0.106 ila 0.133 arasında olup, ortalama değer olarak 0.120 elde edilmiş ve

bu değerlerin ASTM D4318-17 de tavsiye edilen 0.121 değerine yakın olduğu görülmüş ve bu farklılıkların likit limit değerlerinde ihmal edilebilir bir farklılığa yol açtığı sonucuna varılmıştır (0-%2).

Anahtar Kelimeler: Likit limit, Çok nokta, Tek nokta

INTRODUCTION

The Atterberg limits are index properties of fine grained soils that are used for classification, as well as, for estimating engineering properties of these soils, such as shear strength, compressibility, swelling potential and for evaluating the suitability of them to be used as a fill material or as a subgrade soil (Atterberg, 1911; Casagrande, 1932; Olmstead and Johnson, 1955; Terzaghi et al., 1996; Jefferson and Rogers, 1998; Orhan and Özer, 2006; Zolfaghari et al., 2015; Stanchi et al., 2017). In order to determine Atterberg limits, ASTM D4318-17 requires soil samples to be prepared either by wet preparation, or by dry preparation methods (at room temperature or in an oven at a temperature not exceeding 60°C). This standard method for determining the liquid limit (LL) requires that, at least three trials be made, each at a different moisture content. In the conventional multi-point test, the aim is to obtain the water content of the soil sample that requires 25 blows for the closure of the opening (for a length of 13 mm), which is originally created by a groove tool as described by ASTM D4318-17. However, since obtaining 25 blows exactly, is difficult, an interpolation with several data points are done to find the water content at 25 blows. Also, there is another way to determine the LL of a soil sample, which is called "one-point method" (US Waterways, 1949, Olmstead and Johnston, 1955, Eden, 1955, Norman, 1959, Mohen and Goel, 1958, Roje – Bonacci, 2004). This method requires obtaining blow count between 20 and 30 for closure of the opening in Casagrande cup, by a 13 mm length and determining the water content of the soil sample at that consistency. Then, an equation is to be used to find the LL at 25 blow count. This method is also standardized by ASTM (ASTM D4318-17), as "method B", and by British Standards (BS1377). ASTM D4318-17 suggests an equation and a power coefficient to determine LL of a soil sample corresponding to 25 blow counts, from one data point (equation 1).

$$LL_n = w_n \left(\frac{N_n}{25} \right)^{0.121} \quad (1)$$

The power coefficient suggested by ASTM is 0.121, whereas 0.092 and 0.121 are used by British Standards BS1377 and German DIN18122 standards, respectively.

ASTM D4318-17 notes that one-point method may not be applicable for some soils, such as organic soils, and soils from marine environment. Similarly, according to Eden (1955), the assumptions made in one-point method is not strictly correct for highly organic soils and Eden (1955) stated that "it should not be used on soils which contain an appreciable amount of organic matter". This paper investigates the influences of different sample preparation methods, which are (i) wet preparation, (ii) 60°C oven dried preparation, and (iii) 110°C oven dried preparation, on power coefficient in equation (1) to determine LL from one point test. The resulting power coefficients are compared with ASTM D4318-17 suggested power value. Furthermore, the differences in liquid limits obtained by multi-point and one-point tests are presented and comparison is provided.

BACKGROUND

The origin of the one-point method for determination of LL may have developed from the U.S. Waterways Experiment Station (1949) study, which stated that "Dr. Arthur Casagrande suggested that flow

lines determined by liquid limit tests, plotting both water content and number of blows to a logarithmic scale, might have a constant slope for soils of the same geologic origin". According to Norman (1959) and Mohan and Goel (1960), it is observed in the determination of LL tests that, slopes of the flow curves have nearly the same slope, and this led to an increased interest in one-point method to determine LL of soils.

Some of the benefits of one-point LL test were reported as, a substantial reduction in the time and cost of LL determinations, and reduced work load on technicians (U.S. Waterways Experiment Station 1949, Eden, 1955, Önalp and Kılıç, 1994). Önalp and Kılıç (1994) stated that for big projects with extensive site investigation and laboratory tests, a lot of LL tests are to be done, increasing the work load on technicians, which may increase the tendency of misinterpretation of the tests or mistakes in the long term.

According to Haigh and Vardanega (2014), one-point method is an applicable method to determine LL, and it is allowed in the codes around the world, and hence further examination is valuable. Although it is widely accepted and many codes worldwide allow the usage of the one-point method, limited amount of research is done to investigate the one-point equation for different soils coming from various origins. Önalp and Arel (2013), Olmstead and Johnson (1955), Mohan and Goel (1959) recommended further studies to be conducted to investigate the power coefficient in one-point method for soils of different origins from different parts of the world. On the contrary, some researchers suggest that the geological origin of the soil need not be considered, and that the variation in values of the power ($\tan \beta$) for many different soils would be small (Eden, 1955). The power coefficient obtained as a result of various researches are summarized in Table 1. Although the power coefficient seems to vary in a broad range (Table 1), the effect of it on LL is not that significant. Olmstead and Johnston (1955) suggested that, if the errors due to the one-point method fall within the ± 2 percent range in LL, then one-point test should be an acceptable procedure.

Table 1. Power value in one-point LL equation

Reference	Origin of Soil	Type of soils	Number of Soils	Average $\tan \beta$ (range in parenthesis)
US Waterways (1949) -	Southern US (Alluvial Valley of the Mississippi River, the West and the East Gulf Coastal Plains)	medium to highly plastic inorganic clays, and a few silts and sandy clays	767	0.121*
Olmstead and Johnston (1954)	the US	-	759	0.135
Eden (1955)	Canadian	-	484	0.108 / 0.100
Mohan and Goel (1958)	India	Black cotton soils (montmorillonitic)	250	0.068
Norman (1959)	the UK/Overseas	-	455/49	0.092**
Jain and Patwardhan (1960), reported by Haigh & Vardanega (2014)	India	Gangetic alluvium	32	0.085
Kim (1973), reported by Haigh & Vardanega (2014)	Korea	Korean soils	1017	0.118
Önalp (1994)	Eastern Black Sea region, Turkey	Silts & clays	332	0.112
Vural (1998)	Adapazarı, Turkey	-	24	-
Roje – Bonacci (2004)	Dalmatian region, Croatia	CH clays	88	0.063 (range: 0.023 to 0.132)
Uysal (2004)	Adapazarı, Turkey	-	79	0.120
Önalp and Arel (2013)	Istanbul, Turkey	Marine clays	20	0.120
This study	Northern Turkey (Rize and Trabzon)	Weathered volcanic deposits	35	0.120

* also ASTM D4318-17, TS 1900-1

** also BS1377

METHODOLOGY

Soil samples for this study are taken from Northern Turkey, from the cities of Rize and Trabzon, 31 soil samples are taken from eight different sites in Rize and 4 soil samples are taken from one site in Trabzon. The sites in Rize are located in the following villages: Beydere (site 1), Çağlayan/Arslandere (site 2), Köprübaşı (site 3), Aktaş (site 4), Çağlayan (site 5), Merdivenli (site 6), Gündoğan (site 7), Beyazkaya (site 8), and site in Trabzon is located in Ambarlı village (site 9) (Figure 1). Depth of soil samples ranges from 0.2 m to 4.0 m. When the soil samples were taken at these sites, sample were placed in plastic bags in order to preserve their in-situ water content.



Figure 1. Location of the sites in cities of Trabzon and Rize, Turkey

To conduct the LL tests, three different sample preparation methods are utilized. In wet sample preparation, distilled water is added to the soil in its in-situ water content (without any drying), then the soil is sieved through ASTM No.40 sieve in a wet state. The other sample preparation methods involve oven drying prior to testing. In these methods, the samples are dried in oven at 60°C or 110°C then pulverized to pass the samples through ASTM No.40 sieve. After addition of distilled water, all samples are allowed to hydrate in the humidity room and tests are conducted according to ASTM D4318-17 using Casagrande cup method. All LL tests are done from wet to dry condition (i.e. from low to high blow count), by mixing and allowing the soil to gradually dry in room temperature.

The effects of drying on liquid limit of soils have been discussed in the literature (e.g. Terzaghi et al., 1996; Jefferson and Rogers, 1998). Kanit et al. (2006) carried out cone penetration-type LL tests on 10 different soil samples and concluded that the samples that are prepared by wet method gave higher LL values (by 1% to 15% higher) as compared to other sample preparation methods that involved drying. Wet preparation method is reported to take longer time and it requires more care, therefore it is reported that, in practice, oven drying at 60°C or 110°C is preferred in most laboratories in Turkey (Kanit et al., 2006; Ozer 2008).

Soil samples that are used in this study are classified according to Unified Soil Classification System, USCS, using ASTM D2487-11. The resulting USCS classification is illustrated in Figure 2. All of the samples are in the ML-OL or MH-OH zone in plasticity chart (Figure 2), having LL of 33% to 78% when prepared by drying at 110°C and 35% to 103% when prepared from in-situ moisture content. ASTM D2487-11 categorizes soils as “organic” if $LL_{110^\circ} / LL_{Moist}$ ratio is less than 0.75. For soil samples used in this study, this ratio can be

obtained from the LL values given in Table 2, and soils can be named accordingly, only a few of the soils would be classified as "organic", according to USCS.

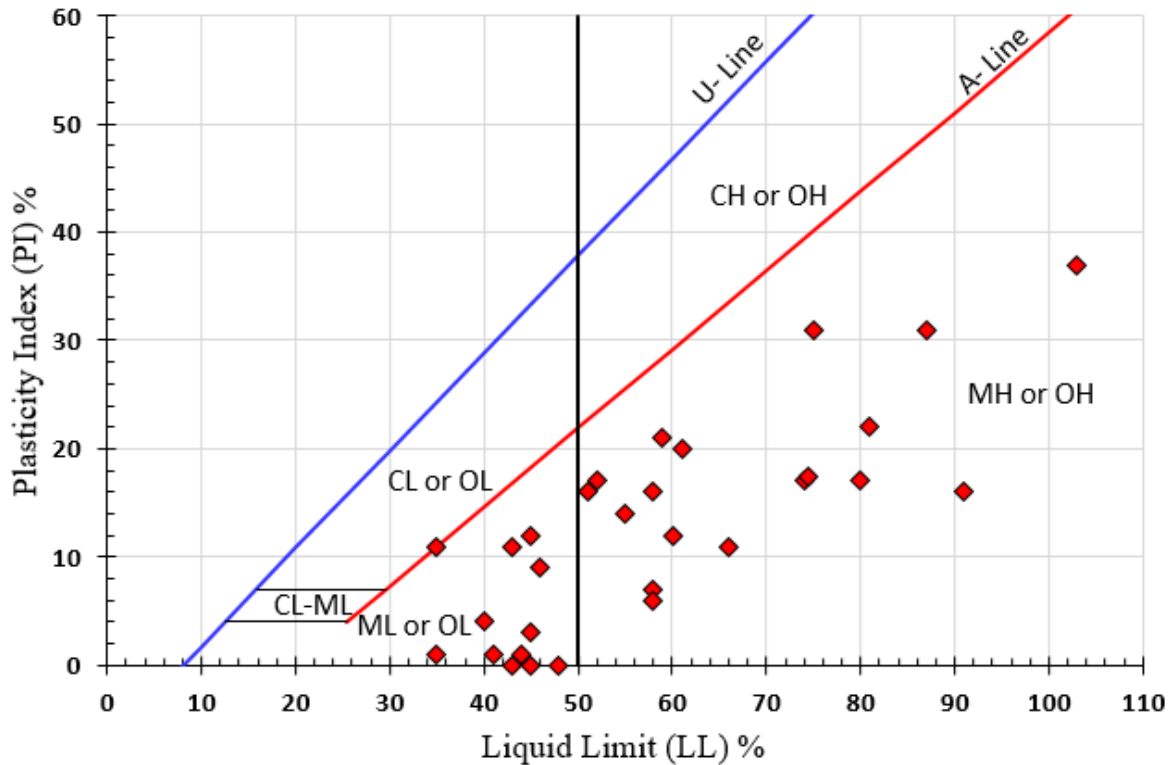


Figure 2. Soil samples in the Plasticity Chart (wet preparation method)

Figures 3, 4 and 5 show the flow curves (water content versus number of drops, or blow counts) in semi-logarithmic plot, for samples that are prepared by different sample preparation methods. It is noticeable that in all three figures the slopes of flow curves seem similar, even for different sample preparation techniques. It can be seen that the number of blows versus water content plot changes gradually rather than rapidly, and as stated by US Waterways (1949), Eden (1955), Norman (1959), Mohan and Goel (1960), the slopes of flow curves are similar for these soils.

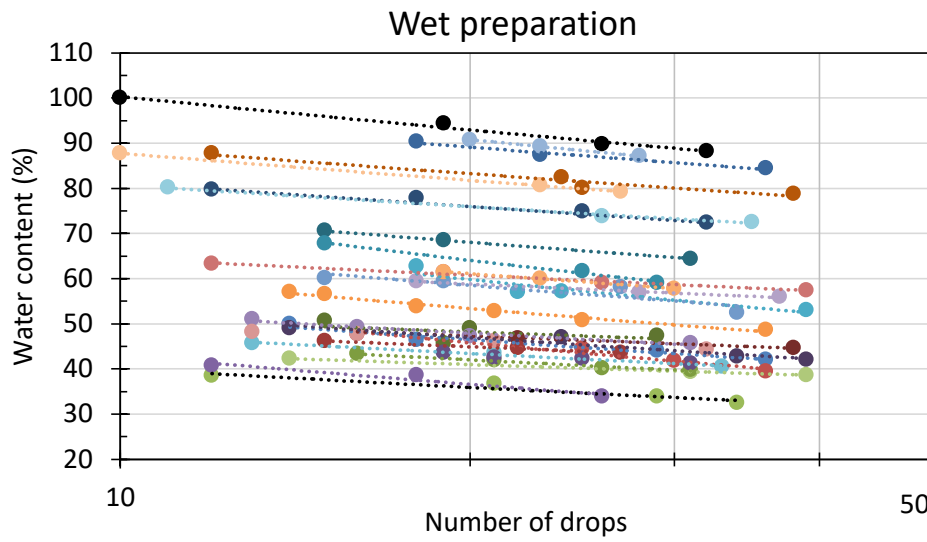


Figure 3. Flow curves for LL determination for samples prepared by wet method

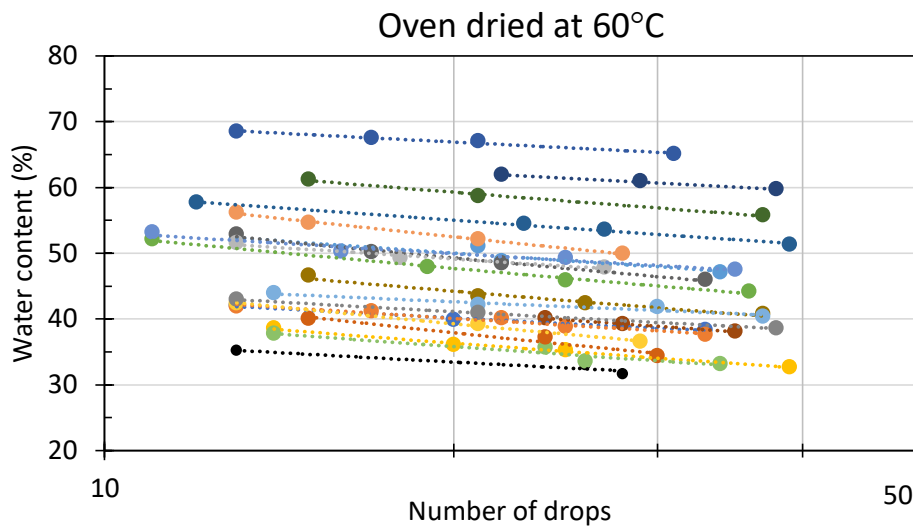


Figure 4. Flow curves for LL determination for samples prepared by oven drying at 60°C

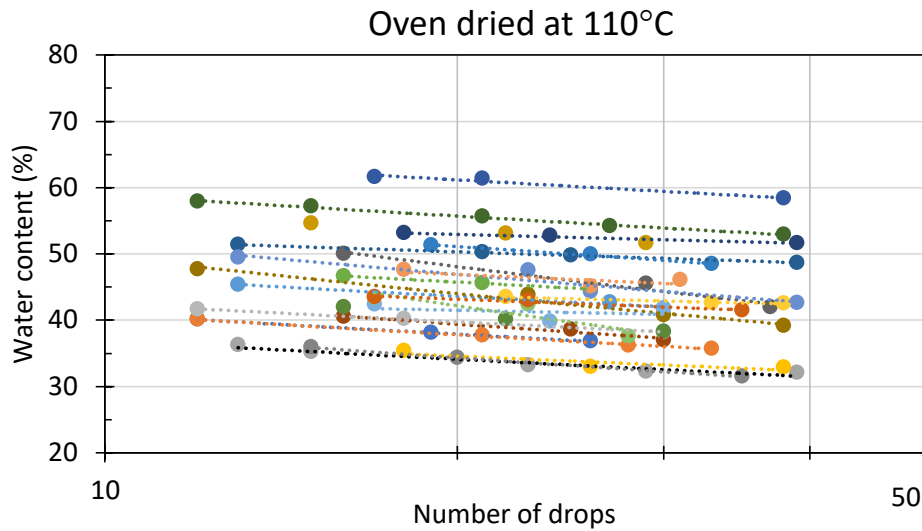


Figure 5. Flow curves for LL determination for samples prepared by oven drying at 110°C

By using 77 flow curves that are presented in Figures 3, 4 and 5, the power coefficient ($\tan\beta$) in Equation (1) is calculated for each test. The average $\tan\beta$ values are calculated for three different sample preparation techniques and are presented in Table 2. Table 2 shows clearly that, upon increase in drying temperature $\tan\beta$ values are getting smaller. The frequency distribution of all $\tan\beta$ values from all 77 tests is shown in Figure 6. The average value of $\tan\beta$ from all 77 tests is 0.120 (with a standard deviation is 0.047). This power coefficient is in agreement with the ASTM 4318-17 suggested value of 0.121.

Table 2. The average power coefficient, i.e. $\tan\beta$ values in Equation (1), for different sample preparation techniques

	Wet sample preparation	Dried at 60°	Dried at 110°	Average of all data
$\tan\beta$	0.133	0.120	0.106	0.120

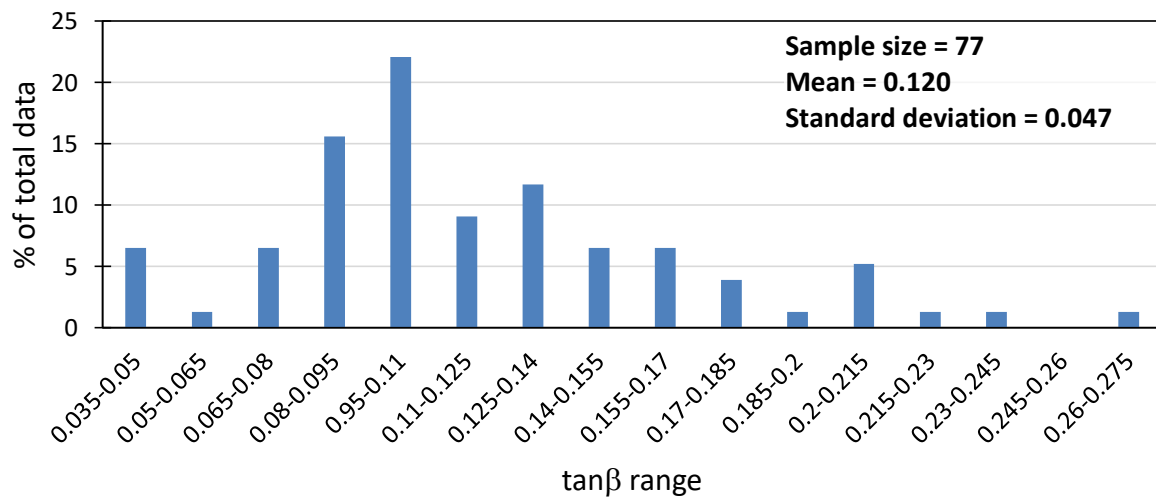


Figure 6. The frequency distribution of $\tan\beta$ values in 77 LL tests

Having obtained the average $\tan\beta$ values for wet, 60°C and 110°C oven dried sample preparation methods and the average $\tan\beta$ value of all the samples, an analysis is made to compare the results of LL values calculated using these $\tan\beta$ values and using ASTM D4318-17 suggested $\tan\beta$ value. In the analyses, LL of all the samples are calculated by using (i) ASTM suggested $\tan\beta$ value of 0.121, (ii) average $\tan\beta$ value of 0.120 which is the average obtained from all three different sample preparation techniques, (iii) average $\tan\beta$ value determined only from the related sample preparation technique (Table 3).

Table 3. Liquid limit (%) values obtained by multi-point and one-point methods

Site-Depth(m)-Name	Prepared from in-situ moisture content				Prepared by drying at 60°C oven				Prepared by drying at 110°C oven			
	Multi Point	$\tan\beta=0.121$ (ASTM)	$\tan\beta=0.120$ (Ave. All Data)	$\tan\beta=0.133$ (Ave. Moist)	Multi Point	$\tan\beta=0.121$ (ASTM)	$\tan\beta=0.120$ (Ave. All Data)	$\tan\beta=0.120$ (Ave. 60°C)	Multi Point	$\tan\beta=0.121$ (ASTM)	$\tan\beta=0.120$ (Ave. All Data)	$\tan\beta=0.106$ (Ave. 110°C)
1-0.5-A	45	45	45	45	40	39	39	39	37	37	37	37
1-1-A	43	45	45	45	39	39	39	39	37	37	37	37
1-4-HAT	35	36	36	36	33	33	33	33	33	33	33	33
1-4-HO	35	34	34	34	35	35	35	35	33	33	33	33
2-0.4-A	58	57	57	57	48	48	48	48	43	43	43	43
2-1-HM	51	51	51	51	46	46	46	46	45	45	45	45
2-1-HO	75	75	75	75	62	61	61	61	53	53	53	53
2-1-HY-T	46	46	46	46	40	40	40	40	38	39	39	39
3-4-HA	48	48	48	48	48	48	48	48	46	46	46	46
3-0.5-HT	45	47	47	47	43	43	43	43	42	43	43	43
3-0.5-YA	66	66	66	66	54	54	54	54	50	50	50	50
3-0.5-HO	81	80	80	80	58	57	58	58	55	55	55	55
3-1.5-YA	58	59	59	59	49	49	49	49	46	45	44	44
4-0.2-HU	60	59	59	59	48	48	48	48	45	45	45	45
4-0.2-HU2	40	40	40	41	-	-	-	-	39	39	39	39
4-2.5-HOSSBT	-	-	-	-	-	-	-	-	43	43	43	43
5-1.5-HOHM	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	40	40
5-1.5-HOSS	47	46	46	46	38	38	38	38	-	-	-	-
5-1.5-HOSS2	42	43	43	43	-	-	-	-	-	-	-	-
5-1.5-HOKY	59	59	59	59	-	-	-	-	40	42	42	42
6-3.5-HOHM	87	87	87	86	-	-	-	-	60	60	60	60
7-0.2-HOHM	-	-	-	-	42	41	41	41	43	43	43	43
7-0.5-HSS	44	44	44	44	-	-	-	-	-	-	-	-
7-0.5-HMY	41	40	40	40	-	-	-	-	33	33	33	33
7-1.5-HMS	42	42	42	42	35	34	34	34	-	-	-	-
7-2-HOBT	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	52
7-2-HM-OVY	61	62	62	62	-	-	-	-	50	50	50	50
7-0.5-F	115	114	114	114	66	66	66	66	-	-	-	-
7-0.5-F2	88	88	88	88	-	-	-	-	-	-	-	-
7-0.5-HSS	-	-	-	-	36	37	37	37	-	-	-	-
8-0.5-HM	45	45	45	45	40	40	40	40	39	40	40	40
9-T-2	91	90	90	90	-	-	-	-	62	62	62	62
9-T-3	58	58	58	58	-	-	-	-	50	50	50	50
9-T-4	75	74	74	74	-	-	-	-	57	56	56	56
9-T-5	80	80	80	80	-	-	-	-	61	61	61	61

Table 3 clearly shows that for the investigated soils, the LL values, when calculated by using different $\tan\beta$ values differ from each other by 2% maximum. Furthermore, the comparison of LL obtained by multi-point method and that obtained by one-point method gives the same or very close LL value (Table 3 and Figure 7). In Figure 7, the LL determined from multi-point method versus LL determined from one-point method (using average $\tan\beta$ value of all samples) are compared graphically by plotting them with respect to the 45° line, and with upper and lower 2% difference boundaries. According to Eden (1960), different operators were found to give slightly different results when determining the LL of soils. Moreover, Olmstead and Johnston (1954) concluded that, based on many tests by experienced operators and/or different laboratories, the LL of a sample can be determined within $\pm 2\%$ range. Hence, it can be concluded from Olmstead and Johnston (1954) that if one-point method provides the accuracy of $\pm 2\%$ difference with respect to multi-point test, the usage of one-point method is justified.

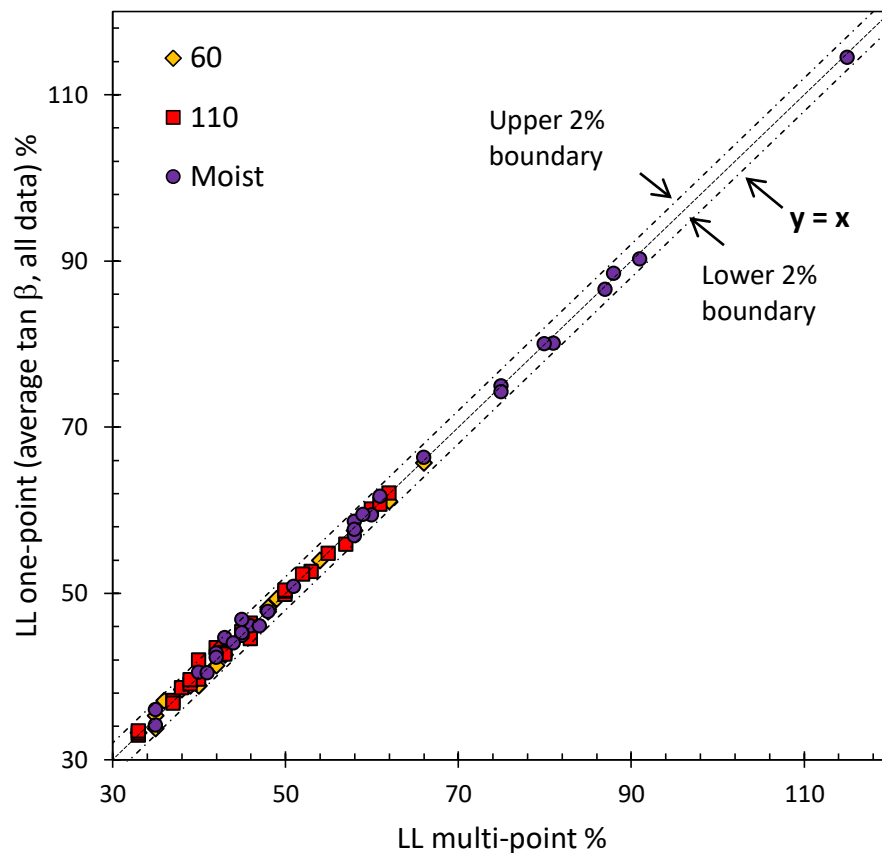


Figure 7. Comparison of LL obtained by multi-point method and one-point methods

CONCLUDING REMARKS

The power coefficient ($\tan\beta$) in one-point liquid limit test is determined for various sample preparation techniques and is presented for 35 natural soils from nine sites in Trabzon and Rize, Northern Turkey.

- The power coefficient ($\tan\beta$) values for 77 Atterberg limit tests using different sample preparation methods have an average value of 0.120, with a standard deviation of 0.047.

- ASTM D4318-17 suggested power coefficient ($\tan\beta$) value of 0.121 can be used. It can be noted that this power value is demonstrated to give good results for ML-OL and MH-OH soils used in this study.
- It is noted that upon increase in drying temperature, $\tan\beta$ values are getting smaller.
- Differences between the LL values obtained by one-point method and multi-point methods are insignificant (i.e. less than or equal to 2%), therefore one-point method can be considered as an alternative to multi-point test considering the benefits it provides.
- Determined $\tan\beta$ values in this study and previous studies of different researchers can be considered to be similar.
- As a general recommendation, it is observed during the tests and the data analysis process that, as also stated by Eden (1955), when using one-point method, using a blow count value near 25 increases the accuracy of the predicted LL.
- The results of this research support the conclusion given by the US Waterways (1949) and Eden (1955) that the average slope value appears to be independent of soil type and geologic origin.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the help provided by Mustafa Hüseyinpaşaoğlu from Turkish National Disaster Agency (AFAD)'s Rize office, Ozan Dadasbilge from GEOCON Company, undergraduate students Berkutay Binol and Isam Khasib for their help during site visits and taking soil sample from the sites.

REFERENCES

- ASTM D2487-11, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (unified soil classification system), ASTM International.
- ASTM D4318-10, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International.
- Atterberg, A., 1911, "Über die physikalische bodenuntei suchung and uber die plastizitat der tone int. mitt far bodenkunde", Berlin, 1.
- Casagrande, A., 1932, "Research on the Atterberg Limits of Soils", *Public Roads*, Vol.13, pp.121-136
- DIN 18 121 Teil 1, Teil 2, Wassergehalt,
- DIN 18 122 Teil 1, Teil 2, Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen),
- Eden, W. J., 1955, "Trial of One-Point Liquid Limit Method", Proceedings of Ninth Canadian Soil Mechanics Conference, Ottawa, December 15th to 16th 1955 (National Research Council for Canada), Appendix A. Eden, W. 1960. Use of a one-point liquid limit procedure. In Papers on Soils 1959 Meetings. ASTM International.
- Haigh, S. K., Vardanega, P. J., 2014, "Fundamental Basis of Single-point Liquid Limit Measurement Approaches", *Applied Clay Science*, Vol. 102, pp. 8-14
- Jain, L.C., Patwardhan, N.K., 1960, "Physical Properties of Soils from the Ganges Valley", *Journal of Scientific and Industrial Research (India)*, Vol. 19A(4), pp. 162-167.
- Jefferson, I., Rogers, C. D. F., 1998, "Liquid Limit and the Temperature Sensitivity of Clays", *Engineering Geology*, Vol. 49(2), pp. 95-109.
- Kanıt, R., Özer, M., Özdemir, Ş., 2006, "Effect of Sample Preparation Method on the Cone Penetration Liquid Limit Value (Örnek Hazırlama Yönteminin Koni Batma Likit Limit Değerine Etkisi)", *Journal of Selcuk-Technic*, Volume 5, Number: 3-2006.
- Kim, J. B., 1973, "A study on the General and One Point Method of Test for Liquid Limit Procedure", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 15(4), pp. 3153-3159.

- Mohan, D., Goel, R. K., 1958, "Rapid Methods of Determining Liquid Limit of Soils", *Journal of Scientific and Industrial Research (India)* A 17, pp.498-501
- Norman, L.E. J., 1959, "The One-Point Method of Determining the value of the Liquid Limit of a Soil", *Geotechnique*, Vol. 9 (1), pp.1-8
- Olmstead, F. R., Johnston, C. M., 1955, "Rapid Methods for Determining Liquid Limits of Soils", *Highway Research Board Bulletin*, (95).
- Orhan, M., Özer, M. 2006, "Comparison of Casagrande and Cone Penetration Methods in Determination of Liquid Limit of Natural Soils", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 21(4).
- Önalp, A., Kılıç, C., 1994, "One Point Method for Liquid Limit of Clays of Eastern Black Sea", *Proceedings of the 5th National Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference*, Ankara, 155-160. (in Turkish)
- Önalp, A., Arel, E., 2013, "Determination of Liquid Limit of Clays from European Section of İstanbul (Likit limitin tek nokta yöntemi ile ölçümü ve İstanbul killlerinde uygulama)", 5. *Geoteknik Sempozyumu*, 5-7 Aralık 2013, Çukurova Üniversitesi, Adana (in Turkish).
- Özer, M., 2008, "Effects of Sample Preparation on the Liquid Limit Determined by Cone Penetration Test", *Journal of Faculty of Engineering, Architecture, Gazi University*, Vol. 23, (3), pp.689-698.
- Roje-Bonacci, T., 2004, "Liquid Limit Determination of the High Plastic Clays by One-Point Method", *4th Slovenian Geotechnical Congress and 5th Sukljetovi days*, p. 199-204.
- Stanchi, S., Catoni, M., D'Amico, M. E., Falsone, G., Bonifacio, E., 2017, "Liquid and Plastic Limits of Clayey, Organic C-rich Mountain Soils: Role of Organic Matter and Mineralogy", *Catena*, Vol. 151, pp.238-246.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G., 1996, *Soil Mechanics In Engineering Practice*, John Wiley & Sons.
- US Waterways, 1949, *Simplification of the Liquid Limit Test Procedure*, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Technical Memorandum No. 3-286, 64 p.
- Uysal, A., 2004, *Adapazarı ve Civarında Likit Limit Deneyinde Kullanılacak β Katsayısının Bulunması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Zolfaghari, Z., Mosaddeghi, M. R., Ayoubi, S., Kelishadi, H., 2015, "Soil Atterberg Limits and Consistency Indices as Influenced by Land use and Slope Position in Western Iran", *Journal of Mountain Science*, Vol. 12(6), pp. 1471-1483.



ÇEKME BÖLGESİ LİFLİ BETON OLAN CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMER (GFRP) ve ÇELİK DONATILI ETRİYESİZ KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI ve HASAR ANALİZİ

¹Lokman GEMİ, ²Mehmet Alpaslan KÖROĞLU

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Meslek Yüksekokulu, KONYA

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KONYA

¹lgemi@konya.edu.tr, ²makoroglu@konya.edu.tr

(Geliş/Received: 10.03.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 04.05.2018)

ÖZ: Donatı çeliğinde meydana gelen korozyon, yapı elemanlarının önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Bu yüzden son yıllarda, Elyaf Takviyeli Polimerler (FRP), korozyon dayanımı yüksek olması sebebiyle, çelik donatılara alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, FRP donatıların yüksek dayanımı, hafif olması ve kimyasal etkilere karşı dayanımı özellikle endüstriyel alandaki kullanımını arttırmıştır. Bu çalışmada, çekme bölgesinde 5 cm yüksekliğinde polipropilen lif katkı betonun kullanıldığı çelik ve Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) donatılı etriyesiz kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiş ve devamında hasar analizleri yapılmıştır. Bu amaçla geleneksel çelik ve GFRP donatılı etriyesiz kirişler üretilmiş ve üç noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Eğilme testleri sonrasında eğilme dayanımları hesaplanarak yük-deplasman grafikleri oluşturulmuş, malzeme davranışındaki farklılıklar incelenmiştir. Deneylerden sonra GFRP donatılarda oluşan hasarlar incelenmiş ve hangi hasar modları olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda GFRP donatılı kirişlerin eğilme performanslarının büyük oranda arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hasar analizi, GFRP donatı, Kompozit beton, Kompozit kiriş,

Bending Behavior and Failure Analysis of GFRP and Steel Rebar Reinforced Beam Without Transverse Reinforcement with Fiber Reinforced Concrete in Tension Zone

ABSTRACT: Corrosion on steel reinforcement has been one of the most essential problems in construction materials. Therefore, in the last decade FRP re-bars have been widely used instead of traditional steel reinforcement because of Fiber Reinforced Polymers (FRP) having high corrosion resistance. FRP composites have attracted the attention of researchers in the field of industry due to high strength, lightweight and non-magnetic properties. In addition, high strength of FRP re-bars, being lightweight and chemical resistant properties have increased its use especially in industrial areas. In this study, bending behaviors of beams having steel and Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) re-bars with 5 cm high polypropylene fiber reinforced concrete in tensile zone were investigated experimentally and damage analysis were carried out. For this purpose, three-point bending tests were performed to conventional steel and GFRP reinforced beams. After bending tests, bending strengths were calculated and load-deflection graphs were created and differences in material behavior were investigated. After the tests, damages GFRP re-bars were investigated and the modes of fractures were determined. As a result of the studies, it is observed that GFRP reinforced beams has increased the bending performance significantly.

Key Words: Failure analysis, GFRP rebar, Composite concrete, Composite beam

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıda kesme, çekme, basınç, burulma vb. etkilere maruz kalan elemanlarda sadece basınca dayanıklı olan beton yetersiz kalmış, böylece süneklik sağlayan çelik ile bir arada kullanılarak kompozit malzeme olan betonarme elde edilmiştir. Betonun, havadaki bağıl nem, maruz kaldığı çevresel faktörler sonucu oluşan donma-çözünme olayları, deniz suyu veya yetersiz paspayı nedeniyle donatı çeliğinde meydana gelen korozyon, yapı sektörünün en önemli problemlerinden birini teşkil eder. Korozyon sonucu iki malzeme arasındaki aderans yok olmakta ve beton donatısız kalmaktadır. Bu problem sonucunda betonarme yapının ömrü kısalmakta ve zaman alan yüksek maliyetli onarım ve güçlendirme gerekmektedir. Böylece yapılarda meydana gelebilecek hasarlar veya ani göçmeler ile oluşacak can-mal kayıplarının önüne geçmek amacıyla korozyona dayanıklı malzeme arayışına gerek duyulmuştur.

GFRP donatı elemanı, bu soruna çözüm getirebilecek alternatif bir yapı malzemesidir. Donatıların içeriğinde bulunan cam elyaf kombinasyonları sonucu St37 çeliği mukavemetinin GFRP donatının içinde kullanılan elyafın türüne göre yaklaşık 3 katına ulaşan, kullanım kolaylığı bakımından hafif olan malzeme korozyona oldukça dayanıklıdır. Çelik donatılara kıyasla yüksek çekme dayanımına sahip olan malzeme aynı zamanda daha düşük bir elastisite modülüne sahiptir. Bu nedenle yük altında bulunan GFRP donatılı kirişlerde hasar sonucu önemli rijitlik kaybı ve buna bağlı olarak taşıyabileceği yük düzeyinde bile büyük deplasmanlar oluşur.

Özellikle son 15 yılda FRP donatılı betonarme elemanların eğilme etkisi altındaki davranışlarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır (Kara ve diğ., 2015; Kara ve diğ., 2016; Köroğlu, 2016; Köroğlu ve Özdöner, 2016). Bunun yanında FRP yapılar kolon güçlendirmesinde sargı etkisi de yapacak şekilde kullanılmaktadır (Gemi ve diğ., 2018). Fakat yapılan çalışmalar normal çelik donatılı kirişlerin kesme dayanımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında yeterli düzeyde bulunmamıştır. Bu bölümde FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme ve kesme dayanımına yönelik olarak yapılan çalışmalara yer verilecektir. Almusallam tarafından yapılan çalışmada, artımsal deformasyon yöntemine dayandırarak FRP donatılı betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların hesabı için numerik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir (Almusallam, 1997). Geliştirilen bu yöntemde, betonun basınç etkisi altındaki en uç lifinde oluşan şekil değiştirme değeri ve kesitte oluşan tarafsız eksen değeri iteratif bir yöntemle elde edilmektedir. Barris ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatılı betonarme kirişleri iki noktasal yük etkisi altında deneysel olarak yüklemeye tabi tutarak, gerek kirişlerdeki donatı oranının, gerekse etkili derinlik/kesit yüksekliği oranının davranışa olan etkisini araştırmıştır (Barris ve diğ., 2009). Bununla birlikte ACI 440-06 (2006)'nın önerdiği etkili atalet momentleri aracılığı ile elde edilen deplasman değerlerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Servis yükleri düzeyinde bu modellerin uygun sonuçlar verdiği fakat yükün taşıma gücüne yaklaştığı durumlarda sonuçlarda farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Kassem ve arkadaşları, karbon, cam ve aramid lif takviyeli polimer (CFRP, GFRP, AFRP) donatılı 24 adet betonarme kirişi deneysel olarak yüklemeye tabi tutmuşlar ve bu kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını ayrıntılı bir şekilde irdelemişlerdir. Bu çalışma sonunda deneysel olarak yüklemeye tabi tutulan tüm kirişlerin betonun ezilme birim kısalmasına erişince taşıma gücüne ulaştıkları gözlemlenmiştir (Kassem ve diğ., 2011). Gravina ve arkadaşı, FRP donatılı sürekli betonarme kirişlerin analizi için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemde uygulanan yüklerin etkisi altında eğilmeden dolayı oluşan çatlama modelleri ve aderans etkisinin ve beton örtü tabakasının davranış üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Gravina ve Smith, 2008). Betonarme kirişlerde eğilme donatısı olarak cam lifli polimer (GFRP) donatının kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Deneysel olarak yüklemeye tabi tutulan GFRP donatılı sürekli kirişlerden elde edilen değerleri aynı donatı tipi ve oranına sahip basit mesnetli kirişler ve normal çelik donatılı sürekli kirişlerden elde edilen değerlerle karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında karşılaştırılan parametreler kirişlerin kırılma şekli, çatlama boyutu ve şekli, donatılardaki şekil değiştirmeler ve yüklerin dağılımını içermektedir (Habeeb ve Ashour, 2008). Razaqpur ve arkadaşları, FRP donatılı betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların hesabı için moment eğrilik ilişkisine

dayandırdıkları analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemde ilk etapta tüm kirişi tamamen çatlamış olarak kabul etmekte ve daha sonra çatlamının oluşmadığı bölgelerde gerekli düzenlemeleri yaparak elde ettikleri eğrilik değerlerinden deplasmanları hesaplamaktadırlar (Razaqpur ve diğ., 2000).

GFRP donatılı basit mesnetli betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların elde edilmesi için ACI 440.1.R-06 (2006) tarafından önerilen denklemlerin uygulanabilirliğini araştırılmış ve önerilen bu denklemlerin iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir (Toutanji ve Saafi, 2000). Vijay ve arkadaşı, GFRP donatısı içeren betonarme kirişlerin taşıma gücü momentini hesaplamak için ACI 318-99 (1999) ve ACI 440.1.R-01 (2001) yönetmeliklerinde önerilen denklemlere benzer basit bir model geliştirmiş ve bu modelden elde ettikleri sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasından oldukça uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir (Vijay ve GangaRao, 2001). Kesit içerisinde GFRP ve çelik donatı içeren 12 adet hibrit betonarme kirişi deneysel olarak yüklemeye tabi tutulmuş ve eğilme etkisi altındaki davranışını ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışmadan hibrit betonarme kirişlerin FRP donatılı betonarme kirişlere göre daha sünek bir davranış gösterdiğini gözlemlenmiştir. FRP donatılı betonarme kirişe çelik donatı eklenmesiyle birlikte hibrit betonarme kirişlerin sünekliğinin önemli derecede arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Lou ve Xiang, 2010). Qu ve arkadaşları, hibrit GFRP-çelik donatı içeren betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Bununla birlikte hibrit kirişlerin yük-deplasman ilişkilerini ve taşıma gücü değerlerini elde etmek için teorik bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemle elde ettikleri deplasman ve taşıma gücü değerlerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve oldukça uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir (Qu ve diğ., 2009).

Razaqpur ve arkadaşları, FRP kayma donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı ve davranışının belirlenebilmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kirişleri farklı tipte FRP donatısına ve etriye aralığına sahip olacak şekilde oluşturmuşlardır. Tüm kirişler deneyden önce tasarlandığı gibi kesmeden dolayı taşıma gücüne erişmişlerdir. Deneysel olarak elde ettikleri kesme dayanımı değerlerini, birçok ülke yönetmelikleri tarafından önerilen denklemlerle karşılaştırmışlar ve gerek ACI 440.R1-06 gerekse CAN/CSA S6-06 tarafından önerilen modellerden elde ettikleri sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmadan ayrıca, FRP etriyelerinin normal çelik donatılı etriyeler gibi ilk çatlamadan sonra betonun kesme dayanımına olan katkısını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır (Razaqpur ve diğ., 2004).

El-Sayed ve arkadaşları, FRP boyuna donatılı yüksek dayanımlı narin ($a/d > 2.5$) betonarme kirişlerin dayanım ve davranışlarını incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında yüksek basınç dayanımına sahip CFRP ve GFRP donatılı betonarme kirişlerde betonun kesme dayanımına olan katkısı irdelenmiştir. Deneysel olarak elde ettikleri kesme dayanımı değerlerini ACI 440.1R-03 tarafından önerilen denklemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma ile beton basınç dayanımı arttıkça kesme dayanımının arttığı sonucuna ulaşmışlardır (El-Sayed ve diğ., 2006). Betonun kesme dayanımına olan katkısını belirlemek için farklı boyuna donatı oranına sahip, GFRP donatılı kayma donatısız betonarme kirişleri, iki noktasal yük etkisi altında deneysel olarak teste tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonuçlarından tüm kirişlerin diyagonal çekme kırılması nedeniyle taşıma gücüne eriştikleri gözlemlenmiştir. Deneysel olarak elde ettikleri kesme dayanımı değerlerini, gerek normal çelik donatılı kirişlerin kesme dayanımı için verilen modeller, gerekse literatürde GFRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için önerilen modellerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca kesme dayanımının GFRP boyuna donatısından bağımsız olduğunu ifade etmişlerdir (Joseph, 2000).

GFRP kompozit malzemelerde oluşan hasarın incelenmesi ve hangi hasar modlarının oluştuğunun tespit edilmesi yeni yapılacak çalışmaların tasarımları için oldukça önemlidir (Tarakçıoğlu ve diğ., 2005). Gemi ve arkadaşları birçok çalışmalarında GFRP kompozit malzemelerin hasar modlarını belirlemiş ve hasar analizlerini yapmışlardır (Gemi ve diğ., 2016; Gemi ve diğ., 2017; Gemi, 2018; Morkavuk ve diğ., 2018). GFRP'lerin kullanıldığı yerlere ve üzerlerine gelen yüklere göre optimum tasarımların elde edilebilmesi için bu işlemin önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmada GFRP donatılı etriyesiz ve çelik donatılı etriyesiz betonarme kirişlerin eğilme dayanımları incelenmiş ve kirişin çekme bölgesinde kullanılacak lifli betonun davranışa olan etkisi incelenmiştir. Bütün kirişlerde aynı beton kullanılmıştır. Çalışmada kirişler orta noktasından yüklenerek birbirleri ile hasar durumları ve davranışları kıyaslanmıştır.

MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

Kullanılan Betonun Özellikleri (Properties of Used Concrete)

Bu çalışmada üretilen kirişlerde birisi normal beton diğeri de polipropilen lifli olmak üzere 2 çeşit beton kullanılmıştır. Numunelerin üretiminde kullanılan beton karışımında hazır beton tercih edilmiştir. Beton sınıfı C20/25 olup döküm şekli pompalı olmakla beraber CEM II 42,5 çimento seçilmiştir. Katkı maddesi olarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) için hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı olan Levelcon KYB 100 kullanılmıştır. Kıvam sınıfı S3, maksimum agrega dane çapı 22,4 mm olarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı 2412 ve su/çimento oranının 0,55 olarak tasarlanmıştır. Numuneler dört farklı kiriş olarak üretilmiştir. Birincisi referans olarak alınmış ve polipropilen lif (forto ferro) katkısı kullanılmadan çekme bölgesine çelik donatı konularak üretilmiştir. İkincisi ağırlıkça %0,2 polipropilen lif katkısı ile çekme bölgesine çelik donatı konularak, üçüncüsü polipropilen lif katkısı kullanılmadan çekme bölgesine GFRP donatı konularak, dördüncüsü % 0,2 polipropilen lif katkısı ile çekme bölgesine GFRP donatı konularak üretilmiştir. Bunun dışında küp numuneler üzerinde basınç dayanımı, silindirik numuneler üzerinde basınç tayini, kiriş numuneler üzerinde ise eğilme deneyi tayini yapılmıştır. Numunelerin üretilmesi aşamasında betonun yerleşmesi ve betonu sıkıştırarak hava boşluklarını dışarı atmak amacıyla vibratör kullanılmıştır. Numuneler üretildikten iki gün sonra kalıptan çıkarılmış ve günde üç defa uygun şekilde 28 gün boyunca sulanmıştır. Sipariş edilen hazır beton üzerinde yapılan çökme deneyinden elde edilen sonuç Şekil 1'deki gibi ölçülmüş 15 cm olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Hazır beton üzerinde yapılan çökme deneyi

Figure 1. Slump test on ready mixed concrete

Sertleşmiş Beton Deneyleri (Hardened Concrete Tests)

Betonun basınç dayanımı; aksenal basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (aksenal basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme) olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasında beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart silindirik veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindirik veya küp

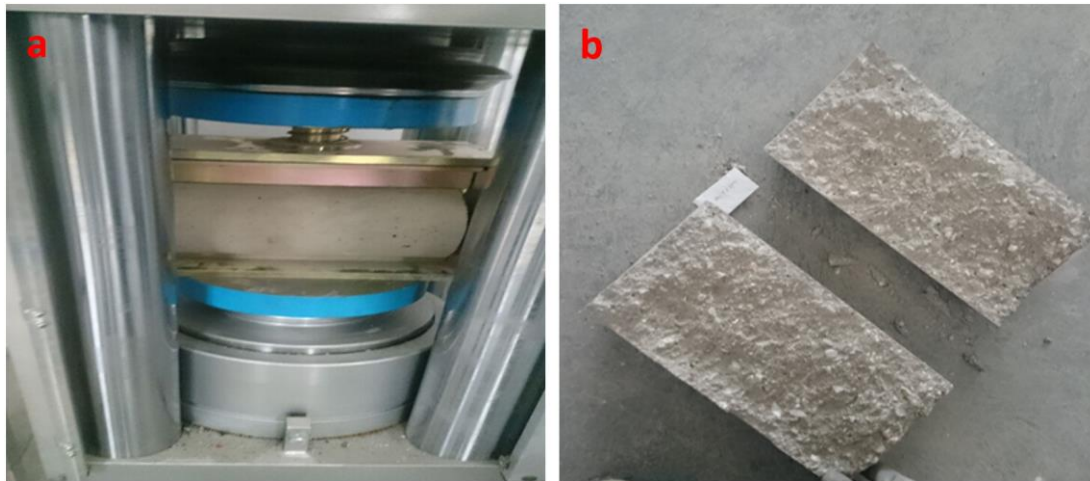
şekil kalıplara, beton standartlarının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplarından çıkartılmaktadır. Kalıplarından çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (genellikle betonun yaşı 28. güne gelinceye kadar) beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.

Beton zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir. Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS EN 12390-3 (2010)'e göre bu değer 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olmalıdır. Beton numunelerin kırılması işlemi Şekil 2'de görüldüğü gibi, yükleme hızı 0,5 MPa/s seçilerek yapılmıştır.



Şekil 2. a) Basınç dayanımı için küp numunesinin cihaza yerleşimi b) deney sonrası numunenin hasar görünüşü
Figure 2. a- The sample of the cube sample for pressure resistance b- damage appearance of sample after test

Yarmada Çekme Dayanımı; dolaylı çekme yükleri altında betonun çekme dayanımının elde edilebilmesini belirleyen deney yöntemi Türk standardı TS EN 12390-6 standardına göre yapılmıştır. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılıncaya kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin kırılma tarzı, Şekil 3b'de görüldüğü gibi numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir. Hazır beton basınç dayanımı deneylerinin sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de toplu halde verilmiştir.



Şekil 3. a) Betonun yarmada çekme deneyi b) deney sonrası numunenin hasar görünüşü
Figure 3. a- Split-tensile test of concrete b- damage appearance of sample after test

Çizelge 1. Hazır beton basınç dayanımı deneylerinin sonuçları

Table 1. Results of ready-mixed concrete compression strength tests

Numuneler	Boyut	Yük (kN)	Dayanım (N/mm ²)
1	Küp-10x10	283.3	28.33
2	Küp-10x10	275.6	27.56
3	Küp-15x15	574.1	25.51
4	Küp-15x15	600.2	26.67
5	Küp-15x15	605.4	26.91
6	Küp-15x15	622.1	27.64
7	Küp-15x15	614.9	27.32
8	Küp-15x15	607.0	26.97
9	Silindir-15x30	283.6	16.04
10	Silindir-15x30	332.0	18.78
11	Silindir-15x30	273.1	15.45

Çizelge 2. Hazır beton çekme dayanımı deneylerinin sonuçları

Table 2. Results of ready-mixed concrete tensile strength tests

Numuneler	Boyut	Yük (kN)	Dayanım (N/mm ²)
1 (Hazır)	Silindir-15x30	135.1	1.91
2 (Lifli)	Silindir-10x20	125.8	4.00
3 (Lifli)	Silindir-10x20	120.5	3.83

Eğilme Dayanımının (Eğilmede Çekme Dayanımı) Belirlenmesi (Determination of Bending Strength)

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi ile ilgili deneyler Türk standardı TS EN 12390-5'e göre yapılmıştır. Betonarme kirişler üzerinde eğilme deneyi 40 cm uzunluğundaki kirişin mesnet noktalarına kenardan 5 cm boşluk bırakılarak yerleştirilmiş ve üzerindeki yükleme aparatı ile yükün kirişe aktarılması 3 nokta ve 4 nokta deneyleri ile sağlanmıştır. Şekil 4 ve Çizelge 3'de eğilmede çekme dayanımı ölçüm deney düzeneği ve deneylerin sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. Eğilmede çekme dayanımı ölçüm deney düzeneği

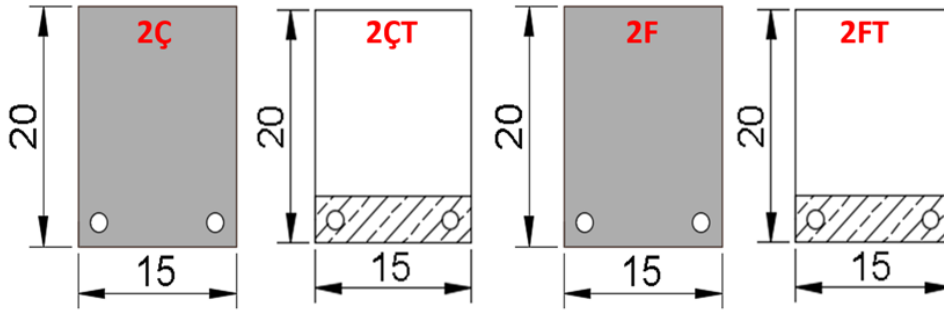
Figure 4. Bending tensile strength measurement test setup

Çizelge 3. Hazır betonun eğilmede çekme dayanımı deneylerinin sonuçları*Table 3.* Results of tensile strength tests of ready-mixed concrete

Numuneler	Boyut	Yük (kN)	Dayanım (N/mm ²)
1 (3 nokta)	Prizma 40x10x10	10.60	2.98
2 (4 nokta)	Prizma 40x10x10	13.24	3.97
3 (Lifli 4 nokta)	Prizma 40x10x10	11.58	3.47

Kirişlerin Özellikleri (Properties of Beams)

Çalışmada incelenmek üzere dört adet 15 x 20 x 210 cm boyutlarında test kirişi üretilmiştir. Kirişlerin geometrik özellikleri ve tipik donatı yerleşimi Şekil 5'te verilmiştir. Kirişlerden bir tanesi diğer kirişlerle karşılaştırmak amacıyla (referans numunesi olarak) lifsiz ve S420 çeliği kullanılarak imal edilmiştir. Numuneler 2Ç, 2F, 2ÇT ve 2FT şeklinde kodlanmıştır. Bunların anlamı 2Ç; çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik çelik donatı, 2F; çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik GFRP donatı, 2ÇT; çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik çelik donatı ve çekme bölgesine 5 cm polipropilen lif takviyesi, 2FT; çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik GFRP donatı ve çekme bölgesine 5 cm polipropilen lif takviyesi şeklindedir. Benzer isimlendirmeler tüm kirişlere uygulanmıştır. Çalışmada 5 cm polipropilen lif takviyesi yüksekliği kiriş yüksekliğinin dörtte bir oranında tarafsız eksenin altında kalacak şekilde seçilmiştir. Donatıların mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Kirişlerde GFRP donatılı betonun sadece eğilme davranışının gözlenebilmesi için basınç donatısı ve kesme donatısı (etriye) kullanılmamıştır.

**Şekil 5.** Kirişlerin geometrik özellikleri ve tipik donatı yerleşimi*Figure 5.* Geometric properties of beams and typical reinforcement settlement**Çizelge 4.** Donatıların mekanik özellikleri*Table 4.* Mechanical properties of rebars

Numune Kodu	2Ç	2ÇT	2F	2FT
Donatı Türü	Çelik	Çelik	GFRP	GFRP
Akma Dayanımı (MPa)	435	435	692	692
Kopma Dayanımı (MPa)	560	560	-	-

Test Düzenegi (Test Set-up)

Kirişlerin eğilme testleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi Yapı Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 6'da resmi verilen üç noktalı eğilme test düzenegi ile yapılmıştır. Yer değiştirme kontrollü olan sistem 500

kN'luk hidrolik yükleme kapasitesine sahiptir. Kirişin düşey yerdeğiştirmesini ölçmek için bütün kirişlerde açıklık ortasında potansiyometrik cetvel kullanılmıştır.

Hidrolik yükleme ünitesinden gelen yük kiriş ortasına 50 mm kalınlığında 10 mm yüksekliğinde bir plaka yardımı ile aktarılmıştır. Kirişe uygulanan bu yük, yükleme plakasının üzerindeki yük hücresi (load cell) yardımı ile okunmuştur. Elde edilen yerdeğiştirme ve yük verileri anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



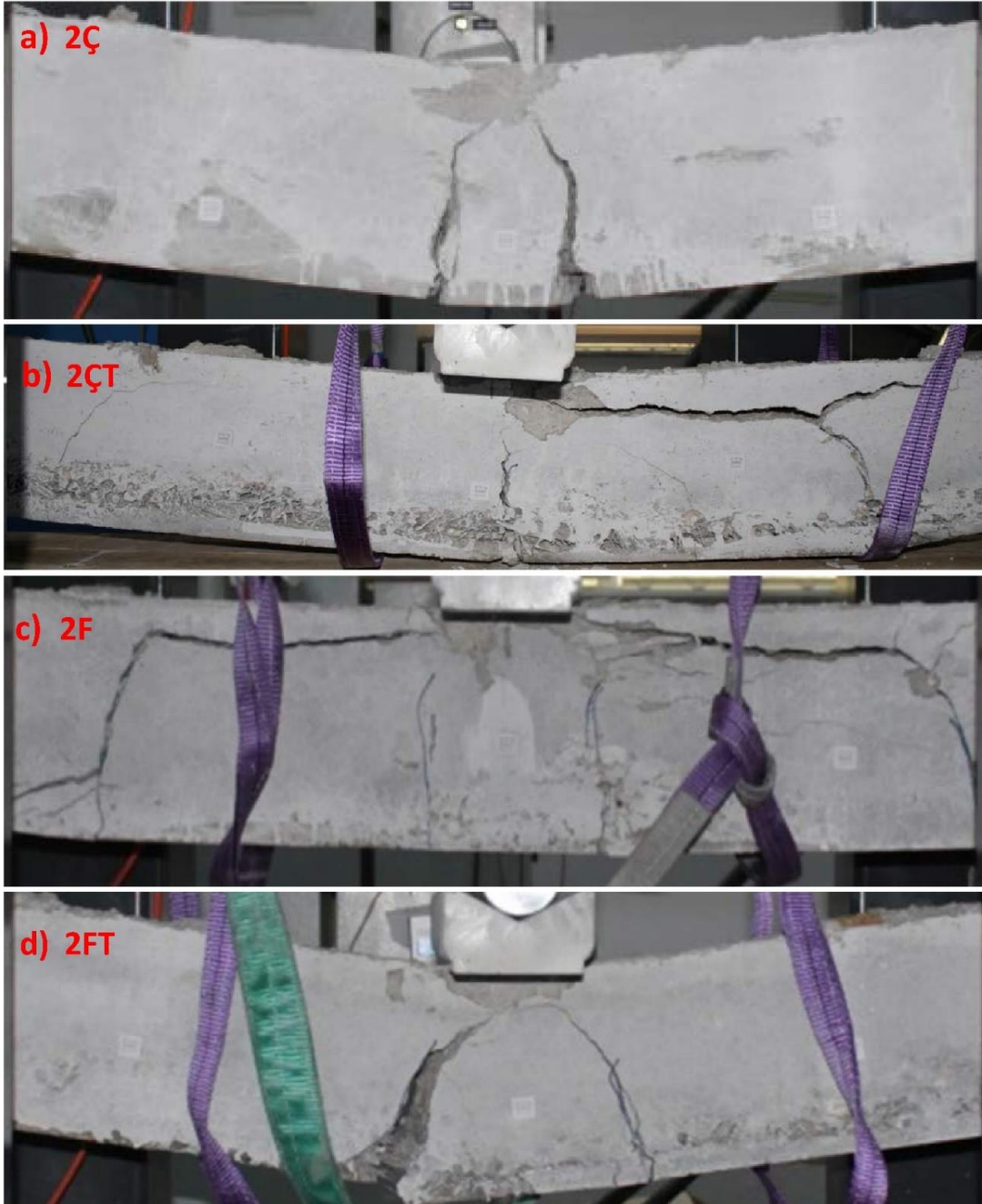
Şekil 6. Üç noktalı eğilme test düzeneği

Figure 6. Three point bending test set-up

DENEYSEL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI (EXPERIMENTAL STUDY RESULTS)

Bütün kiriş numunelerinin deney sonu kırılma fotoğrafları Şekil 7'de verilmiştir. Kırılma şekilleri incelendiğinde çelik donatılı kirişlerde sünek eğilme kırılması olduğu, GFRP donatılı kirişlerde ise gevrek kesmeden kırılan etriyesiz bir betonarme kiriş davranışı olduğu gözlemlenmiştir. Deney esnasında alınan kayıtlar ve Şekil 8 birlikte incelendiğinde; çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik çelik donatı bulunan 2Ç kiriş numunesinde ilk çatlak 1886 N yük mertebelerinde gözlemlenmiştir. 2Ç kirişinde ikinci çatlak 7500 N yük seviyelerinde gözlemlenmiştir. Yük seviyesi 14500 N seviyelerine geldiğinde kiriş içindeki donatı akmış ve orta nokta deplasmanı 9 mm olarak ölçülmüştür. Bu noktadan sonra yük taşıma kapasitesinde donatının pekleşmesinden dolayı bir miktar daha artış olmuş ve kiriş sünek davranarak deplasman yapmaya devam etmiştir. Kiriş üzerinde çok fazla çatlak meydana gelmemiş ve oluşan çatlaklar genişleyerek 14200 N yük mertebelerinde yaklaşık 171 mm orta nokta deplasmanı yaparak taşıma kapasitesine ulaşmıştır (Şekil 7a).

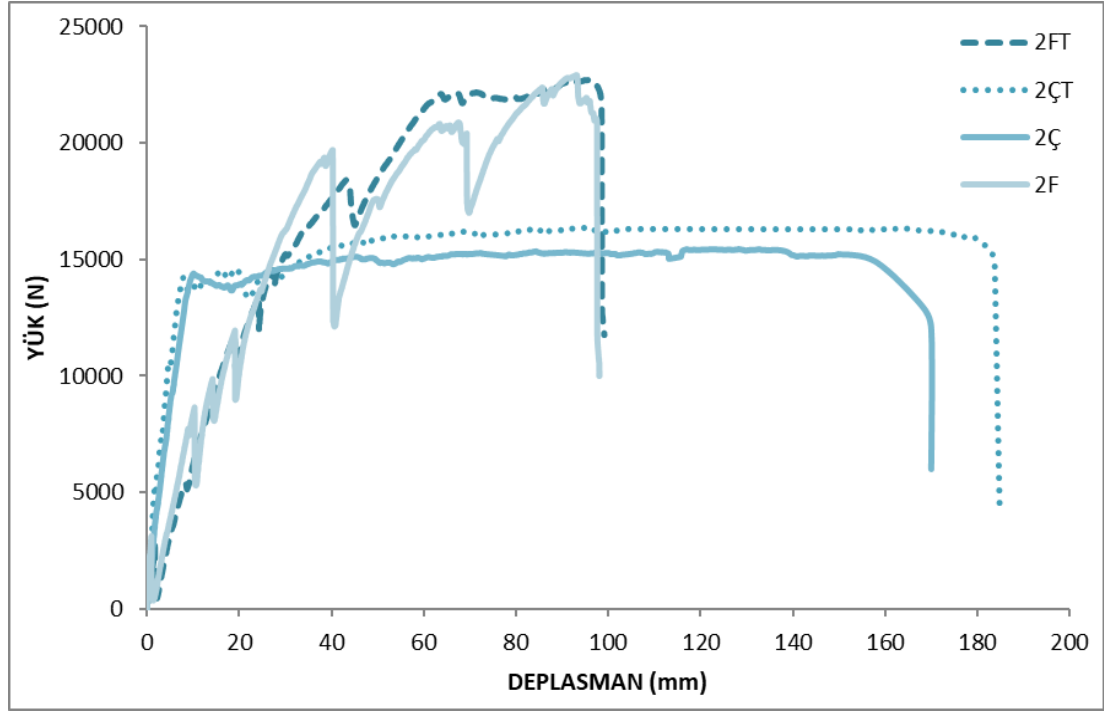
Çekme bölgesinde 2 adet 8 mm'lik çelik donatı bulunan 2Ç kiriş ile aynı özelliklere sahip 2ÇT numunesinde 5 cm yüksekliğinde lifli beton vardır. 2ÇT kirişindeki ilk çatlak 4094 N seviyelerinde ve 1.9 mm orta nokta deplasmanında oluşmuştur. 2ÇT kirişi çekme bölgesinde kullanılan lifli betonun da katkısıyla akma dayanımı 14400 N seviyelerine kadar çıkmış ve 15300 N yük seviyelerinde 186 mm orta nokta deplasmanı yaparak göçmüştür (Şekil 7b).



Şekil 7. Test numunelerinin deney sonrası göçme durumları

Figure 7. Post-test collapse cases of test specimens

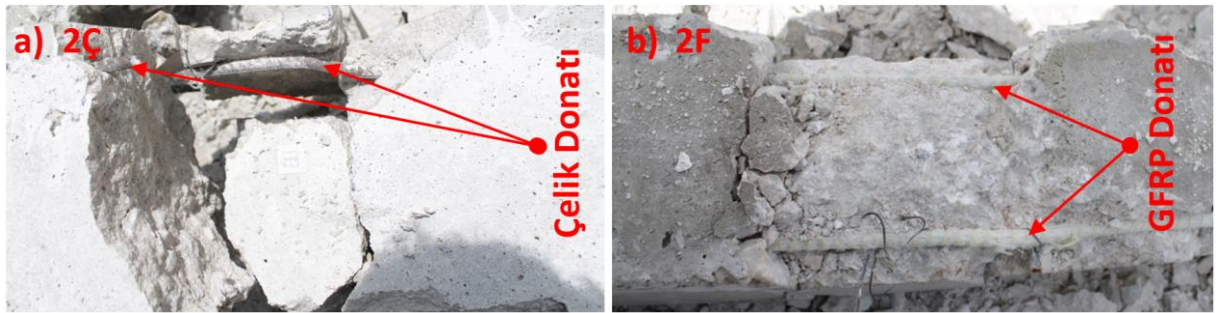
2F kiriş numunesinde çekme bölgesinde 2 adet 8 mm çapında GFRP donatı kullanılmıştır. 2F numunesinde betonda ilk çatlak 2706 N yük seviyelerinde 9 mm orta nokta deplasmanı seviyelerinde olmuştur. GFRP donatılı 2F kirişinde ilk çatlaklar kiriş ortasında meydana gelmiş ancak 10000 N yük seviyesinde çatlaklar yanlarda da meydana gelmiştir. 19000 N'da GFRP'lerden ses gelmeye başlamıştır. Devamında 20000 N'da basınç bölgesinde ezilme gözlemlenmiş ve deplasman 67,9 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme kaldırıldığında kirişte kalıcı deformasyonun çok az olduğu gözlemlenmiş eski haline geri dönmüştür. Bu kirişte donatı sıyrılmalarıyla beraber GFRP donatılarda yarıma hasarı meydana gelmiştir (Şekil 7c). Çekme bölgesinde lifli betonun kullanıldığı 2FT numunesinde betonda ilk çatlak 5050 N yük mertebesinde 8 mm orta nokta deplasmanında olmuştur. 2FT numunesi 22000 N yük mertebesinde 99 mm orta nokta deplasmanı yaparak göçmüştür.



Şekil 8. Test numunelerinin yük-deplasman grafiği

Figure 8. Load-displacement graph of test specimens

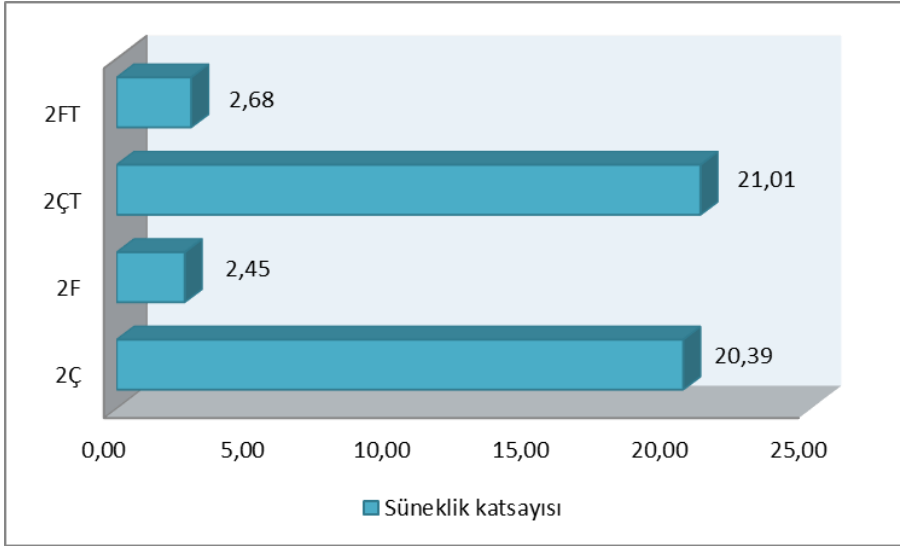
Şekil 9’da donatılarda meydana gelen hasarlar incelendiğinde çelik donatının akarak şekil değiştirdiği, GFRP donatının liflerinin yarılarak ve koparak kiriş yükünü taşıyamaz hale geldiği görülmüştür. GFRP donatılı numunelerde yüklemeye devam ettikçe donatının sıyrılarak ani yük boşalmalarına sebep olduğu gözlemlenmiş buna rağmen yük taşıma kapasitesindeki artış devam etmiştir. Maksimum deplasman değerlerinde GFRP çubuklarda yarıлма hasarı ve akabinde elyafların kopması ile çökme gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Test numunelerinin deney sonrası donatı hasarları

Figure 9. Rebars damage of test specimens after test

Kirişler için deplasman süneklik katsayıları Yük deplasman grafiğinden hesaplanmış ve Süneklik katsayısı=Kopma Birim Deformasyon / Akma Birim Deformasyon bölünmesi ile bulunmuştur. Kirişlere ait süneklik katsayısı grafiği Şekil 10’da verilmiştir. Şekil 10’da gösterildiği üzere kirişlerin süneklik katsayıları karşılaştırıldığında çelik donatılı kirişlerin daha sünek olduğu görülmüştür. Kirişler ayrı ayrı karşılaştırılınca lifli kirişlerin sünekliği lifsiz olan kirişlere nazaran daha fazladır. Bu sonuca göre polipropilen liflerin sünekliği artırdığı sonucuna varılabilir.

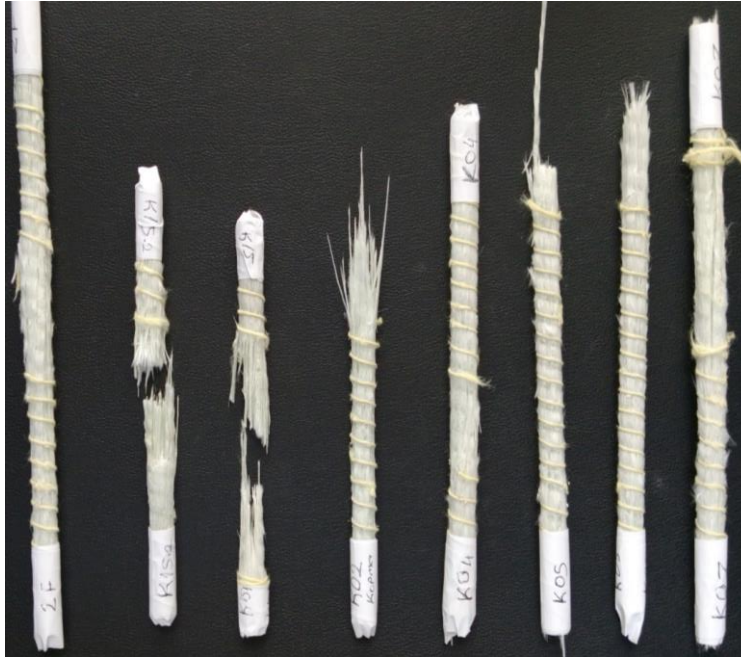


Şekil 10. Kirişlerin süneklik düzeyleri

Figure 10. Ductility levels of beams

GFRP Donatı Hasar Analizi (GFRP Rebars Damage Analysis)

Deney sonrası donatılarda oluşan hasarları incelemek için donatılar betonun içerisinde titizlikle çıkartılmıştır. Üç noktadan eğme deney sonrası GFRP donatılarda oluşan hasarların genel görünüşleri Şekil 11’de verilmiştir. GFRP’lerde oluşan sonuç hasarları incelendiğinde, eğilmeden kaynaklı olarak elyaf doğrultusunda yarıma çatlakları ve kesit yönünde elyaf kopması şeklinde oluştuğu görülmüştür.

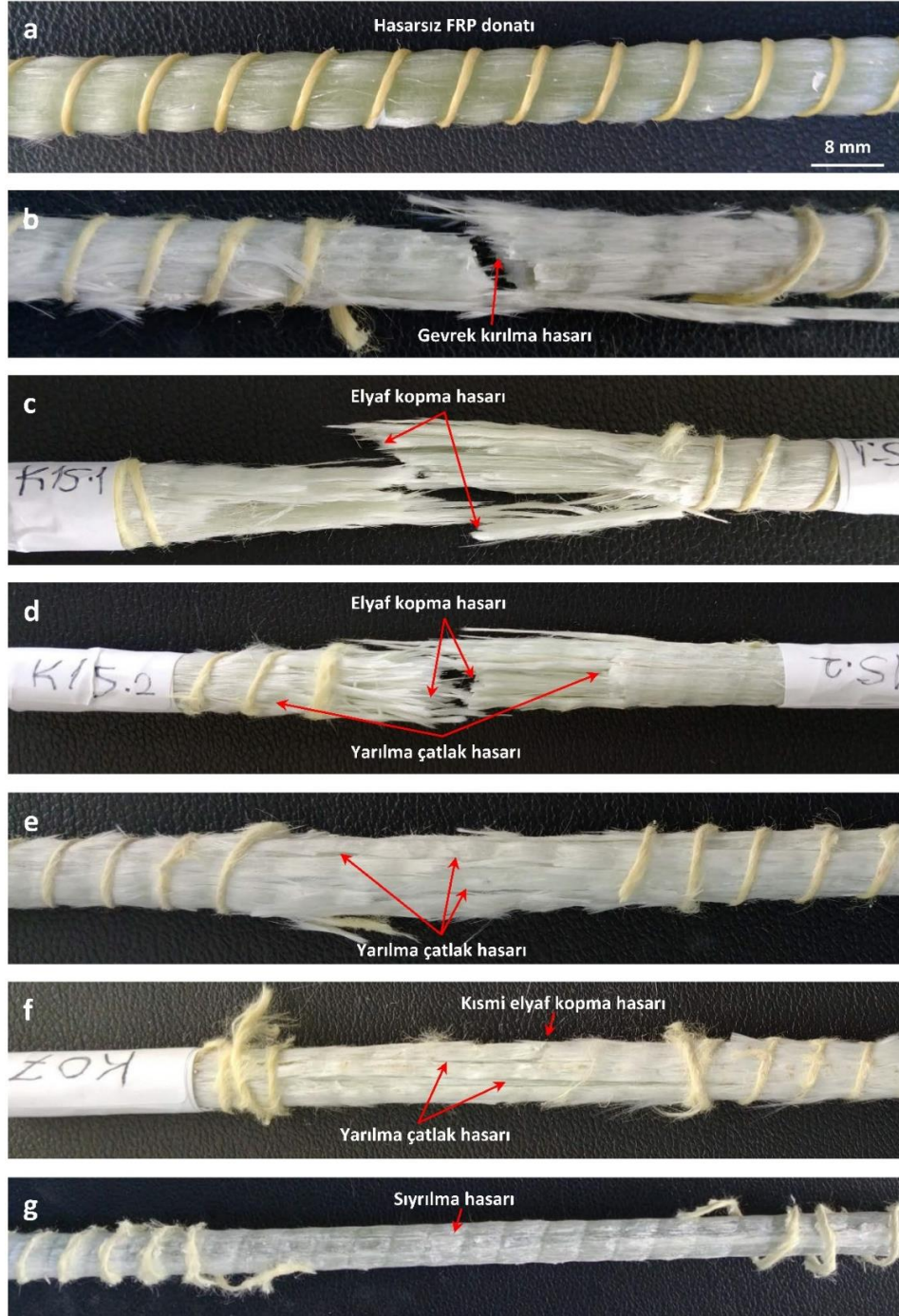


Şekil 11. GFRP donatılarda oluşan sonuç hasarların genel görünüşü

Figure 11. Overall appearance of the resulting damage to GFRP rebars

Şekil 12’de hasarsız numune ve oluşan hasar modlarının belirlendiği hasarlı numuneler verilmiştir. Şekil 12b incelendiğinde GFRP de herhangi bir yarıma olmaksızın yaklaşık 45° açıyla gevrek bir kırılma hasarının olduğu görülmüştür. Şekil 12c-d de eğilmeden kaynaklı elyaf doğrultusunda yarıma

çatlaklarının oluşumu sonrasında elyaflarda dağınık bir kopma hasarı gözlenmiştir. Şekil 12e-f incelendiğinde elyaf doğrultusunda yarıma çatlaklarının yoğun olarak görüldüğü ve bunların yanında kısmi elyaf kopmalarının olduğu tespit edilmiştir. Elyaf doğrultusunda yarıma çatlakları şeklinde sonuç hasarı oluşan beton kiriş numunelerde yükün kalkması sonrasında azda olsa eski haline geri gelme gerçekleşmiştir. Şekil 12g incelendiğinde GFRP'de elyaf doğrultusunda yarıma çatlakları ve gevrek kırılma olmaksızın sıyrılmaya hasarının meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 12. GFRP donatılarda hasarlı numuneler ve oluşan hasar modları
Figure 12. Damaged samples in GFRP rebars and damage modes

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Çekme bölgesinde 5 cm yüksekliğinde polipropilen lif katkılı betonun kullanıldığı çelik ve GFRP donatılı etriyesiz kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışının ve hasar analizlerinin incelendiği bu çalışmada 4 adet deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmada öne çıkan bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Yapılan kiriş eğilme deneylerinde içerisinde yalnızca çelik donatı bulunan kiriş (2Ç) ve çekme bölgesinde hem çelik hem lif (2ÇT: Çekme bölgesinde 2 adet çelik donatı ve çekme bölgesinde 5 cm lif takviyeli) olan kirişlerin sünek bir davranış sergilediği görülmüştür.
- Donatı olarak yalnızca GFRP kullanılan kiriş numunesi (2F) ve çekme bölgesinde hem GFRP hem de lif olan kiriş (2FT: Çekme bölgesinde 2 adet GFRP donatı ve çekme bölgesinde 5 cm lif takviyeli kiriş) numunelerinde ise farklı davranışlar gözlemlenmiştir. GFRP gevrek bir malzeme niteliğine sahip olduğundan gevrek kırılmalar görülmüş olup daha geniş çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.
- GFRP donatılı kiriş numunelerinde eğilme çatlakları ilk yükleme aşamasında olmasına rağmen, etriyesiz ve kesme dayanımı yetersiz olan kiriş denge üstü donatılı bir betonarme kiriş davranışı sergileyerek büyük ve geniş kesme çatlaklarının mesnet bölgelerine doğru oluşması suretiyle ani kırılma gerçekleştirmiştir.
- GFRP donatılı kiriş numunelerinin gevrek ve aniden kırılmasına rağmen çelik donatılı kirişlerden daha fazla yük taşıdığı görülmüştür.
- Aynı kesit boyutları ve aynı beton sınıfından oluşan kirişlerin çekme bölgesinde lifli beton kullanımının, dayanımı artırdığı, oluşan çatlak genişliğini ve çatlak sayısını azalttığı, yükleme sonucu meydana gelen deplasmanı azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı çekme donatısı oranına sahip kirişlerde çekme bölgesinde lifli beton bulunduran kiriş, lifli beton bulundurmayan kirişe kıyasla daha fazla yük ve moment taşıma kapasitesine sahiptir.
- GFRP donatılı kiriş numunelerinin orta nokta deplasmanının 100 mm'ye kadar çıktığı görülmüş ve GFRP donatılı kirişlerde her hasardan sonra kayda değer rijitlik kaybı olduğu tespit edilmiştir.
- GFRP donatılı kiriş numunelerinde eğilme çatlakları ilk yükleme aşamasında olmasına rağmen, etriyesiz ve kesme dayanımı yetersiz olan kiriş denge üstü donatılı bir betonarme kiriş davranışı sergileyerek büyük ve geniş kesme çatlaklarının mesnet bölgelerine doğru oluşması suretiyle ani kırılma gerçekleştirmiştir. GFRP donatı miktarı azaltıldığında yani denge altı donatılı kirişte sünek eğilme kırılması olacağı literatürden bilinmektedir.
- GFRP'lerde oluşan sonuç hasarları incelendiğinde, eğilmeden kaynaklı olarak elyaf doğrultusunda yarıma çatlakları ve kesit yönünde elyaf kopması şeklinde oluştuğu görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Almusallam, T. H., 1997, "Analytical Prediction of Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced by FRP Bars", *Journal of Composite Materials*, Cilt 3, Sayı 7, ss 640-657.
- Barris, C., Torres, L., Turon, A., Baena, M., Catalan, A., 2009, "An Experimental Study of the Flexural Behaviour of GFRP RC Beams and Comparison with Prediction Models", *Composite Structures*, Cilt 91, Sayı 3, ss. 286-295.
- El-Sayed, A. K., El-Salakawy, E. F., Benmokrane, B., 2006, "Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", *ACI Structural Journal*, Cilt 103, Sayı 3, ss. 383.
- Gemi, L., Kara, M., Avci, A., 2016, "Low Velocity Impact Response of Prestressed Functionally Graded Hybrid Pipes" *Composites Part B: Engineering*, Cilt 106, ss. 154-163.
- Gemi, L., Şahin, Ö. S., Akdemir, A., 2017, "Experimental Investigation of Fatigue Damage Formation of Hybrid Pipes Subjected to Impact Loading under Internal Pre-stress", *Composites Part B: Engineering*, Cilt 119, ss. 196-205.

- Gemi, L., Köroğlu, M. A., Ashour, A., 2017, "Experimental Study on Compressive Behavior and Failure Analysis of Composite Concrete Confined by Glass/epoxy $\pm 55^\circ$ Filament Wound Pipes", *Composite Structures*, Cilt 187, ss. 157-168.
- Gemi, L., 2018. "Investigation of the Effect of Stacking Sequence on Low Velocity Impact Response and Damage Formation in Hybrid Composite Pipes under Internal Pressure. A comparative study", *Composites Part B: Engineering*, Cilt 153, ss. 217-232.
- Gravina, R. J., Smith, S. T., 2008, "Flexural Behaviour of Indeterminate Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", *Engineering Structures*, Cilt 30, Sayı 9, ss. 2370-2380.
- Habeeb, M., Ashour, A. F., 2008, "Flexural Behavior of Continuous GFRP Reinforced Concrete Beams", *Journal of Composites for Construction*, Cilt 12, Sayı 2, ss. 115-124.
- Joseph, E., 2000, "A Prospective, Randomized Trial of Vacuum-Assisted Closure Versus Standard Therapy of Chronic Non-Healing Wounds", *Wounds*, Cilt 12, ss. 60-67.
- Kara, I. F., Ashour, A. F., Köroğlu, M. A., 2015, "Flexural behavior of hybrid FRP/steel reinforced concrete beams", *Composite Structures*, Cilt 129, ss. 111-121.
- Kara, I. F., Ashour, A. F., Köroğlu, M. A., 2016, "Flexural Performance of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Prestressed Near-Surface-Mounted FRP Reinforcements", *Composites Part B: Engineering*, Cilt 91, ss. 371-383.
- Kassem, C., Farghaly, A. S., Benmokrane, B., 2011, "Evaluation of Flexural Behavior and Serviceability Performance of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", *Journal of Composites for Construction*, Cilt 15, Sayı 5, ss. 682-695.
- Köroğlu, M. A., 2016, "Mechanical Characterization of Recycled Tires in Concrete", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 4, Sayı 4, ss. 330-336.
- Köroğlu, M. A., Özdöner, N., 2016, "Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete", *Paper presented at the Key Engineering Materials*, ss. 59-63.
- Lou, T., Xiang, Y., 2010, "Numerical Analysis of Second-Order Effects of Externally Prestressed Concrete Beams", *Structural Engineering and Mechanics*, Cilt 35, Sayı 5, ss. 631-643.
- Morkavuk, S., Köklü, U., Bağcı, M., Gemi, L., 2018, "Cryogenic Machining of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Composites and the Effects of Cryogenic Treatment on Tensile Properties: A Comparative Study", *Composites Part B: Engineering*, Cilt 147, ss. 1-11.
- Qu, W., Zhang, X., Huang, H., 2009, "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Hybrid (GFRP and Steel) Bars", *Journal of Composites for Construction*, Cilt 13, Sayı 5, ss. 350-359.
- Razaqpur, A., Svecova, D., Cheung, M. S., 2000, "Rational Method for Calculating Deflection of Fiber-Reinforced Polymer Reinforced Beams", *Structural Journal*, Cilt 97, Sayı 1, ss. 175-184.
- Razaqpur, A. G., Isgor, B. O., Greenaway, S., Selley, A., 2004, "Concrete Contribution to the Shear Resistance of Fiber Reinforced Polymer Reinforced Concrete Members", *Journal of Composites for Construction*, Cilt 8, Sayı 5, ss. 452-460.
- Tarakçioğlu, N., Gemi, L., Yapıcı, A., 2005, "Fatigue Failure Behavior of Glass/epoxy $\pm 55^\circ$ Filament Wound Pipes under Internal Pressure", *Composites Science and Technology*, Cilt 65(3-4), ss. 703-708.
- Toutanji, H. A., Saafi, M., 2000, "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars", *ACI Structural Journal*, Cilt 97, Sayı 5, ss. 712-719.
- Vijay, P., GangaRao, H. V., 2001, "Bending Behavior and Deformability of Glass Fiber-Reinforced Polymer Reinforced Concrete Members", *Structural Journal*, Cilt 98, Sayı 6, ss. 834-842.



FİKİR MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİ, YAKLAŞIMLAR, YÖNTEMLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

¹Barış ÖZYURT, ²Muhammet Ali AKCAYOL

¹Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilgisayar Bilimleri A.B.D. ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ANKARA

¹b.ozyurt@gmail.com, ²akcayol@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 23.10.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 08.04.2018)

ÖZ: Günümüzde Web uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte bireylerin fikir, düşünce ve duygularını ifade ettikleri platformların kullanımı büyük bir hızla artmıştır. Bu platformlarda bireylerden alınmış veriler çok büyük boyutlara ulaşmaktadır. Bu verilerin manuel olarak analiz edilmesi veya sınıflandırılması mümkün olmadığından otomatik analiz edilmesi ve sınıflandırılması zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle fikir madenciliği ve duygu analizine yönelik araştırmalar son yıllarda giderek artmaya başlamıştır. Bu makalede fikir madenciliği ve duygu analizi konusu detaylarıyla, uygulanan yöntemlerle birlikte anlatılmış, bu alanda yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve literatür taraması şeklinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Duygu analizi, Fikir madenciliği

A Survey On Sentiment Analysis And Opinion Mining, Methods And Approaches

ABSTRACT: In recent years, with the widespread usage of Web applications, the platforms where people express their opinions and ideas are continuously increasing. There are too much text data containing people's ideas in these platforms. Manual analysis and classification of these text data is not possible, so there is need to automatically analyze and classify them. So opinion mining and sentiment analysis works have been popular in recent years. In this article, opinion mining and sentiment analysis subject is comprehensively described with details. Also the works done in the literature about this subject are comprehensively analyzed and presented in the article as literature survey.

Key Words: Sentiment analysis, Opinion mining

GİRİŞ (INTRODUCTION)

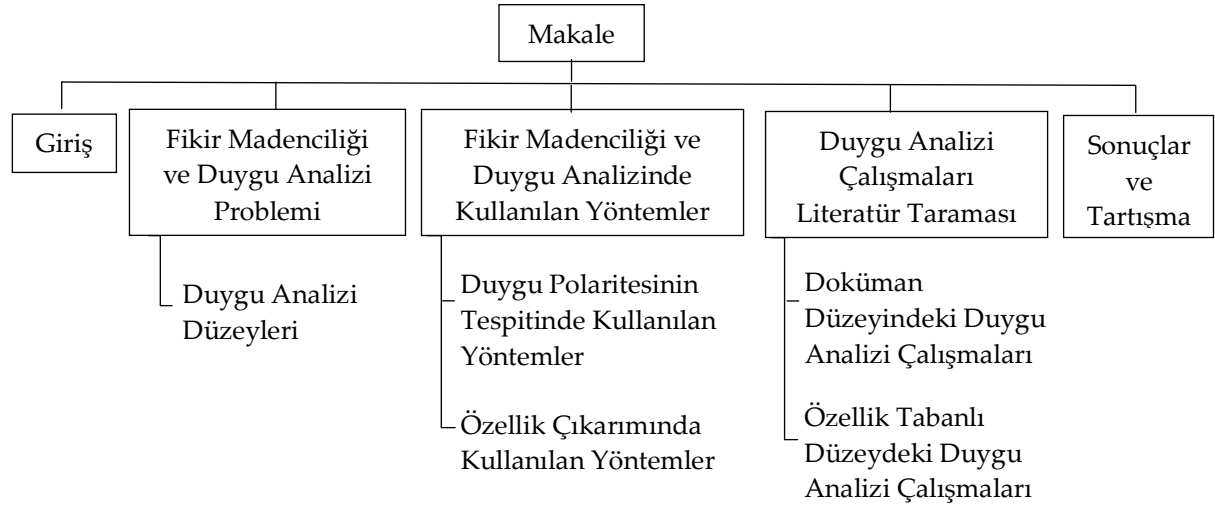
Günümüzde, İnternetin hayatın her alanına girecek şekilde yaygınlaşmış olması, insanlara, fikirlerini, duygularını ve görüşlerini paylaşabildikleri sosyal medya, forumlar, bloglar, e-ticaret siteleri gibi sanal ortamlar sunmaktadır. Bu sanal ortamlarda insanların fikirlerinin ifade edildiği çok büyük miktarda veri bulunmaktadır. Bu veriler, başta bu ürün ve hizmetlerin üreticisi ve satıcısı firmalar olmak üzere birçok kişinin ve araştırmacının ilgisini çekmektedir.

Fikir madenciliği ve duygu analizi, insanların sanal ortamlarda ürünler, hizmetler, organizasyonlar, olaylar, siyasi düşünceler gibi konular hakkında görüşlerini ifade ettikleri metinler içinde saklı olan duygu, fikir ve düşünceleri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. 2000'li yılların başından itibaren duygu analizi, doğal dil işlemenin bir alt dalı olarak oldukça aktif çalışma alanı haline gelmiştir. Duygu analizi

çalışmaları doğal dil işlemenin yanı sıra veri madenciliği, web madenciliği ve metin madenciliği alanlarında da yürütülmektedir (Liu, 2012).

Duygu analizi (sentiment analysis) ifadesi ilk defa 2003 yılında Tetsuya ve Jeonghee tarafından (Tetsuya ve Jeonghee, 2003), fikir madenciliği (opinion mining) ifadesi ise ilk defa 2003 yılında Kushal ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır (Kushal ve diğ., 2003). Bu ifadeler 2003 yılında ortaya çıkmış olsalar da bu konudaki çalışmalar daha önceki yıllarda başlamıştır. 2000 yılında Vasileios ve Janyce (Vasileios ve Janyce, 2000), 2001 yılında Tong ve arkadaşlarının (Tong ve diğ., 2001), 2002 yılında Turney'in (Turney, 2002), 2002 yılında Pang ve arkadaşlarının (Pang ve diğ., 2002) yaptıkları çalışmalar bu alandaki ilk çalışmalara örnek olarak gösterilebilirler.

Bu makalenin kalan kısımlarında, ikinci bölümde fikir madenciliği ve duygu analizi problemine giriş yapılmış, bu problem detaylarıyla birlikte anlatılmıştır. Üçüncü bölümde duygu analizi alanında yaygın olarak kullanılan yöntemler kategorik olarak tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde ise 2010 yılından günümüze kadar literatürde duygu analizi ve fikir madenciliği alanında yapılmış olan çalışmalar taranmış ve aralarından seçilen çalışmalar literatür taraması şeklinde sunulmuştur. Makaledeki konuların organizasyonu ve başlıklar, hiyerarşik olarak ağaç yapısı biçiminde Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Makaledeki konuların organizasyonu ve başlıklar

Figure 1. Organization of topics in the article and titles

Bu makale, fikir madenciliği ve duygu analizi alanına yeni başlayanlar için oldukça yol gösterici bir yazıdır çünkü bu yazıda duygu analizi probleminin en temelden tanımı yapılmış ve bu çalışma alanı bütün yönleriyle birlikte anlatılmıştır. Günümüzde duygu analizi çalışmaları üç farklı düzeyde yapılmaktadır. Bu yazıda bu düzeyler detaylarıyla birlikte anlatılmıştır. Ayrıca duygu analizi çalışmalarında yerine getirilmesi gereken duygu polaritesinin tespit edilmesi, özellik çıkarımı gibi görevleri gerçekleştirmek için literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler, bu yöntemleri uygulamış çalışmalarla birlikte tanıtılmıştır.

Bu makale aynı zamanda uygulanan yöntemlere göre literatürdeki duygu analizi çalışmalarını araştırmak isteyenler için önemli bir kaynaktır çünkü 2010 yılından günümüze kadar literatürde yapılmış olan çalışmalar taranmış ve aralarından seçilmiş çok sayıda çalışma kullanılan yöntemleri ile birlikte tek tek özetlenmiştir. Ayrıca bu çalışmalar kullanılan yöntemleri, üzerinde çalıştıkları veri setleri, çalışmanın türü ve yapıldığı yıl bilgileri ile birlikte çizelge şeklinde sunulmuştur.

FİKİR MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİ PROBLEMİ (SENTIMENT ANALYSIS AND OPINION MINING PROBLEM)

Duygu analizi ve fikir madenciliği, insanların ürünler, hizmetler, organizasyonlar, olaylar, gibi farklı konular hakkında görüşlerini ifade ettikleri metinler içinde saklı olan duygu, fikir ve düşünceleri ortaya çıkaran çalışmalara denilmektedir. Duygu analizi çalışmalarında, hakkında görüş belirtilen ürün, hizmet, olay, kişi gibi şeyler varlık olarak adlandırılmaktadır. Duygu ifadesi, varlığın doğrudan kendisi hakkında olabileceği gibi varlığın bir yönü veya bir özelliği hakkında da olabilir. Örneğin, bir kişi akıllı telefon hakkında yorum yaparken, genel olarak telefonda memnun olduğunu belirtebilir. Bu direk varlık hakkındaki bir duygu ifadesidir. Başka bir kişi ise akıllı telefonun ekranından memnun olduğunu ama kamerasından memnun olmadığını ifade edebilir. Bu durumda duygu ifadesinin hedefleri akıllı telefonun ekran ve kamera özellikleridir.

Bunların dışında, düşüncenin kime ait olduğu yani duygu ifadesinin öznesi de yapılan duygu analizi çalışmasının türüne göre önem taşıyabilmektedir. Sonuç olarak duygu ifadesi aşağıdaki gibi dört bileşenden oluşan bir model şeklinde tanımlanabilir (Liu, 2012):

$$(v, \ddot{o}, d, n) \quad (1)$$

v: varlık, *ö*: özellik, *d*: duygu, *n*: özne

Duygu analizindeki temel görevler, duygu ifadesine ait bu dört bileşenin bazılarının veya tamamının, çalışmanın kapsam ve düzeyine göre metinlerden çıkartılmasıdır. Bu dört bileşenden ilki varlıktır. Metinden varlık çıkarımı görevi tüm duygu analizi çalışmalarında yapılmaz. Örneğin, ürünler hakkındaki inceleme yazılarında veya e-ticaret sitelerindeki ürün yorumlarında belirli bir varlık hakkında fikir belirtilmektedir, o yüzden metinden varlık çıkarımı çalışmasına gerek kalmaz. Öte yandan siyasetle ilgili bir köşe yazısında, yazar farklı siyasi partiler ve siyasetçiler hakkında fikir beyan edebilir. Bu tür metinlerde yapılacak fikir madenciliği çalışmasında varlık çıkarımı önem taşır. Varlık çıkarımı aslında kural tabanlı varlık çıkarımı görevidir. Bu alanda Türkçe diliyle Dalkılıç ve arkadaşlarının (Dalkılıç ve diğ., 2010), Şeker ve Eryiğit'in (Şeker ve Eryiğit, 2012), Küçük ve Yazıcı'nın (Küçük ve Yazıcı, 2009) yapmış oldukları çalışmalar mevcuttur.

İkinci bileşen olan *özellik* çıkarımı bütün duygu analizi çalışmalarında yapılmaz. Özellik çıkarımının yapılıp yapılmaması duygu analizi çalışmasının yapıldığı düzeye bağlıdır. Özellik çıkarımına ilerleyen bölümlerde değinilecektir.

Üçüncü bileşen *duygudur*. Buna *duygu polaritesi* de denilmektedir. Duygu polaritesi pozitif veya negatiftir. Bazı çalışmalarda nötr şeklinde de sınıflandırma yapılmış olsa da çok yaygın değildir. Pozitif/negatif şeklinde ikili sınıflandırmanın yanında duygunun pozitiflik/negatiflik düzeyinin belirlendiği duygu derecelendirme çalışmaları da yapılmaktadır. Duygu polaritesinin çıkartılması duygu analizi ve fikir madenciliği çalışmalarındaki temel görevdir.

Dördüncü bileşen ise *özne* bileşenidir. Özne bir şahıs olabileceği gibi tüzel kişi de olabilir. Forum, blog ve e-ticaret sitelerinde özne çok istisnai durumlar dışında mesajı yazan kullanıcıdır. İdareci, siyasetçi gibi kişilerin fikir ve düşüncelerinin aktarıldığı gazete haberleri gibi metinlerde ise özne yazarın kendisi yerine üçüncü şahıslar da olabilmektedir.

Duygu Analizi Düzeyleri (Sentiment Analysis Levels)

Duygu analizi çalışmaları, veri setindeki kapsamlarına ve veri setindeki metinlerden çıkarım yaptıkları bilgilere göre üç farklı çalışma düzeyi altında ele alınmaktadır. Bunlar doküman düzeyinde duygu analizi, cümle düzeyinde duygu analizi ve özellik tabanlı düzeyde duygu analizidir.

Doküman Düzeyinde Duygu Analizi (Document Level Sentiment Analysis)

Doküman düzeyinde duygu analizinde görüş bildirilen bir yorum veya bir inceleme yazısı bir bütün olarak pozitif veya negatif olarak sınıflandırılır. Duygu analizi ve fikir madenciliği alanında yapılan ilk çalışmaların tamamı doküman düzeyinde sınıflandırma çalışmalarıdır. Yukarıda, duygu analizi alanındaki ilk çalışmalara örnek olarak verilen çalışmalarının tamamı doküman düzeyindedir.

Görüş bildirilen bir metinde bazı cümleler pozitif polariteye, bazı cümleler negatif polariteye sahip olabilmektedir. Ayrıca görüş bildirilen varlığın bazı özellikleri hakkında pozitif görüşler, bazı özellikleri hakkında da negatif görüşler karışık olarak yer alabilmektedir. Doküman düzeyindeki duygu analizi çalışmalarında bu seviyedeki detaylara inilmez, metin bir bütün olarak daha ağır basan görüşe göre pozitif veya negatif olarak sınıflandırılır.

Cümle Düzeyinde Duygu Analizi (Sentence Level Sentiment Analysis)

Doküman düzeyinde duygu analizi bazı uygulamalar için yetersiz kalmaktadır çünkü doküman düzeyinde duygu analizinde her bir cümledeki duygu polariteleri detaylı şekilde incelenmeksizin tüm dokümandaki ağırlıklı duygu polaritesine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bir inceleme veya yorum yazısında bazı cümleler pozitif polariteye, bazı cümleler negatif polariteye sahip olabilmekte, bazı cümleler ise nötr olabilmektedir. Cümle düzeyinde duygu analizinde metin bir bütün olarak sınıflandırılmak yerine, öncelikle her bir cümlede duygu ifade edilip edilmediği tespit edilir, daha sonra duygu ifade edilmişse cümle pozitif veya negatif olarak sınıflandırılır. Bir cümlede herhangi bir duygu ifade edilip edilmediğine dair yapılan çalışmaya subjektiflik sınıflandırması denilmektedir.

Özellik Tabanlı Düzeyde Duygu Analizi (Aspect Level Sentiment Analysis)

Duygu sınıflandırmasını doküman düzeyinde yapmak duygu ifadelerinin hedeflerinin belirsiz kalmasına neden olmaktadır. Doküman düzeyinde duygu sınıflandırmada bir varlık hakkında yapılan yorumun pozitif olarak sınıflandırılmış olması, yorumcunun o varlığın bütün özellikleri hakkında pozitif görüş bildirdiği anlamına gelmez. Örneğin, bir yorumcu varlığın 4 özelliği hakkında pozitif, 3 özelliği hakkında negatif yorum yapmış olsa, o yorum doküman düzeyinde pozitif olarak sınıflandırılır. Burada önemli bir bilgi kaybı söz konusudur. Yorumcu varlığın 3 özelliği hakkında negatif yorum yapmıştır ancak bu bilgi ortaya çıkarılmamıştır.

Bir yorum hakkında en kapsamlı bilgi, varlığın hangi özellikleri için pozitif, hangi özellikleri için negatif yorum yapıldığı bilgisidir. Özellik tabanlı duygu analizi çalışmalarında yapılan budur. Duygu ifadesinin hedefi olan varlığın özellikleri tespit edilmektedir. Bu işleme *özellik çıkarımı* denilmektedir.

Özellik tabanlı duygu analizinde kullanılan duygu polaritesi sınıflandırma yöntemleri çoğunlukla doküman düzeyindeki duygu polaritesi sınıflandırma yöntemlerine benzemektedir (Liu, 2012). Burada önemli olan duygu ifadesinin hedef ve kapsamının belirlenerek özellik çıkarımının doğru bir şekilde yapılmasıdır. Özellik çıkarımı çoğu zaman duygu polaritesinin tespit edilmesinden çok daha zor bir görevdir.

FİKİR MADENCİLİĞİ VE DUYGU ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER (METHODS IN SENTIMENT ANALYSIS AND OPINION MINING)

Bütün duygu analizi çalışmalarında yerine getirilmesi gereken en temel görev duygu polaritesinin tespit edilmesidir. Duygu polaritesinin tespit edilmesi dışında, özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmalarında özellik çıkarımı görevinin yerine getirilmesi gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalarda bu görevleri yerine getirmek için çok farklı yöntemler uygulansa da yaygın olarak kullanılan bazı yöntemler vardır. Bu bölümde bu görevler için yaygın olarak kullanılan yöntemler tanıtılmaktadır.

Duygu Polaritesinin Tespitinde Kullanılan Yöntemler (Methods Used For Determining Sentiment Polarity)

Duygu polaritesinin tespiti, duygu analizi ve fikir madenciliği çalışmalarındaki asli görevdir ve bütün düzeylerde yapılan duygu analizi çalışmalarında yerine getirilmektedir. Duygu polaritesinin tespit edilmesinde kullanılan yöntemler iki ana kategori altında yer almaktadır. Bu kategoriler makine öğrenmesine dayalı yöntemler ve sözcük tabanlı yöntemlerdir.

Makine Öğrenmesine Dayalı Yöntemler (Machine Learning Based Methods)

Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerde önceden etiketlenmiş eğitim verisi ile sistem eğitilir ve eğitilmiş sistem ile duygu sınıflandırması yapılır. Makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarından herhangi birisi kullanılabilir. Çoğunlukla Destek Vektör Makinesi (DVM), Naive Bayes (NB) ve Maksimum Entropi (ME) sınıflandırma algoritmaları kullanılmaktadır. Bu kategori altındaki yöntemlerin uygulanabilmesi için etiketlenmiş eğitim verisine ihtiyaç vardır.

Makine öğrenmesi yöntemi ile duygu sınıflandırma çalışması, ilk defa 2002 yılında Pang ve arkadaşları tarafından sinema filmlerinin yorumlarını pozitif ve negatif olarak sınıflandırmak amacıyla yapılmıştır (Pang ve diğ., 2002). Yaptıkları çalışmada, makine öğrenmesi için özellik olarak bir Kelime Torbası modeli olan unigramı, sınıflandırıcı olarak ise hem NB, hem de DVM'yi kullanmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Makine öğrenmesi yöntemlerinde başarı oranını etkileyen en önemli faktör, özellik vektörünü oluştururken duygu sınıflandırması için efektif özelliklerin tespit edilmesi ve kullanılmasıdır. Duygu analizi çalışmalarında özellik vektörü oluşturmak için yaygın olarak kullanılan özellik seçimi yöntemleri aşağıda anlatılmaktadır.

Kelime Torbası Modeli (Bag of Words Model): Kelime Torbası (KT) kelimelerin metinlerde geçip geçmediğine dayalı olan ve metin sınıflandırmada en yaygın olarak kullanılan özelliktir. Kelimelerin metinde tek tek geçip geçmeleri yanında arka arkaya ikili veya n'li gruplar halinde geçip geçmemeleri de kullanılmaktadır. Kelimelerin tek tek ele alınmaları *unigram* modeli, arka arkaya ikili gruplar halinde ele alınmaları *bigram* modeli, arka arkaya n'li gruplar halinde ele alınmaları ise *n-gram* modelidir.

KT modelinde, kelimelerin metinde kaç defa geçtiğine bakılmaksızın sadece geçip geçmediğine dayalı olarak uygulanmasına *ikili* özellik seçimi denilmektedir. Metinde sadece geçip geçmeleri değil, kaç defa geçtiklerine dayalı olarak uygulanmasına da *terim frekans ağırlığı* özellik seçimi denilmektedir.

Terim Frekansı - Ters Doküman Frekansı – TF-TDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency): Bir kelime, sadece bir türdeki dokümanlarda sıkça geçiyor, diğer tür dokümanlarda çok düşük frekansta geçiyorsa, ayırt edici özelliği yüksek demektir. Fakat bir kelime sadece belli bir tür değil, tüm dokümanlarda sıkça geçiyorsa ayırt edici özelliği düşük demektir. TF-TDF, dokümandaki bir kelimenin frekansı, o kelimeyi içeren toplam doküman sayısı ve tüm dokümanların sayısına dayalı olarak hesaplanan bir terim ağırlıklandırma yöntemidir.

Sözcük türü (Part of Speech): Sözcük türleri (isim, sıfat, fiil, vs.) doğal dil işleme ve metin işleme çalışmalarında kullanılan önemli bir özelliktir. Duygu analizi çalışmalarında da sözcük türleri önem taşımaktadır. Özellikle sıfat, fiil, isim ve zarf türündeki sözcükler daha fazla önem taşımaktadırlar. Metinde geçen kelimelerin sözcük türleri de özellik vektörünü oluşturmada kullanılmaktadır.

Nokta tabanlı Karşılıklı Bilgi (Pointwise Mutual Information): Nokta tabanlı Karşılıklı Bilgi (NKB) 1990 yılında Church ve Hanks tarafından (Church ve Hanks, 1990) iki terim arasındaki anlamsal yakınlığı ölçmek için önerilmiş bir skorlama yöntemidir. Makine öğrenmesi, doğal dil işleme, metin işleme, anlamsal çıkarım çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. NKB'nin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$NKB(x,y) = \log \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \quad (2)$$

Burada, $p(x,y)$, x ve y 'nin birlikte yer alma sayısı, $p(x)$ x 'in tek başına yer alma sayısı, $p(y)$ ise y 'nin tek başına yer alma sayısıdır. Terimlerin birlikte yer alma sayıları genellikle eldeki tüm dokümanlar üzerinden hesaplanmaktadır. Bazı çalışmalarda ise bu sayılar web aramalarından elde edilmektedir. NKB skoru ne kadar büyükse iki terimin anlamsal yakınlığı da o kadar yüksektir.

NKB skorlamasını bir duygu analizi çalışmasında ilk defa Turney (Turney, 2002) 2002 yılında otomobil ve sinema yorumları üzerinde yaptığı çalışmada kullanmıştır. NKB'nin makine öğrenmesinde özellik seçimi olarak ilk defa kullanıldığı çalışma ise Muller ve Collier'in (Mullen ve Collier, 2004) sinema yorumları üzerinde yaptıkları duygu analizi çalışmasıdır. Bu çalışmalardan sonra daha birçok duygu analizi çalışmasında NKB skorlama yöntemi kullanılmıştır.

Sözcük Tabanlı Yöntemler (Lexicon Based Methods)

Bu kategori altında doğal dil işleme yöntem ve araçları kullanılarak cümlelerin sentaktik analizine dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Denetimli makine öğrenmesi yöntemlerindeki gibi etiketlenmiş eğitim verisine ihtiyaç yoktur. Doğal dil işleme araç ve yöntemleri ile cümleler analiz edilir, cümlelerdeki duygu terimleri tespit edilerek anlamsal çıkarımlar yapılır. Cümlelerdeki duygu ifadelerini tespit etmek için çoğunlukla duygu terimleri sözlüğü kullanılır. Cümlelerin sentaktik analizinde genel olarak üç yöntem ve bu yöntemlerin farklı uygulamalarının kullanımı çok yaygındır:

Koşullu Rastgele Alanlar (Conditional Random Fields) : Koşullu Rastgele Alanlar (KRA) 2001 yılında Lafferty ve arkadaşları tarafından önerilmiş, örüntü tanıma, yapay zeka, makine öğrenmesi gibi alanlarda kullanılan istatistiksel bir modelleme yöntemidir (Lafferty ve diğ., 2001). Doğal dil işleme çalışmalarında kullanımı oldukça yaygındır. KRA, doğal dil işlemede, cümle içindeki kelimelerin kullanım amacını tespit etmede, o kelimedenden önce ve sonra gelen kelimelerin, o kelimenin içinde geçtiği cümleden önce ve sonra gelen cümlelerin de göz önüne alınarak uygulanan istatistiksel ve olasılıksal tabanlı yöntemlerdir.

Bağlılık Ağacı (Dependency Tree): Bağlılık ağacı, cümledeki öğelerin birbirlerine olan bağlılıklarını, hangi öğenin hangi öğeyi nitelediği bilgisini içeren bir ağaç yapısıdır. Bağlılık ağacı, bağlılık ayrıştırıcı doğal dil işleme araçları ile oluşturulur. Oluşturulan bağlılık ağacındaki düğümler arasındaki ilişkiler analiz edilerek duygu analizi çalışması gerçekleştirilir.

Kural Tabanlı Yaklaşım (Rule Based Approach): Bu yöntemde, başta sözcük türleri ve sözcük türü örüntüleri olmak üzere farklı doğal dil işleme özelliklerine dayanan kurallar belirlenir ve bu kurallara uyan cümle yapıları analiz edilerek anlamsal çıkarımlar yapılır. Bu yöntem genellikle KRA ile birlikte uygulanır. Duygu analizi ve fikir madenciliği alanında bu yaklaşımı ilk defa Turney (Turney, 2002) müşteri yorumları üzerinde yaptığı çalışmada uygulamıştır. Maharani ve arkadaşları da ürün yorumları üzerinde yaptıkları çalışmada (Maharani ve diğ., 2015) sözcük türü örüntülerine dayalı kural tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Sözcük türü örüntüleri ile ilgili kuralları belirlerken Turney'in çalışmasındaki (Turney, 2002) sözcük türü örüntüleri ile ilgili kurallardan faydalanmışlardır.

Yöntemlerin Karşılaştırmalı Analizi (Comparative Analysis of Methods)

Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin ve sözcük tabanlı yöntemlerin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin en önemli dezavantajı çalışma yapılacak alan ile ilgili yeteri kadar miktarda etiketlenmiş eğitim verisi gerektirmesidir. Ayrıca belli bir çalışma alanıyla ilgili eğitim verisi başka bir alanda işe yaramamaktadır. Mesela sinema yorumları ile eğitilmiş bir sistem akıllı telefon yorumları üzerinde kullanıldığında başarılı olamamaktadır. Çalışma yapılacak her alan ile ilgili etiketlenmiş eğitim verisi temin etmek oldukça zordur.

Sözcük tabanlı yöntemler, etiketlenmiş eğitim verisi gerektirmemeleri ile makine öğrenmesi yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadırlar fakat sözcük tabanlı yöntemlerin de bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Sözcük tabanlı yöntemlerde duygu terimleri sözlüğüne ve doğal dil işleme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Duygu terimleri sözlüğü ve doğal dil işleme araçlarının varlığı ve etkinlikleri

dilden dile değişmektedir. Üzerinde en çok doğal dil işleme çalışması yapılan dil olan İngilizce’de çok sayıda ve güçlü doğal dil işleme araçları ve hazır duygu terimleri sözlükleri bulunmaktadır. Diğer dillerdeki araçlar ise İngilizce kadar çok sayıda ve güçte değildirler.

Sözcük tabanlı yöntemler, kullanıcıların görüşlerini duygu terimleri kullanmadan dolaylı olarak ifade ettikleri durumlarda başarılı değildirler. Bu tür durumlarda makine öğrenmesine dayalı yöntemler daha başarılıdır. Mesela pozitif polariteye sahip “bu telefonun şarjı uzun gidiyor” şeklindeki bir cümledeki sözcük tabanlı bir yöntem tarafından pozitif olarak sınıflandırılması oldukça zordur çünkü cümlede herhangi bir duygu terimi yoktur. Yeteri kadar çeşitlilikte ve miktarda etiketlenmiş eğitim verisine sahip bir makine öğrenmesi yöntemi böyle bir cümleyi sınıflandırmada çok daha başarılıdır.

Bu iki ana kategori altındaki yöntemlerin duygu polaritesi sınıflandırma başarı oranları kıyaslandığı zaman makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin daha başarılı oldukları gözlenmektedir. Kennedy ve Inkpen yaptıkları çalışmada (Kennedy ve Inkpen, 2006), Hailong ve arkadaşları yaptıkları karşılaştırmalı analiz çalışmasında (Hailong ve diğ., 2014) denetimli makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin sözcük tabanlı yöntemlere göre daha başarılı olduklarını ortaya koymuşlardır. Bu iki ana kategorideki yöntemlerin karşılaştırması Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Makine öğrenmesine dayalı - Sözcük tabanlı yöntemlerin karşılaştırması

Table 1. Comparison of machine learning based – lexicon based methods

	Avantajlar	Dezavantajlar
Makine öğrenmesine dayalı yöntemler	- Başarı oranı daha yüksektir - Dolaylı olarak ifade edilen duygu polaritelerini tespit etmede başarılıdır	- Çalışma alanına özgü etiketlenmiş eğitim verisi gerektirir - Bir alandaki eğitim verisi başka alanda işe yaramaz
Sözcük tabanlı yöntemler	- Etiketlenmiş eğitim verisi gerektirmez - Doğal dil işleme araçları ve duygu terimleri sözlüğüne ihtiyaç olsa da bunlar çalışma alanına özgü değildirler. Elde bu araçlar varsa herhangi bir alandaki çalışmada kullanılabilirler	- Başarı oranı daha düşüktür. - Doğal dil işleme araçlarına ihtiyaç vardır. - Duygu terimleri sözlüğüne ihtiyaç vardır - Dolaylı olarak ifade edilen duygu polaritelerini tespit etmede başarısızdır

Özellik Çıkarımında Kullanılan Yöntemler (Methods Used For Aspect Extraction)

Özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışmalarında, duygu ifadelerinin hedefleri olan varlık özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi bu göreve özellik çıkarımı denilmektedir. Özellik çıkarımı için araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

Sık geçen isimler (Frequent Names): Bu yöntem Hu ve Liu tarafından, 2004 yılında yaptıkları duygu analizi çalışmasında önerilmiştir (Hu ve Liu, 2004). Bir ürün hakkında yorum yaparken herkesin farklı bir hikayesi vardır ve genelde bu hikayeleri anlatırken farklı farklı kelimeler kullanıldığı varsayılır. Ancak, ürünün özelliklerinden bahsedildiği zaman, kullanılan kelimeler genellikle aynı olmaktadır. Yorumlarda sık geçen isim türündeki sözcükler çoğunlukla ürünün özellikleridir. Ancak, yorumlarda sık geçen isimlerin bazıları ürün özellikleri dışında isimler de olabilmektedir. Bunların da tespit edilip ürün özelliklerinden ayrıştırılmaları gerekmektedir. Bu yöntem Hu ve Liu tarafında önerildikten sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek kullanılmıştır.

Popescu ve Etzioni yaptıkları çalışmada bu yöntemin başarı oranını yükseltecek bir yöntem uygulamışlardır (Popescu ve Etzioni, 2005). Popescu ve Etzioni terimler arasındaki yakınlığı ölçmekte kullanılan Nokta tabanlı Karşılıklı Bilgi (NKB) yöntemini, ürün ve sık geçen isim arasında

uygulamışlardır. NKB skoruna göre aralarındaki yakınlık derecesi belli bir eşğin üzerindeyse o ismin ürünün özelliği olduğuna, o eşik değerinin altındaysa özellik olmadığına karar vermişlerdir.

Goldensohn ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bütün sık geçen isimleri değil sadece duygu ifadesi içeren sübjektif cümlelerdeki sık geçen isimleri kullanarak iyileştirme yapmışlardır (Goldensohn ve diğ., 2008).

Duygu ifadesi - hedef ilişkilerinin sentaktik analizi (Syntactical analysis of opinion words and targets): Bir cümlede bir duygu ifadesi varsa, bunun mutlaka bir hedefi vardır. Bu hedef, ya varlığın bizzat kendisi ya da varlığın bir özelliğidir. Bu yöntemde öncelikle cümlelerdeki duygu ifadeleri tespit edilmektedir. Duygu ifadesi tespit edildikten sonra cümlenin içindeki hedef belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemde, cümlelerin sentaktik analizi, sözcük türü belirleme, bağlılık ağacı kullanma gibi doğal dil işleme araçları ve yöntemleri kullanılmaktadır.

Zhuang ve arkadaşlarının 2006 yılında yaptıkları çalışma (Zhuang ve diğ., 2006), Swapna ve Wiebe'nin cümle ayrıştırıcı araç kullanarak 2009 yılında yaptıkları çalışma (Swapna ve Wiebe, 2009), Qiu ve arkadaşlarının "Double Propagation" adını verdikleri bağlılık ağacı kullanarak yaptıkları çalışma (Qiu ve diğ., 2011) bu yöntemle özellik çıkarımının yapıldığı çalışmalardır.

Makine öğrenmesine dayalı yöntemler (Machine learning based methods) : Özellik çıkarımında makine öğrenmesine dayalı yöntemler de kullanılmaktadır. Özellik çıkarımı bir tür bilgi çıkarımı problemidir. Bilgi çıkarımında kullanılan denetimli öğrenmeye dayalı birçok metot ortaya atılmıştır. Bu metotlar arasında günümüzde en yaygın kullanılanları sıralı öğrenmeye dayalı makine öğrenmesi metotlarıdır (Liu, 2012). Koşullu Rastgele Alanlar (Lafferty ve diğ., 2001) ve Saklı Markov Modeli (Rabiner, 1989) özellik tabanlı duygu analizi çalışmalarında sıkça kullanılan sıralı öğrenme algoritmalarıdır.

Konu Modelleme (Topic Modeling) – Latent Dirichlet Allocation (LDA): Konu modelleme, son yıllarda büyük miktardaki metinlerdeki konuları keşfetmek için kullanılan önemli bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Konu modelleme yöntemi, her dokümanın belli oranlarda belli konuları içerdiği ve her konunun kelimeler üzerine olasılıksal bir dağılım olduğu varsayımına dayanmaktadır. Duygu analizinde ürün özellikleri, konu modellemedeki konulara karşılık gelmektedir. En çok bilinen ve kullanılan konu modelleme algoritması 2003 yılında David M. Blei ve arkadaşları tarafından önerilmiş olan Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritmasıdır (Blei ve diğ., 2003).

Konu modelleme ve LDA, büyük miktardaki metinlerdeki konuları keşfetmek için geliştirilmiştir. Duygu analizi çalışmalarının çalışma alanları olan müşteri yorumları, sosyal medya mesajları gibi kısa metinler üzerinde verimli olamamaktadır (Liu, 2012). LDA'yı ürün yorumları, sosyal medya mesajları gibi kısa metinlerde uygulamaya ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır.

Ontoloji tabanlı yaklaşımlar (Ontology based approaches): Ontoloji kısaca varlık bilimidir. Ontolojide hiyerarşik olarak varlıklar, varlıkların özellikleri, o özelliklerin alt özellikleri modellenir. Bu ontoloji modeli, metinlerden varlıkları ve varlıkların özelliklerini çıkarmak için kullanılır. Özellik tabanlı duygu analizi çalışmalarında da ontoloji kullanarak özellik çıkarımı oldukça yaygın bir yöntemdir. Örnek çalışma olarak Isidro ve arkadaşları sinema yorumları üzerinde duygu analizi çalışmasında özellik çıkarımı için IMDb (IMDb, 2017) kaynaklı verilerden oluşturulan <http://www.movieontology.org> sitesindeki sinema ontolojisinden faydalanmışlardır (Isidro ve diğ., 2011).

DUYGU ANALİZİ ÇALIŞMALARI LİTERATÜR TARAMASI (SENTIMENT ANALYSIS LITERATURE REVIEW)

Bu bölümde duygu analizi ve fikir madenciliği ile ilgili yapılmış olan çalışmalar literatür taraması şeklinde özetlenmiştir. Çalışmalar, Doküman Düzeyindeki Duygu Analizi Çalışmaları ve Özellik Tabanlı Düzeydeki Duygu Analizi Çalışmaları olmak üzere iki ana başlık altında ele alınmışlardır. Bu başlıklar altında Türkçe dili ile yapılmış olan çalışmalar diğer çalışmaların arasında karışık olarak değil, en sonda ayrı bir şekilde verilmiştir.

Literatür taraması için çalışmaların seçimi iki kritere göre yapılmıştır. Birincisi 2010 yılından günümüze kadar olan tarih aralığında literatür taraması yapılmıştır. Bu tarihler arasında literatürde çok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalardan seçim yapılırken olabildiğince farklı yöntemlerin kullanıldığı

çalışma örnekleri dahil edilmeye çalışılmıştır. İkinci olarak ise daha eski tarihli çalışmalardan yenilikçi olan, birçok çalışma tarafından benzerleri uygulanan bir yöntemin ilk örneğini sunan bazı çalışmalar literatür taramasına dahil edilmiştir.

Doküman Düzeyindeki Duygu Analizi Çalışmaları (Document Level Sentiment Analysis Works)

Duygu analizi ve fikir madenciliği alanında yapılan ilk çalışmaların tamamı doküman düzeyinde sınıflandırma çalışmalarıdır.

McDonald ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları çalışmada Koşullu Rastgele Alanlar yöntemine benzeyen bir hiyerarşik öğrenme modelini ortaya koymuşlardır (McDonald ve diğ., 2007). Bu yöntemde cümle düzeyinde sınıflandırma, doküman düzeyinde sınıflandırma ile birlikte yapılmaktadır. Veri setindeki her doküman ve o dokümandaki her cümle sınıflandırılmaktadır. Çalışmada her iki seviyede birlikte duygu sınıflandırması yapmanın başarı oranını yükselttiğini göstermişlerdir.

Nakagawa ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada İngilizce ve Japonca dilleri üzerinde bağlantı ağacı ve Koşullu Rastgele Alanlar yaklaşımını kullanmışlardır (Nakagawa ve diğ., 2010). Çalışmada kullandıkları yöntemi, yaygın olarak kullanılan 6 farklı yöntemle kıyaslamışlardır. Diğer yöntemlerle %63 ile %84 arası başarı oranı elde edilirken önerdikleri yöntemle %77 ile %86 arasında değişen başarı oranı elde etmişlerdir.

Davidov ve arkadaşları, 2010 yılında Twitter mesajları üzerinde duygu sınıflandırması çalışması yapmışlardır (Davidov ve diğ., 2010). Denetimli makine öğrenmesine dayalı bir yöntemin kullandıkları çalışmada özellik vektöründe metin işleme kullanılan yaygın özellikler dışında Twitter'a özgü olan hashtag'ler ve smiley karakterleri gibi özellikleri de kullanmışlardır. Twitter'a özgü bu özellikleri kullanmanın başarı oranını arttırdığını göstermişlerdir.

Taboada ve arkadaşları 2011 yılında ürün yorumlarını -5 ile +5 arasında derecelendirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır (Taboada ve diğ., 2011). Duygu terimleri sözlüğünü oluşturmak için Amazon'un Mechanical Turk (MTurk, 2017) servisini kullanmışlardır. Mechanical Turk ile oluşturdukları sözlük ile elde ettikleri başarı oranını, SentiWordNet (Baccianella ve diğ., 2010), Google PMI (Taboada ve diğ., 2006), Maryland (Mohammad ve diğ., 2009) gibi sözlüklerle elde ettikleri başarı oranlarıyla kıyaslamışlar ve onlardan daha etkin olduğunu göstermişlerdir.

Kang ve arkadaşları 2012 yılında restoran yorumlarında hem duygu sınıflandırması için bir yöntem önermişler hem de farklı denetimli makine öğrenmesi metotlarını ve farklı makine öğrenmesi özelliklerini birbirleriyle kıyaslamışlardır (Kang ve diğ., 2012). Çalışmalarında restoran yorumlarını sınıflandırmak için duygu terimleri sözlüğü oluşturmuşlardır. Bu sözlük sadece unigramları değil, çift kelimeden oluşan bigramları da kapsamaktadır. Genel olarak restoran yorumları sınıflandırma çalışmasında negatif yorumlardaki başarı oranının, pozitif yorumlardaki başarı oranına göre ortalama %10 daha düşük olduğunu görmüşler ve bu %10'luk farkı azaltmak için NB sınıflandırma algoritması üzerinde geliştirmeler yapmışlardır. Oluşturdukları restoran yorumları duygu sözlüğü ile standart duygu terimleri sözlüğünü; DVM, NB ve geliştirilmiş NB algoritmalarını; unigram, bigram ve unigram+bigram özellikleri ile bunların hepsinin başarı oranlarını kıyaslayacak şekilde testlerini gerçekleştirmişlerdir.

Mejova ve Srinivasan 2011 yılında yaptıkları çalışmada, denetimli makine öğrenmesine dayalı duygu sınıflandırmasında kullanılan makine öğrenmesi özelliklerinin etkinliklerini birbirleriyle kıyaslamışlardır (Mejova ve Srinivasan, 2011). "kelime - kelime kökü", "ikili - terim frekans ağırlığı", "olumsuzluk kelime ve ekleri", "n-gram" gibi yaklaşımların duygu sınıflandırma çalışmalarında başarıyı ne derece etkiledikleriyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan testlerde kelime n-gram seçiminin başarı oranını önemli oranda etkilediğini gözlemlemişlerdir. "kelime - kelime kökü", "ikili - terim frekans ağırlığı", "olumsuzluk kelime ve ekleri" şeklindeki karşılaştırmalarda, başarı oranında belirgin bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir. Bespalov ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada da benzer bir sonuç elde edilmiş ve bazı çalışmalarda daha yüksek başarı oranı elde etmek için daha yüksek seviyeli kelime n-gramları kullanmanın faydalı olduğu ifade edilmiştir (Bespalov ve diğ., 2011).

Fakat yüksek seviyeli kelime n-gramları, hesaplama maliyetini çok arttırmakta ve kullanmak imkansız hale gelmektedir. Bespalov ve arkadaşları bunları ortaya koyduktan sonra yüksek seviyeli n-gramları kullanabilmek için hesaplama maliyetini düşürmeye yönelik “supervised embedding strategy” ismini verdikleri ve sinir ağları kullanımına dayanan bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemle yüksek seviyeli n-gram’ları da kullanarak duygu sınıflandırma testlerini yapmışlar ve yüksek seviyeli kelime n-gram’ları kullanmanın sınıflandırma başarısını arttırdığını göstermişlerdir.

Balahur ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları duygu analizi çalışmasında sadece pozitif/negatif şeklinde ikili sınıflandırma değil, sınırlı, mutlu, mutsuz, suçluluk hissi gibi birden fazla sınıfa göre duygu sınıflandırma çalışması yapmışlardır (Balahur ve diğ., 2012). Çalışmalarında dolaylı anlatımla ifade edilen duyguların da tespit edilebilmesi üzerinde çalışmışlardır. Balahur ve arkadaşları, psikolojide insanların bir varlık veya olay hakkında fikir sahibi olma süreçlerini inceleyen Appraisal Theory’den ve insanların olaylar karşısındaki tepkileri, tutumları gibi davranışları hakkında oluşturulmuş bir bilgi bankası olan ISEAR’dan (ISEAR, 2017) faydalanmışlardır. Önerdikleri yöntemi, unigram, bigram, 3-gram özelliklerine dayalı makine öğrenmesi yöntemi ile kıyaslamışlar ve daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Zhang ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları duygu analizi çalışmasında AppleStore’daki mobil uygulama yorumları üzerinde denetimli makine öğrenmesi yöntemlerini ve bu yöntemlerin farklı parametrelere göre performanslarının karşılaştırmasını yapmışlardır (Zhang ve diğ., 2014). Çalışmalarında, DVM ile NB’nin, unigram, bigram, 3-gram ve 4-gram özelliklerinin, farklı uzunluklardaki yorumlardaki başarı oranlarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, NB sınıflandırıcı DVM’den daha başarılı olmuştur, kelime n-gramında en yüksek başarı oranı bigram ile elde edilmiştir. Kısa yorumlarda başarı oranının yüksek, uzun yorumlarda ise daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Zhang ve arkadaşları, 2014 yılında Facebook mesajları ve müşteri ürün yorumları üzerinde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Zhang ve diğ., 2014). Yaptıkları çalışma, bir ayrıştırıcı kullanarak cümlelerin sentaktik analizine dayanmaktadır. Koşullu Rastgele Alanlar yöntemiyle cümlelerin kendinden önce ve kendinden sonra gelen cümlelerle olan ilişkilerinin, bağlaçlarla bağlanmış olan cümlelerin bağlaçlardan kaynaklanan ilişkilerinin detaylı şekilde analizine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemin, DVM, Lojistik Regresyon (LR), Saklı Markov Modeli (SMM) ve Choi ve Cardie’nin önerdikleri Compositional Semantic Rules (CSR) (Choi ve Cardie, 2008) yöntemleriyle deneysel karşılaştırmalarını yapmışlardır. Müşteri ürün yorumlarında, önerdikleri yöntem en yüksek başarı oranını ortaya koymuştur. Ancak, facebook mesajları üzerinde CSR yöntemi en yüksek başarı oranını ortaya koymuş, önerdikleri yöntem diğer yöntemlere göre bir üstünlük sağlayamamıştır. Facebook mesajları genellikle bir iki cümlelik kısa mesajlar olması nedeniyle Koşullu Rastgele Alanlar yöntemi etkin olamamıştır.

Habernal ve arkadaşları 2015 yılında Çekoslovakya diliyle Facebook mesajları, sinema yorumları ve ürün yorumları üzerinde yaptıkları çalışmada, DVM ve Maksimum Entropi sınıflandırma algoritmalarını kullanan denetimli makine öğrenmesi yöntemini kullanmışlardır (Habernal ve diğ., 2015). Makine öğrenmesi özellikleri için kelime unigram ve bigramı, karakter n-gramı, sözcük türleri ile ilgili özellikler, smiley’ler ve TF-TDF özelliklerini kullanmışlardır. Facebook mesajları oldukça kısa metinler oldukları, birçok jargon ve kısaltmaları barındırdıkları için karakter n-gramının başarı oranını arttırmada etkin olduğunu gözlemlemişlerdir. Facebook mesajlarına göre daha uzun metinler olan ürün yorumları ve sinema yorumlarında ise kelime bigramının en iyi başarı oranını ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir.

Park ve arkadaşları 2015 yılında duygu terimleri sözlüğü oluşturma ile ilgili bir çalışma yapmışlardır (Park ve diğ., 2015). Çalışmada, etiketlenmiş eğitim verilerinden, çalışma alanına özgü duygu terimleri çıkarımı için bir yöntem ortaya koymuşlardır. Önerdikleri yöntemle oluşturulan sözlüğün duygu analizindeki performansını test etmek için SentiWordNet (Baccianella ve diğ., 2010) duygu terimleri sözlüğü ile kıyaslamasını yapmışlardır. Eğitim verisinin az olduğu durumlarda

önerdikleri yöntemle oluşturulan sözlüğün başarı oranı daha düşük kalmıştır. Yeteri kadar eğitim verisi olduğu zaman SentiWordNet'ten daha iyi bir başarı oranı ortaya koyduğunu göstermişlerdir.

Fernández-Gavilanes M. ve arkadaşları 2015 yılında sinema yorumları, Twitter mesajları gibi farklı veri setleri üzerinde duygu analizi çalışmasında bağlılık ağacı kullanarak sentaktik analize dayalı sözcük tabanlı bir yöntem uygulamışlardır (Fernández-Gavilanes ve diğ., 2015). Pekiştiricileri, olumsuzluk kelime ve eklerini, zıtlık bağlaçlarını detaylı şekilde analiz etmişlerdir. Bu çalışma sözcük tabanlı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar arasında en kapsamlı ve en detaylı sentaktik analizin yapıldığı çalışmalardan birisidir. Farklı veri setlerinde yaptıkları testlerde çok çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Genel olarak %60 - %75 arası başarı oranı elde etmişlerdir. Bu oran düşük gibi görünebilir ama aynı veri setleri üzerinde karşılaştırma yaptıkları diğer yöntemlerin başarı oranları daha düşük gerçekleşmiştir.

Khan F. H. ve arkadaşları sinema yorumları, ürün yorumları gibi farklı veri setleri üzerinde denetimli makine öğrenmesi yöntemi ve DVM sınıflandırıcısı ile duygu analizi çalışması yapmışlardır (Khan ve diğ., 2016). Uyguladıkları yöntem, klasik bir denetimli makine öğrenmesi yöntemidir fakat bu çalışmanın literatüre olan katkısı kullandıkları duygu terimleri sözlüğü ile ilgilidir. İngilizce duygu analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan SentiWordNet (Baccianella ve diğ., 2010) duygu terimleri sözlüğünün duygu analizi çalışmaları için çok uygun olmadığını ortaya koymuşlar ve SentiWordNet'i kullanarak yeni bir duygu terimleri sözlüğü oluşturma metodolojisi ortaya koymuşlardır ve oluşturdukları bu sözlükle duygu analizi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları testlerde kendi yöntemleriyle oluşturdukları sözlük ile yapılan duygu analizinin SentiWordNet ile yapılan analizden daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Chen T. ve arkadaşları 2017 yılında sinema yorumları, ürün yorumları gibi farklı veri setleri üzerinde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Chen ve diğ., 2017). Çalışmalarında öncelikle cümleleri duygu ifadelerinin hedeflerine göre hedefsiz cümleler, bir-hedefli cümleler ve çok-hedefli cümleler olarak üç gruba ayırmışlardır çünkü bu üç gruptaki cümlelerin cümle yapılarının birbirlerinden çok farklı olduğunu ve karışık olarak değil ayrı ayrı ele alınmaları gerektiğini savunmuşlardır. Cümleleri bu üç kategoriye göre sınıflandırmak için Koşullu Rastgele Alanlar tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Daha sonra bu üç kategori altındaki cümlelerin duygu polaritelerini tespit etmek için Evrişimli Sinir Ağlarına dayalı bir yöntem uygulamışlardır.

Türkçe dilinde duygu analizi çalışmaları İngilizce'den çok daha sonraları başlamıştır. Eroğul 2009 yılında yaptığı tez çalışmasında sinema yorumları üzerinde yaptığı duygu analizi çalışmasında makine öğrenmesine dayalı bir yöntem uygulamıştır (Eroğul, 2009). Özellik vektörü için KT modelini, sözcük türü özelliklerini, sınıflandırma algoritması olarak ise DVM'yi kullanmıştır. Farklı parametre ve konfigürasyonlarla yaptığı testlerde %73 - %86 arası değişen başarı oranları elde etmiştir.

Kaya ve arkadaşları 2012 yılında Türkçe politika haberleri üzerinde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Kaya ve diğ., 2012). Ürün veya sinema yorumları gibi metinler, konu odaklı ve düşünce bakımından yoğun metinler iken, politika haberleri düşünce bakımından daha az yoğunlukta olan, yorumlar kadar konu odaklı olmayan metinlerdir. Kaya ve arkadaşları, çalışmalarında makine öğrenmesi yöntemleri dışında sözcük tabanlı yöntemleri de kullanmışlardır. Politika haberlerinde pozitif ve negatif duyguları ifade eden kelimeler listesi oluşturmuşlardır. Yaptıkları testlerde %67 ile %76 arası değişen başarı oranları elde etmişlerdir.

Şimşek ve Özdemir, 2012 yılındaki yaptıkları çalışmada Twitter mesajlarını mutlu ve mutsuz şeklinde sınıflandırma çalışması yapmışlardır (Şimşek ve Özdemir, 2012). Şimşek ve Özdemir Amazon'un Mechanical Turk (MTurk, 2017) servisini kullanarak mutluluk ve üzüntü ifadelerinde kullanılan 113 sözcüklük bir Türkçe sözlük oluşturmuşlar ve bu sözcüklerin Twitter mesajlarında geçme frekanslarına göre sınıflandırma yapmışlardır.

Çetin ve Amasyalı 2013 yılında Twitter mesajları üzerinde WEKA (Frank ve diğ., 2016) sınıflandırma aracı ile NB, DVM, karar ağacı, rastgele orman ve 1-en yakın komşu yöntemleri ile duygu sınıflandırması çalışması yapmışlardır (Çetin ve Amasyalı, 2013). Özellik vektörünü oluşturulurken TF, TF-TDF ve Delta TF-TDF (Martineau ve Finin, 2009) terim ağırlıklandırma yöntemlerinden

faydalanmışlardır. Çetin ve Amasyalı, yaptıkları testlerde Delta TF-TDF terim ağırlıklandırma yönteminin diğer iki yöntemden daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Aytekin, 2013 yılında Türkçe blog sitelerindeki beyaz eşya yorumları üzerinde duygu sınıflandırma çalışması yapmıştır (Aytekin, 2013). Çalışmada sözcük tabanlı yöntem ile makine öğrenmesi yönteminin karışımı yarı-denetimli bir yöntem uygulamıştır. Aytekin pozitif ve negatif duygu ifade eden kelimeler sözlüğünü ise İngilizce'de hazırlanmış bir sözlüğü Türkçe'ye tercüme edilerek oluşturmuştur. Çalışmada 350 pozitif, 350 negatif yorum üzerinde yapılan teste pozitif yorumlarda %72, negatif yorumlarda %73 başarı oranı elde edilmiştir.

Sevindi 2013 yılında yaptığı tez çalışmasında, duygu analizi çalışmalarında kullanılan terim ağırlıklandırma yöntemlerinin ve sınıflandırıcı algoritmalarından DVM, NB ve K-En Yakın Komşu yöntemlerinin kıyaslamasını yapmıştır (Sevindi, 2013). Veri seti olarak sinema yorumlarının kullanıldığı çalışmada TF-TDF, A-TF, B-TF, LA-TF, L-TF ve N-TF terim ağırlıklandırma yöntemlerinin etkinlikleri kıyaslanmıştır. Bu ağırlıklandırma yöntemleri, unigram, bigram ve 3-gram KT modellerinin hepsi ile ayrı ayrı kıyaslanmıştır. Kullanılan sınıflandırma algoritması ve KT modeline göre çok çeşitli sonuçlar elde edilmiş olsa da genel olarak TF-TDF ağırlıklandırma yönteminin diğerlerinden daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Meral ve Diri 2014 yılında sağlık, spor, siyaset, gibi farklı konular hakkında derledikleri Twitter mesajları üzerinde duygu sınıflandırması çalışması yapmışlardır (Meral ve Diri, 2014). Twitter'ın kendine özgü jargonlarını da ele alabilmek amacıyla kelime n-gramı yerine karakter n-gramı kullanmayı tercih etmişlerdir. Meral ve Diri, karakter 2-gram ve 3-gramları kullanarak DVM, rastgele orman ve NB sınıflandırıcılar ile duygu sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu üç sınıflandırma yönteminde DVM en iyi sonuçları vermiş olsa da elde edilen başarı oranları birbirlerine çok yakın çıkmıştır.

Akba ve arkadaşları, 2014 yılında yaptıkları duygu analizi çalışmasında sinema yorumları üzerinde DVM ile NB sınıflandırma algoritmaları ve Ki Kare ile Bilgi Kazanımı özellik seçimi yöntemlerinin etkinliklerini kıyaslamışlardır (Akba ve diğ., 2014). Elde ettikleri sonuçlarda Ki Kare ile Bilgi Kazanımı özellik seçimi yöntemlerinin etkinlikleri arasında fark çıkmamıştır. Sınıflandırma algoritmalarından DVM'nin NB'den daha etkin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çizelge 2'de doküman düzeyinde duygu sınıflandırması alanında yapılmış çalışmalar sunulmuştur.

Çizelge 2. Doküman düzeyinde duygu analizi çalışmaları

Table 2. Document level sentiment analysis works

Ref. No	Yıl	Veri Seti	Çalışma Türü	Dil	Uygulanan Yöntem/Algoritma	Denetimli/ Denetimsiz	Sonuçlar
(Kennedy ve Inkpen, 2006)	2006	Sinema yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Koşullu Rastgele Alanlar, Bağlılık Ağacı	Denetimsiz	Farklı parametrelerle %31 - %76 arası çeşitli sonuçlar elde edilmiştir
(McDonald ve diğ., 2007)	2007	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Koşullu Rastgele Alanlar	Denetimli	%62,6 ve %70,3 oranında başarı oranları elde etmişlerdir
(Nakagawa ve diğ., 2010)	2010	Ürün, sinema yorumları	Yöntem önerisi	Japonca, İngilizce	Koşullu Rastgele Alanlar, Bağlılık Ağacı	Denetimsiz	%77 - %86 arası değişen başarı düzeyleri elde edilmiştir
(Davidov ve diğ., 2010)	2010	Twitter mesajları	Yöntem önerisi	İngilizce	Hashtag'ler gibi Twitter jargonlarını kapsayan KT	Denetimli	%57 - %86 arası değişen çok çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.
(Taboada ve diğ., 2011)	2011	Ürün yorumları	Duygu derecelendirme	İngilizce	Sözcük tabanlı. Sözlük "Mechanical Turk" servisi ile oluşturulmuştur	Denetimsiz	Farklı duygu terimleri sözlükleri ile %58 - %78 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir
(Kang ve diğ., 2012)	2012	Restoran yorumları	Karşılaştırmalı Analiz	İngilizce	Unigram, Bigram, Unigram+Bigram modelleri, DVM, NB kıyaslanmıştır. Improved NB yöntem önerisi	Denetimli	Önerdikleri Geliştirilmiş NB'nin en yüksek başarı oranlarını elde ettiğini göstermişlerdir
(Mejova ve Srinivasan, 2011)	2011	Ürün yorumları	Karşılaştırmalı Analiz	İngilizce	"kelime - kelime kökü", "ikili - terim frekans ağırlığı", "olumsuzluk kelime ve ekleri", "n-gram" (unigram, bigram, 3-gram) özellikleri karşılıklı kıyaslanmıştır	Denetimli	Farklı özellik seçimlerine göre çok kapsamlı sonuçlar yayınlanmıştır.
(Bespalov ve diğ., 2011)	2011	Ürün yorumları	Yüksek seviyeli n-gramlar için yöntem önerisi	İngilizce	Yüksek seviyeli n-gramlardaki hesaplama maliyetini düşürmek için "Neural Network" tabanlı bir yöntem önerilmiştir	Denetimsiz	Yüksek seviyeli n-gramların hesaplama sürelerini kabul edilebilir seviyeye indirmişlerdir.
(Balahur ve diğ., 2012)	2012	Sosyal mesajlar	Yöntem önerisi	İngilizce	Psikolojideki Appraisal Theory'den ve psikoloji ISEAR veri bankasından faydalanılmıştır	Denetimsiz	%22 - % 62 arası değişen başarı oranı elde edilmiştir.
(Zhang ve diğ., 2014)	2014	Apple Store yorumları	Karşılaştırmalı Analiz	İngilizce	1-gram, 2-gram, 3-gram, 4-gram modelleri, DVM, NB sınıflandırma algoritmaları karşılıklı kıyaslanmıştır	Denetimli	NB'nin az farkla DVM'den iyi olduğu, n-gram'lardan 2-gramın en iyi olduğu sonuçları elde edilmiştir
(Zhang ve diğ., 2014)	2014	Facebook, Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Sentaktik Analiz, KRA	Denetimsiz	Facebook mesajlarında %61, ürün yorumlarında %66 - %72 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir
(Habernal ve diğ., 2015)	2015	Facebook mesajları	Yöntem önerisi	Çek Dili	Kelime n-gram, Karakter n-gram, TF-TDF	Denetimli	Karakter n-gram ve smiley özelliklerinin başarıyı arttırdığını ortaya koymuşlardır

(Park ve diğ., 2015)	2015	Sosyal medya mesajları	Sözlük oluşturma yöntem önerisi	İngilizce	Etiketlenmiş eğitim verisi kullanılarak sözlük oluşturulmuştur	Denetimli	Yeteri kadar eğitim verisi olduğunda SentiWordNet'ten daha iyi bir başarı ortaya koyduğunu göstermişlerdir
(Fernández-Gavilanes ve diğ., 2015)	2016	Sinema yorumları, Tweetler	Yöntem önerisi	İngilizce	Bağlılık ağacı kullanarak çok detaylı sentaktik analiz	Denetimsiz	%60 - %75 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
(Khan ve diğ., 2016)	2016	Sinema, ürün yorumları	Sözlük oluşturma yöntem önerisi	İngilizce	SentiWordNet sözlüğünü kullanarak duygu analizi için daha kullanışlı sözlük oluşturmuşlardır	Denetimsiz	Oluşturdukları sözlüğün duygu sınıflandırmada SentiWordNet'ten daha başarılı olduğunu göstermişlerdir
(Chen ve diğ., 2017)	2017	Sinema, ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	KRA, Evrişimli Sinir Ağları	Denetimli	Birçok farklı yöntemle kıyaslamasını yapmışlar ve %85.4'lük başarı oranı ile en yüksek sonucu elde etmişlerdir.
(Eroğul, 2009)	2009	Sinema Yorumları	Yöntem önerisi	Türkçe	KT, kelime n-gram, sözcük türü, DVM	Denetimli	Farklı parametrelerle yapılan testlerde %75 - %89 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir
(Kaya ve diğ., 2012)	2012	Politika haberleri	Yöntem önerisi	Türkçe	Hibrit yaklaşım. Ayrıca İngilizce ve Türkçe metinlerde performans kıyaslaması yapmışlardır.	Yarı-Denetimli	Farklı konfigürasyonlarla yaptıkları testlerde %62 - %82 arası değişen başarı oranları elde etmişlerdir.
(Şimşek ve Özdemir, 2012)	2012	Twitter mesajları	Yöntem önerisi	Türkçe	Mechanical Turk servisi ile sözlük oluşturulmuştur. WEKA aracı ile sınıflandırma	Denetimsiz	Tweetlerdeki mutluluk düzeyinin borsa endeksi ile ilişkisini analiz etmişlerdir. %45'lik bir korelasyon gözlemişlerdir.
(Çetin ve Amasyalı, 2013)	2013	Twitter mesajları	Yöntem önerisi	Türkçe	TF, TF-TDF, NB, 1-En Yakın Komşu, DVM, Karar Ağacı, Rastgele Orman	Denetimli	Farklı parametrelerle testler yapılmış ve çok farklı sonuçlar yayınlanmıştır
(Aytekin, 2013)	2013	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	Türkçe	Sözcük tabanlı yöntem ile NB'ye dayalı makine öğrenmesi bir arada.	Yarı-Denetimli	Veri seti üzerinde %73'lük bir başarı oranı elde etmişlerdir.
(Sevindi, 2013)	2013	Sinema Yorumları	Karşılaştırmalı analiz	Türkçe	Özellik vektörü özellikleri ve DVM, NB, K-En Yakın Komşu sınıflandırma algoritmaları karşılıklı kıyaslanmıştır.	Denetimli	Farklı n-gramlar ve DVM, NB, K-En Yakın Komşu gibi farklı sınıflandırıcılarla çok çeşitli sonuçlar yayınlamışlardır.
(Meral ve Diri, 2014)	2014	Twitter mesajları	Yöntem önerisi	Türkçe	Karakter 2-gram, 3-gram. NB, DVM, Rastgele Orman	Denetimli	Farklı konfigürasyonlarla yaptıkları testlerde %59 - %79 arası değişen başarı oranları elde etmişlerdir.
(Akba ve diğ., 2014)	2014	Sinema yorumları	Karşılaştırmalı analiz	Türkçe	Bilgi Kazanımı ve Ki Kare özellik algoritmaları NB ve DVM kullanarak kıyaslanmıştır	Denetimli	Bilgi Kazanımı ve Ki Kare'de çok yakın sonuçlar. DVM ise NB'den daha başarılı sonuçlar doğurmuştur.

Özellik Tabanlı Düzeydeki Duygu Analizi Çalışmaları (Aspect Level Sentiment Analysis Works)

Literatürde özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmaları, doküman düzeyindeki çalışmalarına göre daha yakın döneme aittir. Hu ve Liu'nun, 2004 yılında ürün yorumları üzerinde yaptıkları çalışma, özellik tabanlı düzeyde yapılan ilk çalışmadır (Hu ve Liu, 2004). Hu ve Liu çalışmalarında sözcük tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Sözcük tabanlı yöntem için manuel olarak duygu terimleri sözlüğü derlemek yerine az sayıda tohum duygu terimleri belirlemişler, daha sonra WordNet'in (WordNet, 2017) eş ve zıt anlamlı kelimeler servisiyle genişleterek duygu terimleri sözlüğünü oluşturmuşlardır. Özellik çıkarımı içinse yukarıda detayları anlatılan "sık geçen isimler" adını verdikleri ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından kullanılmış olan yöntemi önermişlerdir.

Ding ve arkadaşları 2008 yılında sözcük tabanlı özellik düzeyinde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Ding ve diğ., 2008). Çalışmada, NLProcessor (NLProcessor, 2017) aracı ile doğal dil işleme yöntemlerini uygulamışlar, zıtlık bağlaçlarını özel olarak ele almışlardır. Ayrıca duygu ifadelerinin hedefi olan ürün özelliklerini tespit etmek için cümle içinde kelimeler arasındaki mesafeye dayalı bir yöntem uygulamışlardır. Ding ve arkadaşları önerdikleri yöntemi Hu ve Liu'nun (Hu ve Liu, 2004)'da kullandıkları veri kümesi üzerinde ve (Popescu ve Etzioni, 2005)'de önerilen yöntemlerle karşılaştırmalı olarak test etmişlerdir ve daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Wu ve arkadaşları 2009 yılında ürün yorumları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Wu ve diğ., 2009). Bağlılık ağacı tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Ancak, "phrase dependency tree" olarak adlandırdıkları farklı bir bağlılık ağacı yapısı kullanmışlardır. Bağlılık ağacında her bir düğüm bir kelimedenden oluşur, cümledeki kelimeler arasındaki bağlılıklar temsil edilir. Phrase dependency tree'de her bir düğümde anlam bütünlüğü içinde olan isim tamlamaları gibi cümlelerin anlamlı alt parçacıkları temsil edilmektedir. Bu şekilde bağlılık ağacındaki gibi tamamen kelimelere ayrıldığı zaman isim tamlamaları gibi cümle parçacıklarındaki anlam kaybı azaltılmış olmaktadır. Phrase dependency tree'deki ilişkilerin analiz edilmesi sonucu duygu ifadelerinin hedefleri olan ürün özellikleri ve pozitif/negatif duygu yönelimi tespit edilmeye çalışılmıştır. Önerdikleri bu yöntemi, yaygın kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırmak amacıyla bir veri kümesi üzerinde test etmişlerdir. Veri kümesi oldukça karmaşık olduğu için diğer yöntemlerin başarı oranları %25, %30'lara kadar düşmüştür. Önerilen yöntem ise %53 ile %68 arasında başarı oranı elde etmiştir.

Wei ve Gulla, 2010 yılında yaptıkları çalışmada ontolojilerden faydalanmışlardır (Wei ve Gulla, 2010). Çalışmalarında Sentiment Ontology Tree (SOT) adını verdikleri, ürünün kendisini ve tüm hiyerarşik özelliklerini ve bunların duygu sınıflandırmasını tutan bir ağaç yapısı tanımlamışlardır. Cesa-Bianchi ve arkadaşlarının geliştirdiği H-RLS hiyerarşik sınıflandırma algoritması (Cesa-Bianchi ve diğ., 2006) üzerine bina ettikleri, HL-SOT adını verdikleri hiyerarşik sınıflandırma algoritması ile ürünün kendisi ve hiyerarşik özelliklerine göre duygu sınıflandırması yapmışlardır.

Brody ve Elhadad, 2010 yılında restoran yorumları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Brody ve Elhadad, 2010). Özellik çıkarımı için Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritmasını kullanmışlardır. Brody ve Elhadad çalışmalarında, LDA'yı cümlelerden özellik çıkarımı yapacak şekilde uyarlamışlardır. Özellik çıkarımını yaptıktan sonra, o özellik hakkındaki duygu yönelimini tespit etmek için, bir ayrıştırıcı kullanarak o özelliği ifade eden terimler ve o terimleri niteleyen sıfatlar arasında bağlılık grafi oluşturarak duygu polaritesini tespit etmişlerdir.

Moghaddam ve Ester, 2010 yılında ürün yorumları üzerinde yaptıkları özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmasında özellik çıkarımı için sık geçen isimler yöntemini uygulamışlardır (Moghaddam ve Ester, 2010). Çalışma özellik çıkarımının ardından duygu polaritesini tespit etmek için özelliği ifade eden terime en yakın olan sıfat tipindeki sözcüğü duygu ifadesi terimi olarak ele almışlar ve WordNet'in sağladığı servisleri kullanarak duygu polaritesini tespit etmişlerdir. Yaptıkları testlerde %70 ile %90 arasında başarı oranı elde etmişlerdir.

Jiang ve arkadaşları, 2011 yılında Twitter mesajları üzerinde özellik tabanlı duygu sınıflandırması çalışması yapmışlardır (Jiang ve diğ., 2011). Yapılan çalışma, verilen bir hedef hakkında, mesajlardaki pozitif ve negatif duygu yönelimlerini bulmayı amaçlamıştır. Duygu polaritesini tespit etmek için de

doğal dil işleme yöntemlerinden ve NKB skorundan faydalanmışlardır. Sözcük türü belirleme, kelime köklerini bulma, cümlenin sentaktik analizi ve kural tabanlı yöntemler uygulamışlardır. Son olarak yöntemin başarısını arttırmak için kullanıcının daha önce yazdığı, "retweet" ettiği ve cevap yazdığı mesajlardan bir graf oluşturularak, o mesajlardaki duygu polaritelerinden de faydalanmışlardır. Jiang ve arkadaşları yaptıkları testlerde önerdikleri yöntemin test verisi üzerinde %68 oranında bir başarı oranı ortaya koyduğunu, karşılaştırdıkları diğer yöntemlerin başarı oranlarının ise %60 - %63 aralığında olduğunu ifade etmişlerdir.

Qiu ve arkadaşları 2011 yılında, ürün yorumları üzerinde yaptıkları özellik tabanlı duygu analizi çalışmasında sözcük tabanlı bir yöntem uygulamışlardır (Qiu ve diğ., 2011). "Double Propagation" adını verdikleri yöntemde, önce az sayıda pozitif/negatif duygu terimleri ile başlanmaktadır. Cümleler bir bağıllık ayrıştırıcı ile detaylı şekilde analiz edilmekte, sonra o az sayıda duygu ifadelerinden hedeflerin keşfedilmesi, keşfedilmiş hedef ve mevcut duygu ifadelerinden yeni duygu ifadelerinin ve yeni hedeflerin keşfedilmesi ile pozitif/negatif duygu sözcükleri ve hedefler genişletilmektedir. Bu şekilde yeni duygu sözcükleri ve hedefler bulunamayana kadar devam edilmektedir. Yaptıkları testlerde önerdikleri yöntemin %73 - %89 arasında başarı oranını yakaladığını görmüşlerdir.

Eirinaki ve arkadaşları 2012 yılında ürün yorumları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu derecelendirme çalışması yapmışlardır (Eirinaki ve diğ., 2012). Çalışmalarında, özellik çıkarımı için sık geçen isimler yöntemini üzerinde bir takım iyileştirmeler yaparak kullanmışlardır. Doğrudan isim türündeki tüm sözcüklerden en sık geçenleri seçmek yerine sadece duygu ifade eden terimlerle ilişkili olan isim türündeki sözcüklerden en sık geçenleri seçmişlerdir. Bu şekilde sık geçen isimler arasında hatalı sonuçları azaltmışlardır. Duygu polaritesinin tespitinde ise sözcük tabanlı yöntem uygulamışlardır. Sadece pozitif/negatif şeklinde bir sınıflandırma değil, -4 ile +4 arası değişen derecelendirme yapmışlardır. Eirinaki ve arkadaşları, yaptıkları testlerde önerdikleri yöntemin %87 başarı oranı ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir.

Kontopoulos ve arkadaşları, 2013 yılında Twitter mesajları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu sınıflandırma çalışması yapmışlardır (Kontopoulos ve diğ., 2013). Yaptıkları çalışmanın ana odak noktası duygu sınıflandırmadan ziyade Twitter mesajlarında ve metinlerde bahsi geçen varlıklar ve bu varlıkların özelliklerinin çıkarımı üzerinedir. Çalışmalarında kendi geliştirdikleri bir duygu sınıflandırma yöntemini değil, OpenDover (OpenDover, 2017) duygu sınıflandırma web servisini kullanmışlardır. Twitter mesajlarından varlıkları ve bu varlıkların özelliklerinin çıkarımı için ontoloji tabanlı Formal Concept Analysis (Ganter ve Wille, 1999) yöntemini uygulamışlardır.

Xianghua ve arkadaşları 2013 yılında Çince blog metinleri üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Xianghua ve diğ., 2013). Metinlerden özellik çıkarımı için Latent Dirichlet Allocation algoritmasını kullanmışlardır. Duygu yöneliminin tespiti için "Çince WordNet" olan HowNet (Dong ve Dong, 2006) aracını kullanmışlardır. Duygu ifadesi olan terimin HowNet'teki pozitif ve negatif duygu ifade terimleri ile olan benzerliklerine dayalı bir yöntemle duygu sınıflandırmasını yapmışlardır. Yaptıkları testlerde özellik çıkarımında %91, duygu sınıflandırmasında %92'ye varan başarı oranları elde etmişlerdir.

Bagheria ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada özellik-çıkarmı için yeni bir yöntem önermişlerdir (Bagheria ve diğ., 2013). Önerdikleri sözcük tabanlı yöntemde, sadece doğrudan ifade edilen özellikleri değil, dolaylı şekilde ifade edilen özelliklerinin çıkarımını da amaçlamışlardır. Önerdikleri yöntemde önce cümlelerdeki kelimelerin sözcük türlerini belirlemişler, sonra "isim", "sıfat ve onu takip eden isim" gibi belirledikleri sözcük türü örüntülerine uyan kelime ve kelime gruplarını "aday özellikler" olarak belirlemişlerdir. Bu aday özelliklerden eleme yapmak için önce Nakagawa ve Mori'nin (Nakagawa ve Mori, 2003) çalışmalarında önerdikleri FLR metodunu uygulamışlar, daha sonra bu çalışmada önerdikleri A-score yöntemini uygulamışlardır. Dolaylı olarak ifade edilen özellikleri bulmak için de duygu ifadesi terimi ve o ifadelerin hedefi olan ürün özellikleri arasında bir graf yapısı oluşturularak, bu graf üzerinde geliştirdikleri bir yöntemle dolaylı olarak ifade edilen özellikleri keşfetmeye çalışmışlardır.

Kang ve Park, 2014 yılında kullanıcıların mobil hizmetler konusundaki yorumları üzerinde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Kang ve Park, 2014). Çalışmada kullanıcıların bu hizmetlerin farklı yönleri hakkındaki duygu yönelimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma özellik tabanlı düzeyde gerçekleştirilmiş olsa da otomatik özellik çıkarımı yapılmamış, manuel belirlenen özelliklere göre duygu yönelimleri sınıflandırılmıştır. Kang ve Park, çalışmalarında, sadece pozitif/negatif şeklinde sınıflandırma değil, -2 ile +2 arasında değişen derecelendirme de yapmışlardır.

Isidro ve arkadaşları, 2014 yılında sinema yorumları üzerinde duygu analizi çalışmasında özellik çıkarımı için ontolojiden faydalanmışlardır (Isidro ve diğ., 2011). Çalışmada IMDb (IMDb, 2017) kaynaklı verilerden oluşturulan "http://www.movieontology.org" sitesindeki sinema ontolojisinden faydalanmışlardır. Duygu sınıflandırması için SentiWordNet (Baccianella ve diğ., 2010) aracını kullanarak denetimsiz öğrenmeye dayalı bir yöntem uygulamışlardır. Yaptıkları testlerde özellik çıkarımında %71 ile %78 arasında, duygu sınıflandırmasında ise %56 ile %89 arasında değişen başarı oranları elde etmişlerdir.

Quan ve Ren 2014 yılında ürün yorumları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Quan ve Ren, 2014). Özellik çıkarımı için önce yorumdaki tüm isimleri aday özellik olarak belirlemişler, daha sonra bu aday özelliklerin ürünle olan ilişki düzeyini belirlemek TF-TDF ile NKB yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Ürün özelliklerini belirledikten sonra duygu ifadelerini ve duygu polaritelerini tespit etmek için bağıllık ayrıştırıcısı kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi dijital kameralar, cep telefonları, mp3 çalarlar ve router'lar hakkındaki derledikleri yorumlar üzerinde test etmişlerdir. Bu testlerde özellik çıkarımında %61 ile %89 arasında, duygu sınıflandırmasında ise %66 ile %77 arasında başarı oranı elde etmişlerdir.

Kansal ve Toshniwal 2014 yılında ürün yorumları üzerinde yaptıkları duygu analizi çalışmasında özellik çıkarımı için sık geçen isimler yöntemini uygulamışlardır (Kansal ve Toshniwal, 2014). Sık geçen isimlerden özellik olmayanları elemek için olasılık tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Özelliklere göre duygu sınıflandırmasında ise birçok sözcük tabanlı çalışmada göz önüne alınmayan durumları incelemişlerdir. Örneğin, "uzun" sıfatı duygu polaritesi bakımından nötrdür ama kullanıldığı bağlama göre polaritesi değişebilir. "Bu telefonun pil ömrü uzun" şeklindeki bir yorumda pozitif polariteye, "Telefonun açılma süresi çok uzun" şeklinde bir yorumda ise negatif polariteye sahiptir. Kansal ve Toshniwal, cümle yapılarının, bağlaçların detaylı analizlerini yaparak "bağlama bağlı duygu terimlerini" tespit etmeye çalışmışlardır.

Bhadane ve arkadaşları, 2015 yılında ürün yorumları üzerinde yaptıkları özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmasında DVM sınıflandırıcısı ile denetimli makine öğrenmesine dayalı bir yöntem uygulamışlardır (Bhadane ve diğ., 2014). Yaptıkları çalışmada önce özellik çıkarımı için daha sonra o özellik hakkındaki duygu yöneliminin tespiti için iki aşamalı denetimli öğrenmeye dayalı sınıflandırma yapmışlardır. 41 yorumdan oluşan küçük bir test kümesi üzerinde yaptıkları testlerde %78 gibi bir başarı oranı elde etmişlerdir.

Maharani ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmada özellik çıkarımı için bir yöntem önermişlerdir (Maharani ve diğ., 2015). Önerdikleri, doğal dil işleme araçları ile sentaktik analiz tabanlı bir yöntemdir. Maharani ve arkadaşları, önce cümlelerdeki sözcük türlerini belirlemişler ve bu sözcük türlerine göre kural tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Maharani ve arkadaşları, yaptıkları testlerde önerdikleri yöntemle özellik çıkarımında %39 ile %80 arasında başarı oranı elde etmişlerdir.

Li ve arkadaşları, 2015 yılında Çince ürün yorumları üzerinde özellik çıkarımına yönelik bir çalışma yapmışlardır (Li ve diğ., 2015). Çalışmalarında sık geçen isimler yöntemini geliştirmişlerdir. Li ve arkadaşları, sık geçen isimler yönteminde özellik olmayan isimleri elemek için cümlelerdeki kelimelerin dizilişini analiz etmeye, NKB skorlarına ve anlamsal ölçümleri yapmaya dayalı bir yöntem önermişlerdir. Yaptıkları testlerde önerdikleri yöntem ile özellik çıkarımında %67 ile %82 arasında başarı oranları elde etmişlerdir.

Liao ve arkadaşları 2016 yılında Çince sosyal medya mesajları üzerinde özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Liao ve diğ., 2016). Mesajlardaki konuların (özelliklerin) çıkarımı için graf veri yapısını kullanmışlardır. Graf'ta düğümler konu ile ilgili kelimeleri tutmakta, kenarlar ise

iki düğüm (kelime) arasındaki anlamsal bağa göre bir ağırlık değeri almaktadır. Bu ağırlık değerini TF-TDF yöntemine benzer kendi önerdikleri bir yöntem ile hesaplamışlardır. Daha sonra bu ağırlıklandırılmış graf yapısını ile son yıllarda kullanımı yaygınlaşmakta olan kelime yerleştirme (word embeddings) yöntemini birleştirerek yöntemlerini tamamlamışlardır. Yaptıkları testlerde %71,9 ile %83,69 arası değişen başarı oranları elde etmişler ve önerdikleri yöntemin diğer birçok yöntemden daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Liu ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları özellik tabanlı duygu analizi çalışmasında sadece özellik çıkarımı üzerinde çalışmışlardır (Liu ve diğ., 2016). Kullandıkları yöntem kural tabanlı bir yöntemdir fakat diğer kural tabanlı yöntemlerden oldukça farklıdır. Liu ve arkadaşları daha önce yapılmış olan kural tabanlı çalışmalardaki kuralları aynen almışlar ama bu kuralların hepsini birden kullanmak yerine içlerinden en yüksek başarı oranını sağlayacak kurallar setini tespit etme üzerine çalışmışlardır. En yüksek başarı oranını sağlayacak olan kurallar setini tespit etmenin NP-Hard bir problem olduğunu ortaya koymuşlar ve sezgisel arama yöntemleri kullanmışlardır. Açgözlü arama ve benzetimli tavlama algoritmaları ile en ideal kurallar setini seçmeye çalışmışlardır. Bu sezgisel yöntemlerle seçtikleri kurallar seti ile yaptıkları testleri, kuralların tamamını uygulayarak yaptıkları testlerle kıyaslamışlar ve uyguladıkları sezgisel kural seti belirleme yönteminin başarı oranını arttırdığını göstermişlerdir.

Türkçe’de özellik tabanlı düzeydeki ilk duygu analizi çalışması Akbaş’ın 2012 yılında yapmış olduğu tez çalışmasıdır (Akbaş, 2012). Akbaş, Twitter mesajlarının önce hangi konu hakkında olduğunu ve sonra da duygu yönelimini tespit etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında özellik çıkarımı için Latent Dirichlet Allocation algoritmasını, duygu yönelimini belirlemek için sözcük tabanlı yöntemle, makine öğrenmesi yöntemlerini birleştirerek uygulamıştır.

Ekinci ve Somurca 2016 yılında yaptıkları özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmada, Türkçe otel yorumları üzerinde Latent Dirichlet Allocation algoritmasını kullanarak özellik çıkarımı yapmışlardır (Ekinci ve Somurca, 2016). Ekinci ve Somurca veri setleri üzerinde yaptıkları testler sonucunda %69 kesinlik, %80 duyarlılık, %74 F-ölçümü başarı oranları elde etmişlerdir.

Dehkharghani ve arkadaşları 2016 yılında Türkçe sinema yorumları üzerinde doküman, cümle ve özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışması yapmışlardır (Dehkharghani ve diğ., 2016). Yaptıkları özellik tabanlı düzeydeki çalışmada tamamen otomatik özellik çıkarımı yapmamışlar, sinema özellikleri ile ilgili kelimelerin bir listesini elle oluşturmuşlardır. ITU Turkish Parser (Eryiğit ve diğ., 2014), SentiTurkNet (Dehkharghani ve diğ., 2016) araçlarını kullandıkları çalışmada, doküman ve cümle düzeyindeki sınıflandırma için bağlılık ağacı tabanlı denetimli makine öğrenmesine dayalı bir yöntem uygulamışlardır. Dehkharghani ve arkadaşları, çalışmalarında %79 oranında bir başarı elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Özellik tabanlı düzeyde duygu sınıflandırması alanında yapılmış çalışmalar özet halinde Çizelge 3’te sunulmuştur.

Bunların dışında önemli bir Türkçe kaynak olarak Can ve Alataş’ın 2017 yılında yayınlanan, duygu analizi ve fikir madenciliğinde kullanılan yöntemleri anlattıkları ve literatürdeki çok sayıda çalışmayı özetledikleri bir tarama/değerlendirme makalesi bulunmaktadır (Can ve Alataş, 2017).

Çizelge 3. Özellik tabanlı düzeyde duygu analizi çalışmaları*Table 3. Aspect level sentiment analysis works*

Ref. no	Yıl	Veri seti	Çalışma türü	Dil	Uygulanan yöntem/algorithm	Denetimli/denetimsiz	Sonuçlar
(Wu ve diğ., 2009)	2009	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Bağlılık ağacı tabanlı "Phrase Dependency Tree" olarak adlandırdıkları bir veri yapısı kullanmışlardır	Denetimsiz	Karmaşık bir veri setinde test yapılmıştır. %53 - %68 arası değişen başarı oranı elde edilmiştir
(Wei ve Gulla, 2010)	2010	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Ontoloji tabanlı "Sentiment Ontoloji Tree" adını verdikleri yöntem.	Denetimsiz	Yapılan testlerde %84 gibi bir başarı oranı elde edilmiştir
(Brody ve Elhadad, 2010)	2010	Restoran yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Özellik çıkarımı: Konu modelleme, LDA	Denetimsiz	Recall-Precision ölçümleri verilmiştir. %80'lik recall ve %50 - %85 arası precision elde edilmiştir
(Moghaddam ve Ester, 2010)	2010	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Duygu tespiti: Ayrıştırıcı ile sentaktik analiz. Özellik Çıkarımı: "Sık Geçen İsimler" yöntemi	Denetimsiz	%70 ile %90 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir
(Qiu ve diğ., 2011)	2011	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Duygu Tespiti: WordNet'i kullanmışlardır. Bağlılık ağacı kullanılarak cümlelerin sentaktik analizine dayalı "Double Propagation" adını verdikleri yöntem	Denetimsiz	%73 - %89 arası değişen bir başarı oranı elde edilmiştir
(Jiang ve diğ., 2011)	2011	Twitter mesajları	Yöntem önerisi	İngilizce	Özellik çıkarımı: co-reference çözümü ve NKB	Denetimsiz	Duygu tespiti: Sentaktik analiz, kural tabanlı
(Eirinaki ve diğ., 2012)	2012	Ürün yorumları	Duygu derecelendirme yöntem önerisi	İngilizce	Özellik Çıkarımı: Sentaktik analiz ve Sık Geçen İsimler üzerinde iyileştirme. Duygu Tespiti: Sentaktik analiz ile (-4, +4) arası duygu derecelendirme.	Denetimsiz	%68 gibi bir başarı oranı elde edilmiştir.
(Kontopoulos ve diğ., 2013)	2013	Twitter mesajları	Özellik çıkarımı yöntem önerisi	İngilizce	Ontoloji tabanlı Formal Concept Analysis yöntemi	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde farklı parametrelerle yaptıkları çok sayıda testlerde %40 - %80 arası değişen başarı oranları elde etmişlerdir
(Xianghua ve diğ., 2013)	2013	Sosyal mesajlar	Yöntem önerisi	Çince	Özellik çıkarımı: Konu modelleme, LDA	Denetimsiz	Duygu tespiti: Çince WordNet olan HowNet aracı kullanılmıştır.
(Bagheria ve diğ., 2013)	2013	Ürün yorumları	Özellik çıkarımı yöntem önerisi	İngilizce	Özellik Çıkarımı: Sentaktik analize dayalı NKB skorlarının da kullanıldığı kural tabanlı yöntem.	Denetimsiz	Çok farklı değişkenlere göre sonuçlar yayınlanmıştır. Genel olarak %53 - %72 arası başarı oranları elde edilmiştir
(Kang ve Park, 2014)	2014	Ürün yorumları	Duygu derecelendirme yöntem önerisi	İngilizce	Stanford Parser ve WordNet ile sentaktik analiz yöntemi ile duygu derecelendirme	Denetimsiz	%92'ye varan başarı oranları elde etmişlerdir.
(Isidro ve diğ., 2011)	2014	Sinema yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Özellik Çıkarımı: Sinema ontolojisi ile ilgili "http://www.movieontology.org" sitesindeki Ontolojilerden faydalanarak yapılmıştır. Duygu Tespiti: SentiWordNet kullanılmıştır.	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde yapılan testlerde %79 - %90 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
							Çok farklı parametrelere göre çok farklı sonuçlar yayınlanmıştır
							Özellik çıkarımında %71 ile %78 arası değişen, duygu sınıflandırmasında ise %56 ile %89 arası değişen başarı elde edilmiştir

(Quan ve Ren, 2014)	2014	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Özellik Çıkarımı: NKB ve TF-TDF Duygu Tespiti: Bağlılık Ayrıştırıcı (Dependency Parser) kullanılmıştır.	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde yapılan testlerde %61 - %89 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
(Kansal ve Toshniwal, 2014)	2014	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Özellik Çıkarımı: Sık Geçen İsimler Duygu Tespiti: Sentaktik analiz, Duygu terimleri sözlüğü	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde yapılan testlerde %78,5 - %85 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
(Bhadane ve diğ., 2014)	2015	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	DVM sınıflandırıcısı ile denetimli makine öğrenmesine dayalı yöntem	Denetimli	%78'e varan başarı oranı elde edilmiştir
(Maharani ve diğ., 2015)	2015	Ürün yorumları	Özellik çıkarım yöntem önerisi	İngilizce	Sözcük türüne göre belli örüntülerin cümlelerde arandığı kural tabanlı yöntem	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde farklı konfigürasyonlarla yapılan testlerde %39 - %80 arası değişen başarı oranları
(Li ve diğ., 2015)	2015	Ürün yorumları	Özellik çıkarımı yöntem önerisi	Çince	Sık geçen isimler, NKB skoru ve sözcüklerin diziliminin göz önüne alındığı bileşik yöntem	Denetimsiz	Farklı veri setleri üzerinde yapılan testlerde %73 - %79 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
(Liao ve diğ., 2016)	2016	Sosyal medya mesajları	Yöntem önerisi	Çince	Kendi belirledikleri formata sahip ağırlıklandırılmış bir graf yapısı ile Word Embeddings yöntemini kombine etmişlerdir.	Denetimsiz	%71,9 ile %83,69 arası değişen başarı oranları elde etmişlerdir.
(Liu ve diğ., 2016)	2016	Ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Kural tabanlı bir yöntem uygulamışlardır. Optimum kurallar setini tespit etmek için sezgisel arama yöntemleri uygulamışlardır	Denetimsiz	Aynı kurullarla normal kural tabanlı klasik yöntemlere göre daha yüksek başarı oranı elde etmişlerdir.
(Akhtar ve diğ., 2017)	2017	Restoran ve ürün yorumları	Yöntem önerisi	İngilizce	Makine öğrenmesi için 19 farklı özellik seçim yönteminden en ideal kombinasyonu bulabilmek için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını uygulamışlardır	Denetimli	19 farklı özellik seçim yönteminin direk olarak uygulanmasından daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.
(Akbaş, 2012)	2012	Twitter mesajları	Duygu derecelendirme yöntem önerisi	Türkçe	Özellik Çıkarımı: Konu modelleme, LDA Duygu Tespiti: Sözcük tabanlı ve denetimli makine öğrenmesi yönteminin harmanlandığı hibrit yaklaşım	Yarı-Denetimli	Farklı konfigürasyonlarla yapılan testlerde %45 - %88 arası değişen başarı oranları elde edilmiştir.
Ekinci ve Somurca, 2016	2016	Otel yorumları	Özellik Çıkarımı	Türkçe	Özellik Çıkarımı: Konu modelleme, LDA	Denetimsiz	Kesinlik: %69, duyarlılık: %80, F-ölçümü: %74 şeklinde başarı oranları
Dehkharghani ve diğ., 2016	2016	Sinema yorumları	Yöntem önerisi	Türkçe	Özellik çıkarımı: Otomatik özellik çıkarımı değil, sentaktik analiz Duygu Tespiti: Bağlılık ağacı, makine öğrenmesi	Denetimli/ Denetimsiz	Duygu tespitinde %79 başarı. Özellik çıkarımındaki başarı ile ilgili bilgi yok.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu makalede fikir madenciliği ve duygu analizi problemi bu konuya yabancı olanların da rahatlıkla anlayabilecekleri bir şekilde detaylarıyla birlikte anlatılmıştır. Bu çalışma alanında yerine getirilmesi gereken duygu polaritesinin tespit edilmesi, özellik çıkarımı görevleri için günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemler tanıtmıştır. Bu yöntemlerin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları analiz edilmiştir.

Literatürde fikir madenciliği ve duygu analizi ile ilgili 2010 yılından günümüze kadar yapılmış çalışmalar incelenmiş ve bunların arasından seçilmiş çok sayıda çalışma, Doküman Düzeyindeki Duygu Analizi Çalışmaları ve Özellik Tabanlı Düzeydeki Çalışmaları başlıkları altında tek tek özetlenmiştir. Ayrıca bu çalışmalar toplu olarak çizelge şeklinde de sunulmuştur. Literatürde farklı yöntemlere göre duygu analiz çalışmaları araştırmak isteyenler için bu literatür taramasının önemli bir kaynak olarak kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Çok sayıda çalışmanın incelenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde, duygu analizi ve fikir madenciliği ile ilgili aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Duygu analizi ve fikir madenciliği çalışmalarında yerine getirilmesi gereken temel görev olan duygu polaritesinin tespit edilmesinde kullanılan yöntemler iki ana kategori altında yer almaktadır: Makine öğrenmesine dayalı yöntemler ve sözcük tabanlı yöntemler. Yapılan çalışmalarda makine öğrenmeye dayalı yöntemlerin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir fakat makine öğrenmesinde etiketlenmiş eğitim verisi temin etme zorluğu bulunmaktadır. Sözcük tabanlı yöntemlerle, makine öğrenmesine çok yakın başarı oranlarının elde edildiği çalışmalar da vardır. Sözcük tabanlı yöntemlerde çoğunlukla doğal dil işleme yöntem ve araçları kullanılmaktadır ve güçlü doğal dil işleme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerde özellik seçimi büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalardaki sonuçların incelenmesi neticesinde TF-TDF'in, KT modeli olan kelime n-gramları ve kelime n-gramları arasında özellikle bigram'ın makine öğrenmesi özellikleri olarak oldukça etkili oldukları gözlemlenmiştir. Diğer yandan KT modelinde yüksek kelime n-gramları kullanmanın işlem hacmini çok arttırdığını ve hesaplama süresini çok uzattığını unutmamak gerekmektedir.
- Duygu analizi çalışmaları günümüzde çoğunlukla sosyal medya mesajları, ürün yorumları gibi veri setleri üzerinde yapılmaktadır. Sosyal medyanın, özellikle Twitter'ın kendi jargonu, kısaltmaları ve kendine özgü bir dili vardır. Mesajlardaki karakter sınırlamasından ötürü birçok kısaltma kullanılmaktadır. Aynı durum kısmen de olsa ürün yorumları için de geçerlidir. Ayrıca kullanıcılar tarafından gelişmiş güzel yazılan bu metinlerde dil kurallarına uyulmamakta, birçok metinde noktalama işaretleri hiç kullanılmamaktadır. Sonuç olarak duygu analizi ve fikir madenciliği çalışmalarının veri setleri son derece kirli metinlerden oluşmaktadır. Duygu analizi çalışmalarında bu durum muhakkak göz önüne alınmalıdır.
- Normalde metin işleme çalışmalarında karakter n-gramı makine öğrenmesi özelliği olarak kullanılmamaktadır. Duygu analizi çalışmalarında veri setlerindeki kısaltmalar ve kirlilikten ötürü karşımıza çok sayıda bir veya iki karakterden oluşan kısaltmalar çıkmaktadır. Bu kısaltmalar dil kurallarına uygun sözcükler olmadıkları için kelime n-gramı kullanımına katılamamaktadır. Bundan ötürü bazı duygu analizi çalışmalarında kelime n-gramına ek olarak karakter n-gramı, makine öğrenmesi özelliği olarak kullanılmış ve başarıyı belirgin şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Özellik tabanlı düzeydeki duygu analizi çalışmalarında yerine getirilmesi gereken özellik çıkarımı görevi için çok farklı yöntemler denenmiştir. Makine öğrenmesine dayalı ve sözcük tabanlı yöntemler dışında ontoloji tabanlı yaklaşımlar, konu modelleme gibi yöntemler de kullanılmaktadır. Eğer etiketlenmiş yeteri miktarda ve zenginlikte eğitim verisi varsa makine öğrenmesine dayalı bir yöntem kullanmak mantıklıdır. Ontoloji tabanlı yöntem, çalışılan dilde çalışma alanı ile ilgili ontoloji bilgisi varsa kullanılabilir. Konu modelleme son yıllarda kullanımı

artmış bir yöntemdir. Bu yöntem istatistiksel ve olasılıksal dağılımlara dayalı olduğu için veri setinin büyük olması gerekmektedir çünkü küçük bir veri setinde anlamlı istatistiksel dağılımlar elde edilememektedir.

Duygu polaritesinin tespit edilmesi ve özellik çıkarımı bazı çalışmalarda birbirinden bağımsız görevler olarak ele alınmış ve ona göre bir yöntem uygulanmıştır. Bazı çalışmalar da ise bu iki görevin birbirinden ayrılmayacağı, bazı sözcüklerin ancak bir ürün özelliği ile polariteye sahip olduğu, hatta bazı sözcüklerin polaritelerinin ürün özelliğine göre farklılık gösterdiği ifade edilmiş ve özellik çıkarımının duygu polaritesinin tespit edilmesi ile birlikte yapılması gerektiği savunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akba, F., Uçan, A., Sezer, E.A., Sever, H., "Assessment of Feature Selection Metrics for Sentiment Analyses: Turkish Movie Reviews", *8th European Conference on Data Mining*, Lizbon, Portekiz, 180-184, 2014.
- Akbaş, E., 2012, *Aspect Based Opinion Mining on Turkish Tweets*, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akhtar, M.S., Gupta, D., Ekbal, A., Bhattacharyya, P., 2017, "Feature Selection and Ensemble Construction: A Two-Step Method for Aspect Based Sentiment Analysis", *Knowledge-Based Systems*, Cilt 125, ss.116-135.
- Aytekin, Ç., 2013, "An Opinion Mining Task in Turkish Language A Model for Assigning Opinions in Turkish Blogs to the Polarities", *Journalism and Mass Communication*, Cilt 3, ss.179-198.
- Bagheria, A., Saraee, M., Jong, F., 2013, "Care More About Customers: Unsupervised Domain-Independent Aspect Detection for Sentiment Analysis of Customer Reviews", *Knowledge-Based Systems*, Cilt 52, ss.201-203.
- Balahur, A., Hermida, J.M., Montoyo, A., 2012, "Detecting Implicit Expressions of Emotion in Text: A Comparative Analysis", *Decision Support Systems*, Cilt 53, ss.742-753.
- Baccianella, S., Esuli, A., Sebastiani, F. "SentiWordNet 3.0: An Enhanced Lexical Resource for Sentiment Analysis and Opinion Mining", *In Proceedings of the 7th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'10)*, Valletta, MT, İtalya, 2200-2204, 2010.
- Bespalov, D., Bai, B., Qi, Y., Shokoufandeh, A., "Sentiment Classification Based on Supervised Latent n-gram Analysis", *In Proceedings of CIKM '11, 20th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, Glasgow, İngiltere, 375-382, 2011.
- Bhadane, C., Dalal, H., Doshi, H., 2015, "Sentiment Analysis: Measuring Opinions", *Procedia Computer Science*, Cilt 45, ss.808-814.
- Blei, D.M., Ng, A.Y., Jordan, M.I., 2003, "Latent Dirichlet Allocation", *The Journal of Machine Learning Research*, Cilt 3, ss.993-1022.
- Brody, S., Elhadad, N., "An Unsupervised Aspect-Sentiment Model for Online Reviews", *Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, LA, ABD, 804-812, 2010.
- Can, Ü., Alataş, B., 2017, "Duygu Analizi ve Fikir Madenciliği Algoritmalarının İncelenmesi", *International Journal of Pure and Applied Sciences*, Cilt 3, ss.75-111.
- Cesa-Bianchi, N., Gentile, C., Zaniboni, L., 2006, "Incremental Algorithms for Hierarchical Classification", *Journal of Machine Learning Research*, Cilt 7, ss.31-54.
- Chen, T., Xu, R., He, Y., Wang, X., 2017, "Improving Sentiment Analysis via Sentence Type Classification using BiLSTM-CRF and CNN", *Expert Systems with Applications*, Cilt 72, ss.221-230.
- Choi, Y., Cardie, C., "Learning with Compositional Semantics as Structural Inference for Subsentential Sentiment Analysis", *In Proceedings of EMNLP'08, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Waikiki, Hawaii, 793-801, 2008.
- Church, K.W., Hanks, P., 1990, "Word Association Norms, Mutual Information and Lexicography", *Computational Linguistics*, Cilt 16, ss.22-29.

- Çetin, M., Amasyalı, M.F., "Supervised and Traditional Term Weighting Methods for Sentiment Analysis", *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Haspolat, KKTC, 1-4, 2013.
- Dalkılıç, F.E., Gelişli, S., Diri B., "Named Entity Recognition from Turkish texts", *IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Diyarbakır, Türkiye, ss. 918-920, 2010.
- Davidov, D., Tsur, O., Rappoport, A., "Enhanced Sentiment Learning Using Twitter Hashtags and Smileys", *In Proceedings of COLING'10, 23rd International Conference on Computational Linguistics*, Pekin, Çin, 241-249, 2010.
- Dehkharghani, R., Saygin, Y., Yanikoglu, B., Oflazer, K., 2016, "Sentiment Analysis in Turkish at Different Granularity Levels", *Natural Language Engineering*, Cilt 23.
- Dehkharghani, R., Saygin, Y., Yanikoglu, B., Oflazer, K., 2016, "SentiTurkNet: a Turkish Polarity Lexicon for Sentiment Analysis", *Language Resources and Evaluation*, Cilt: 50, ss.667-685.
- Ding, X., Liu, B., Yu, P.S., "A Holistic Lexicon-Based Approach to Opinion Mining", *In Proceedings of WSDM-2008, Conference on Web Search and Web Data Mining*, Stanford ABD, 231-240, 2008.
- Dong, Z., Dong, Q., 2006, *HowNet And the Computation of Meaning*, World Scientific Publishing Co.
- Eirinaki, M., Pissal, S., Singh, J., 2012, "Feature-Based Opinion Mining and Ranking", *Journal of Computer and System Sciences*, Cilt 78, ss.1175-1184.
- Ekici, E., Somurca, S. İ., 2016, "Ürün Özelliklerinin Konu Modelleme Yöntemi ile Çıkarılması", *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri Ve Mühendisliği Dergisi*, Cilt: 9, ss.51-58.
- Eroğul, U., 2009, *Sentiment Analysis In Turkish*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eryiğit, G., "ITU Turkish NLP Web Service.", *In proceedings of the Demonstrations at the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, Göteborg, İsviçre, 1-4, 2014.
- Fernández-Gavilanes, M., Álvarez-López, T., Juncal-Martínez, J., Costa-Montenegro, E., González-Castaño, F.J., 2016, "Unsupervised Method for Sentiment Analysis in Online Texts", *Expert Systems with Applications*, Cilt 58, ss.57-75.
- Frank E., Hall M. A., Witten I. H., 2016. *The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques"*, Morgan Kaufmann, 4. Baskı.
- Ganter, B., Wille, R., 1999, *Formal Concept Analysis, Mathematical Foundation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Goldensohn, S.B., Hannan, K., McDonald, R., Neylon, T., Reis, G.A., Reynar, J., "Building a Sentiment Summarizer for Local Service Reviews", *In Proceedings of WWW'08 Workshop: NLP in the Information Explosion Era*, Pekin, Çin, 2008.
- Habernal, I., Ptacek, T., Steinberger, J., 2015, "Supervised Sentiment Analysis in Czech Social Media", *Information Processing & Management*, Cilt 50, ss.693-707.
- Hailong, Z., Wenyan, G., Bo, J., "Machine Learning and Lexicon Based Methods for Sentiment Classification: A Survey", *WISA'14 Proceedings of the 2014 11th Web Information System and Application Conference*, Tianjin, China, 262-265, 2014.
- Hu, M., Liu, B., "Mining and Summarizing Customer Reviews", *KDD'04, International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Seattle, ABD, 168-177, 2004.
- IMDb, <http://www.imdb.com>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- ISEAR Databank, <http://emotion-research.net/toolbox/toolboxdatabase.2006-10-13.2581092615>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- Isidro, P.M., Rafael, V.G., Francisco, G.S., "Ontology-Guided Approach to Feature-Based Opinion Mining", *NLDB'11, Proceedings of the 16th international conference on Natural language processing and information systems*, Alicante, İspanya, 193-200, 2011.
- Jiang, L., Yu, M., Zhou, M., Liu, X., Zhao, T., "Target Dependent Twitter Sentiment Classification", *In Proceedings of ACL'11, 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Portland, ABD, 151-160, 2011.

- Kang, D., Park, Y., 2014, "Review-based Measurement of Customer Satisfaction in Mobile Service: Sentiment Analysis and VIKOR Approach", *Expert Systems with Applications*, Cilt 41, ss.1041-1050.
- Kang, H., Yoo, S.J., Han, D., 2012, "Senti-lexicon and Improved Naïve Bayes Algorithms for Sentiment Analysis of Restaurant Reviews", *Expert Systems with Applications*, Cilt 39, ss.6000-6010.
- Kansal, H., Toshiwal, D., 2014, "Aspect based Summarization of Context Dependent Opinion Words", *Procedia Computer Science*, Cilt 35, ss.166-175.
- Kaya, M., Fidan, G., Toroslu, I.H., "Sentiment Analysis of Turkish Political News", *In Proceedings of WI-IAT'12 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, Macau, Çin, 174-180, 2012.
- Kennedy, A., Inkpen, D., 2006, "Sentiment Classification of Movie Reviews Using Contextual Valence Shifters", *Computational Intelligence*, Cilt 22, ss.110-125.
- Khan, F.H., Qamar, U., Bashir, S., 2016, "eSAP - A decision support framework for enhanced sentiment analysis and polarity classification", *Information Sciences*, Cilt 367-368, ss.862-873.
- Kontopoulos, E., Berberidis, C., Dergiades, T., Bassiliades, N., 2013, "Ontology-based sentiment Analysis of Twitter Posts", *Expert Systems with Applications*, Cilt 40, ss.4065-4074.
- Kushal, D., Steve, L., Pennock, D.M., "Mining the Peanut Gallery: Opinion Extraction and Semantic Classification of Product Reviews", *In Proceedings of WWW'03, 12th International Conference on World Wide Web*, Budapest Congress Centre, Macaristan, ss. 519-528, 2003.
- Küçük, D., Yazıcı, A., "Named Entity Recognition Experiments on Turkish Texts", *In Proceedings of FQAS-2009, 8th International Conference on Flexible Query Answering Systems*, Roskilde, Danimarka, ss. 524-535, 2009.
- Lafferty, J., McCallum, A., Pereira F., "Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequence Data", *In Proceedings of ICML '01, 18th International Conference on Machine Learning*, Williams College, Williamstown, MA, ABD, ss. 282-289, 2001.
- Li, S., Zhou, L., Li, Y., 2015, "Improving Aspect Extraction by Augmenting a Frequency-Based Method with Web-Based Similarity Measures", *Information Processing and Management*, Cilt 51, ss.58-67.
- Liao, C., Fengn, C., Yang, S., Huang, H., 2016, "Topic-related Chinese Message Sentiment Analysis", *Neurocomputing*, Cilt 210, ss.237-246.
- Liu, B., 2012, *Sentiment Analysis and Opinion Mining*, Morgan & Claypool Publishers.
- Liu, Q., Gao, Z., Liu, B., Zhang, Y., 2016, "Automated Rule Selection for Opinion Target Extraction", *Knowledge-Based Systems*, Cilt 104, ss.74-88.
- Maharani, W., Widyantoro, D.H., Khodra M.L., 2015, "Aspect Extraction in Customer Reviews Using Syntactic Pattern", *Procedia Computer Science*, Cilt 59, ss.244-253.
- Martineau, J., Finin, T., "Delta TFIDF: An Improved Feature Space for Sentiment Analysis", *Proceedings of the Third International Conference on Weblogs and Social Media, ICWSM 2009*, San Jose, Kaliforniya, ABD, ss. 258-261, 2009.
- Mcdonald, R., Hannan, K., Neylon, T., Wells, M., Reynar, J., "Structured Models for Fine-to-Coarse Sentiment Analysis", *In Proceedings of ACL-07, 45th Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics*, Prag, Çek Cumhuriyeti, ss. 432-439, 2007.
- Mejova, Y., Srinivasan, P., "Exploring Feature Definition and Selection for Sentiment Classifiers", *Proceedings of ICWSM '11, 5th International AAI Conference on Weblogs and Social Media*, Barcelona, İspanya, ss. 546-549, 2011.
- Meral, M., Diri, B., "Sentiment Analysis on Twitter", *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, Türkiye, ss. 690-693, 2014.
- Moghaddam, S., Ester, M., "Opinion Digger: an Unsupervised Opinion Miner from Unstructured Product Reviews", *In Proceedings of the CIKM'10, 19th ACM international conference on Information and knowledge management*, Toronto, Kanada, ss. 1825-1828, 2010.

- Mohammad, S., Bonnie D., Cody D., "Generating High-Coverage Semantic Orientation Lexicons from Overtly Marked Words and a Thesaurus", *In Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Singapore, ss. 599–608, 2009.
- MTurk, Amazon Mechanical Turk, <https://www.mturk.com/>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- Mullen, T., Collier, N., "Sentiment Analysis Using Support Vector Machines with Diverse Information Sources", *In Proceedings of EMNLP-2004, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Barcelona, İspanya, ss. 412-418, 2004.
- Nakagawa, H., Mori, T., 2003, "Automatic Term Recognition based on Statistics of Compound Nouns and Their Components", *Terminology*, Cilt 9, ss.201–219.
- Nakagawa, T., Inui, K., Kurohashi, S., "Dependency Treebased Sentiment Classification using CRFs with Hidden Variables", *In Proceedings of HLT '10, 11th Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, Los Angeles, ABD, 786-794, 2010.
- NLProcessor - Text Analysis Toolkit, <http://www.infogistics.com/textanalysis.html>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- OpenDover, <http://opendover.nl/>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- Pang, B., Lee, L., Vaithyanathan, S., "Thumbs up?: Sentiment Classification Using Machine Learning Techniques", *In Proceedings of EMNLP-2002, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, University of Pennsylvania, PA, ABD, ss. 79-86, 2002.
- Park, S., Lee, W., Moon, I.C., 2015, "Efficient Extraction of Domain Specific Sentiment Lexicon with Active Learning", *Pattern Recognition Letters*, Cilt 56, ss.38-44.
- Popescu, A.M., Etzioni, O., "Extracting Product Features and Opinions from Reviews", *In Proceedings of EMNLP-2005, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. Vancouver, Canada, ss. 339-346, 2005.
- Qiu, G., Liu, B., Bu, J., Chen, C., 2011, "Opinion Word Expansion and Target Extraction through Double Propagation", *Computational Linguistics*, Cilt 37, ss.9-27.
- Quan, C., Ren, F., 2014, "Unsupervised product feature extraction for feature-oriented opinion determination", *Information Sciences*, Cilt 272, ss.16-28.
- Rabiner, L.R., 1989, "A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition", *Proceedings of the IEEE*, Cilt 77, ss.257-286.
- Sevindi, B.İ., 2013, *Türkçe Metinlerde Denetimli Ve Sözlük Tabanlı Duygu Analizi Yaklaşımlarının Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Swapna, S., Wiebe, J., "Recognizing stances in Online Debates", *In Proceedings of ACL'99, Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP*, Singapur, ss. 226-234, 2009.
- Şeker, G.A., Eryiğit, G., "Initial Explorations on using CRFs for Turkish Named Entity Recognition", *In Proceedings of COLING 2012, 24th International Conference on Computational Linguistics*, IIT, Bombay, Hindistan, 2459–2474, 2012.
- Şimşek, M.U., Ozdemir, S., "Analysis of the Relation between Turkish Twitter Messages and Stock Market Index", *In Proceedings of AICT '12, 6th Conference on Application of Information and Communication Technologies*, Tiflis, Gürcistan, ss. 1-4, 2012.
- Taboada, M., Brooke, J., Tofiloski, M., Voll, K., Stede, M., 2011, "Lexicon-based Methods for Sentiment Analysis", *Computational Linguistics*, Cilt 37, ss.267-307.
- Taboada, M., Caroline A., Kimberly V., "Creating Semantic Orientation Dictionaries", *In Proceedings of 5th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC)*, Cenova, İtalya, 427–432, 2006.
- Tetsuya, N., Jeonghee, Y., "Sentiment Analysis: Capturing Favorability Using Natural Language Processing", *In Proceedings of KCAP-03, 2nd International Conference on Knowledge Capture*, Sanibel Island, FL, ABD, ss. 70-77, 2003.

- Tong, R.M., "An Operational System for Detecting and Tracking Opinions in On-Line Discussion", *In Proceedings of SIGIR 2001 Workshop on Operational Text Classification*, New Orleans, Louisiana, ABD, 2001.
- Turney P.D., "Thumbs up or Thumbs down?: Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews", *In Proceedings of ACL'02, 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Pennsylvania, ABD, ss. 417-424, 2002.
- Vasileios, H., Janyce, M.W., "Effects of Adjective Orientation and Gradability on Sentence Subjectivity", *In Proceedings of COLING-2000, 18th International Conference on Computational Linguistics*, Saarbrücken, Almanya, ss. 299-305, 2000.
- Wei, W., Gulla, J.A., "Sentiment Learning on Product Reviews via Sentiment Ontology Tree", *In Proceedings of ACL'10, 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Uppsala, İsveçre, ss. 404-413, 2010.
- WordNet: An Electronic Lexical Database, <https://wordnet.princeton.edu/>, Ziyaret Tarihi: 01.10.2017.
- Wu, Y., Zhang, Q., Huang, X., Wu, L., "Phrase Dependency Parsing for Opinion Mining", *In Proceedings of EMNLP'09, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Singapur, ss. 1533-1541, 2009.
- Xianghua, F., Guo, L., Yanyan, G., Zhiqiang, W., 2013, "Multi-aspect Sentiment Analysis for Chinese Online Social Reviews based on Topic Modeling and HowNet lexicon", *Knowledge-Based Systems*, Cilt 37, ss.186-195.
- Zhang, K., Xie, Y., Yang, Y., Sun, A., Liu, H., Choudhary, A., 2014, "Incorporating Conditional Random Fields and Active Learning to Improve Sentiment Identification", *Neural Networks*, Cilt 58, ss.60-67.
- Zhang, L., Hua, K., Wang, H., Qian, G., Zhang, L., 2014, "Sentiment Analysis on Reviews of Mobile Users", *Procedia Computer Science*, Cilt 34, ss.458-465.
- Zhuang, L., Jing, F., Zhu, X., "Movie review Mining and Summarization", *In Proceedings of CIKM'06, 15th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, Indianapolis, ABD, ss. 43-50, 2006.



FARKLI KESİT GENİŞLEMELİ GEOMETRİLERİN KLİMA SANTRALLERİ İÇİN TASARLANAN BİR ANEMOSTAT TİP DİFÜZÖRLÜ BOŞ HÜCREDEKİ AKIŞA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

¹Muhammed Safa KAMER, ²Kerim SÖNMEZ, ³Ahmet KAYA

^{1,3}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Teknoloji Transfer Ofisi, Trabzon, Türkiye

^{1*}msafakamer@ksu.edu.tr, ²kerim-sonmez@hotmail.com, ³kaya38@ksu.edu.tr

(Geliş/Received: 30.03.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.05.2018)

ÖZ: Klima santrallerinde kullanılan fanların çıkış kesit alanı, fandan sonra gelen ısıtma/soğutma bataryaları, susturucu, filtre, karışım odası veya ısı geri kazanım vb. hücrelerin kesit alanından küçüktür. Klima santralinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için fanın üflediği havanın bir sonraki hücreye mümkün olan en düşük basınç düşüşü ve homojen hız dağılımı ile yayılması gerekir. Küçük bir kesit alanından çıkan havayı daha büyük bir kesit alanına yaymak için difüzörler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, havanın boş hücrede daha kısa mesafede homojen dağılımını sağlamak için hem boş hücredeki kesit genişlemesinin yapısı hem de giriş kesitinde kullanılan difüzör yapısının etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Boş hücrenin kesit genişlemesinin yapısının akış üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 5 farklı geometri (kare geometrili ani kesit genişlemesi, 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi) oluşturulmuştur. Difüzör yapısı olarak da düz (piramit yüksekliği = 0 mm) ve piramit (piramit yüksekliği = 30, 60 mm) şekilli anemostat tip difüzör kullanılmıştır. 80° kanat açısındaki üç farklı yükseklikte anemostat tipi difüzörün kullanıldığı beş farklı kesit genişlemesinin boş hücredeki basınç düşümüne ve hız dağılımına etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücrede en düşük basınç düşümü elde edilmiştir ve ayrıca difüzör piramit yüksekliğinin artmasıyla da basınç düşümünün azaldığı belirlenmiştir. 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücre içinde homojen hava akışının 80° kanat açısındaki anemostat tipi difüzörlerde h=0 ve 30 mm piramit yüksekliklerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anemostat tip difüzör, Basınç düşümü, Fan, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Klima santrali,

Numerical Investigation of The Effect Of Geometries with Different Cross Section Expansion on The Flow in An Empty Cell with An Anemostat Type Diffuser Designed For Air Conditioning Power Plants

ABSTRACT: The output cross-sectional area of the fans used in the air conditioning power plants is smaller than the cross-sectional area of cells, which are located after the fan, such as heating/cooling batteries, silencer, filter, mixing chamber or heat recovery. In order for the air conditioning power plant to operate efficiently, the air that the fan blows must spread to the next cell with the lowest possible pressure drop and homogeneous velocity distribution. Diffusers are used to spread air from a small to a larger cross-sectional area. In this study, both the structure of the sudden section expansion in the empty cell and the effect of the diffuser structure used in the inlet section have been numerically investigated to provide a homogeneous distribution of air at shorter distance in the empty cell. Five different geometries

(sudden section expansion with square geometry, section expansion with cut geometry from 45° on both sides, section expansion with cut geometry from 45° on four sides, section expansion with cut geometry from 15° on both sides, section expansion with cut geometry from 15° on four sides) have been created to determine the effect on flow of the structure of the section expansion of the empty cell. Flat (pyramid height = 0 mm) and pyramid (pyramid height = 30, 60 mm) shaped anemostat type diffusers have been used as the diffuser structure. The effect of five different cross section expansions where anemostat type diffuser is used at three different heights with 80° wing angle on the pressure drop and the velocity distribution in the empty cell has been investigated numerically. As a result of this study, the lowest pressure drop has been obtained in the empty cell with a section expansion with cut geometry from 45° on four sides, and it has also been determined that the pressure drop reduces with increasing the height of the diffuser pyramid. The homogeneous airflow in the empty cell with a section expansion with cut geometry from 45° on four sides has been found at h = 0 and 30 mm pyramid heights in the anemostat type diffusers at the 80° wing angle.

Key Words: *Anemostat type diffuser, Pressure drop, Fan, Computational fluid dynamic (CFD), Air conditioning power plant*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Klima santrallerinde emiş ve/veya üfleme fanlarının çıkışlarındaki hava akış hızları 8-15 m/s mertebelerinde olup, akışın hız dağılımı tam gelişmiş türbülanslı akıştaki hız dağılımından farklıdır (HVAC, 2006). Bu sebeple, fandan sonra arada yeterli uzunlukta bir santral bölümü veya delikli difüzörlü bir boş hücre kullanılmalıdır. Aksi durumda; havanın fan hücresinden sonra yer alan ısıtma/soğutma bataryaları, susturucu, filtre, karışım odası veya ısı geri kazanım vb. hücre yüzeylerinin ancak belirli bir kısmı ile teması söz konusu olmaktadır. Bu durum santrallerin çalışma verimlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Çalışma verimini istenen seviyede tutabilmek için fan üfleme ağzından sonra hava dağılımını kolaylaştıran perfore (delikli) sacdan yapılmış bir delikli difüzörün de içinde bulunduğu fan çark çapının yaklaşık 0.8-1.5 katı uzunlukta boş hücreler kullanılmaktadır (Bilge, 2010). Delikli difüzörlü bir boş hücre kullanımı halinde, yukarıda bahsedilen hücrelerin tüm yüzeylerinden havanın homojen bir şekilde geçirilerek çalışma verimlerinin artırılması ve buna bağlı olarak santral içi basınç kaybının azaltılması mümkün olmaktadır (Bulut ve diğ., 2011; Tanyol, 2012). Santral içi basınç kaybının azaltılması ve havanın fandan sonraki hücrelere olabildiğince homojen bir şekilde yayılması enerji verimliliği açısından oldukça önemli bir durumdur.

Literatürde akışı kontrol etmek amacıyla akış alanına yerleştirilen farklı geometrilerdeki birçok delikli sac plakadan kaynaklanan basınç düşüşü akış karakteristikleri sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır (Şahin, 1989; Şahin ve Ward-Smith, Şahin ve Ward-Smith, 1987; Şahin ve Ward-Smith, 1990; Şahin ve Ward-Smith, 1991; Şahin ve Ward-Smith, 1993; Şahin ve diğ., 1995; Noui-Mehidi ve diğ., 2005; Guo ve diğ., 2013).

Bayramgil ve diğ. (1998) bir iklimlendirme sistemi fanının çıkış kesitinde bulunan deliksiz difüzör içerisindeki akışı sayısal olarak incelemişlerdir. Difüzördeki akışın sayısal incelemesi için çeşitli difüzör açılarındaki cidar statik basınç dağılımlarını ölçmüşlerdir. Difüzör çıkışındaki akışın düzgün olmadığını, türbülans seviyesinin noktadan noktaya önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Abantoa ve diğ. (2004) bilgisayar odasının akış analizi ve konfor koşullarını sayısal olarak belirlemişlerdir. Bilgisayar odası Solidworks ticari yazılımıyla modellenmiş ve FLUENT programında çözülmüştür. Odanın havalandırılması için dört-yollu difüzör kullanılmış ve kütleli debi girişi olarak tanımlanıp sayısal analizi yapılmıştır.

Zhang ve diğ. (2009) dört farklı difüzör kullanarak (çeyrek daire delikli difüzör; ızgara difüzör; zemin delikli pano difüzör; ve swirl difüzör) bir ofisteki akışı Fluent paket programı ile modellemişlerdir.

Literatür araştırmasında klima santralinde kullanılan kare kesitli kesik piramit şeklindeki bir delikli difüzörlü boş hücre için yapılan bir HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) çalışmasında iki farklı ebattaki geometriler için sayısal analiz çalışması yapılmış olup, hücre çıkışındaki hız dağılımları incelenmiştir. (Bulut ve diğ., 2011; Tanyol, 2012).

Bulut ve diğ. (2011) iklimlendirme sistemlerinde kullanılan klima santrallerinin veriminin artırılmasına yönelik CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) yöntemiyle incelemeler yapmışlardır. Klima santrallerindeki mevcut hücre yapısını CFD analiz programı olan Fluent'de çözerek, çıkan sonuçları değerlendirip akışın yapısını bozan ve yüksek basınç düşümüne neden olan kısımlar tespit edilmiştir.

Yiğit ve diğ. (2013) piyasada mevcut standart difüzörlerden (yayıcı) farklı olarak dağıtıcılık özelliği yüksek bir difüzörün tasarlanması amacıyla, çeşitli düşey kanat açısına sahip olan difüzörlerin ortamdaki hava dağıtıcılığını sayısal olarak incelemiştirler. Oda içerisine yerleştirilen difüzörün çeşitli düşey kanat açılarında sayısal testlerini yaparak havanın ortamdaki dağılımını, hızını ve difüzörde ortaya çıkan basınç düşümlerini, ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak belirlemiştirler.

Kaya ve diğ. (2017) düz ve piramit şekilli anemostat tip difüzör kullanılması durumu için havanın boş hücreden sonraki üniteye yayılma durumunu ve difüzör tiplerinin boş hücrede sebep olduğu statik basınç düşüşünü sayısal olarak araştırmışlardır. Boş hücre içinde en homojen hava akışının düz anemostat tip difüzörde 80° kanat açısında olduğu tespit edilmiştir.

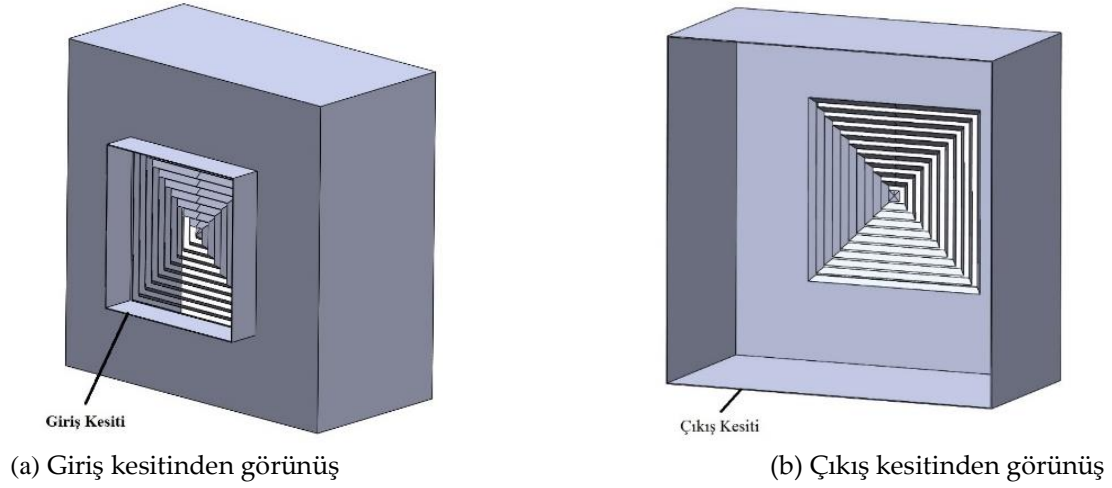
Bu çalışmada; 80° kanat açısına sahip farklı yüksekliklerdeki anemostat tip difüzör ve boş hücrenin kesit genişlemesi için tasarlanmış beş farklı geometri ele alınmıştır. Farklı difüzör yükseklikleri ve farklı boş hücre geometrilerinin akışa ve basınç düşümüne etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Olası bir iyileştirme sağlandığında üreticilerle bu sonuçların paylaşılması hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Anemostat tipi geometriye sahip difüzörlü boş hücre için sayısal analizler ANSYS 18.1 programında gerçekleştirilmiştir. Analizler 80° kanat açısına sahip üç farklı anemostat geometrisi ($h = 0, 30, 60$ mm) ve beş farklı boş hücre (kare geometrili ani kesit genişlemesi, 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi) belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin basınç düşüşüne ve boş hücredeki hız dağılımına olan etkileri incelenmiştir.

Anemostat Tipi Difüzörlü Boş Hücre (Empty Cell with Anemostat Type Diffuser)

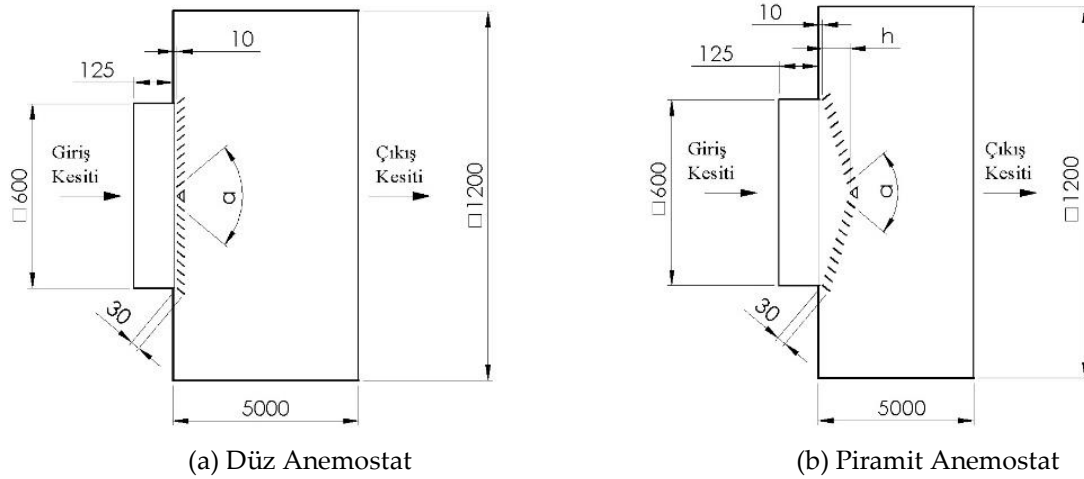
Sayısal analizlerde kullanılan anemostat tipi geometriye sahip difüzörlü boş hücre geometrisi Şekil 1'de verilmiştir. Sayısal analizlerde düz anemostat tipi (Şekil 2a) ve piramit anemostat tipi (Şekil 2b) geometriye sahip difüzörlü boş hücre ayrı ayrı incelenmiş olup, her iki tipteki geometri için 80° kanat açısında analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Anemostat tip difüzörlü boş hücre

Figure 1. Empty cell with anemostat type diffuser

Yapılan çalışmada boş hücre kesiti 1200 mm x 1200 mm, hücre derinliği 5000 mm olarak alınmıştır. Boş hücreye havanın girdiği kesit 600 mm x 600 mm genişliğinde ve 125 mm uzunluğundadır. Difüzörün giriş kesiti, 600 mm x 600 mm'lik kesit alanından 1200 mm x 1200 mm'lik kesit alanına geçiş noktasından çıkışa doğru 10 mm ileride olacak şekilde monte edilmiş ve difüzörün çıkış kesiti 1200 mm x 1200 mm'lik boş hücre kesitine ortalanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Anemostat tipi difüzör 10 kanattan oluşmaktadır. Girişten 10 mm sonraya yerleştirilen difüzörde her bir kanat uzunluğu 30 mm olarak alınmıştır. Anemostat tipi difüzörlü boş hücre için geometrik bilgiler Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2' de verilen α anemostat tip difüzörün kanat açısını, h ise anemostat tip difüzörün yüksekliğini ifade etmektedir.

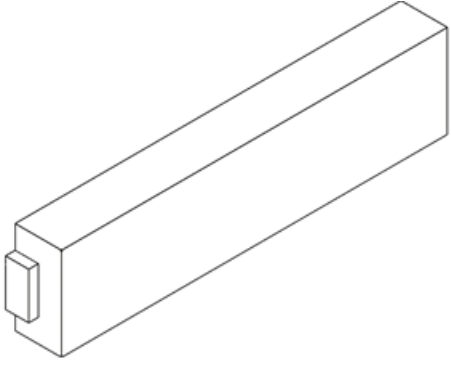


Şekil 2. Anemostat tipi difüzörlü boş hücrenin geometrik detayları

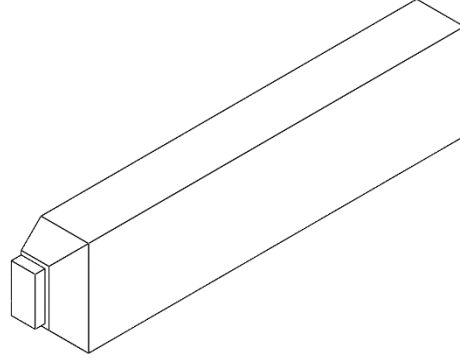
Figure 2. Geometric details of empty cell with anemostat type diffuser

Farklı Profillerdeki Boş Hücre (Empty Cell in Different Profiles)

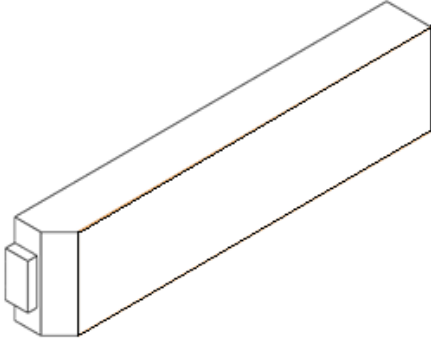
Sayısal analizlerde kullanılan beş farklı geometriye (kare geometrili ani kesit genişlemesi, 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi) sahip difüzörlü boş hücre görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.



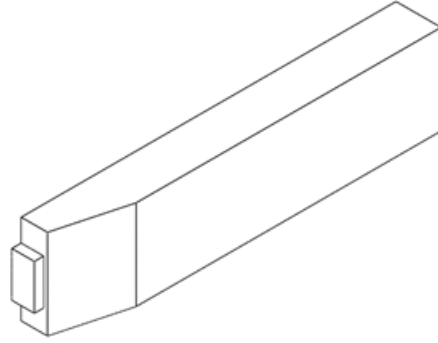
(a) Kare geometrili ani kesit genişlemesi



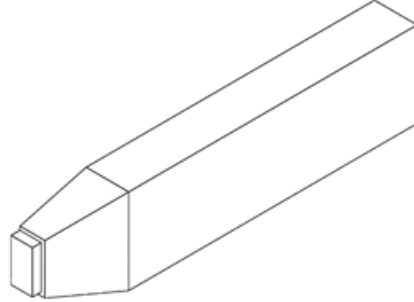
(c) 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



(b) 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



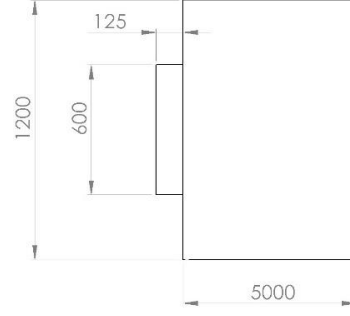
(d) 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



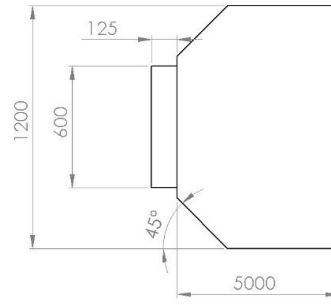
(e) 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi

Şekil 3. Farklı tip kesit genişlemesine sahip boş hücreler*Figure 3.* Empty cells having different types of section expansion

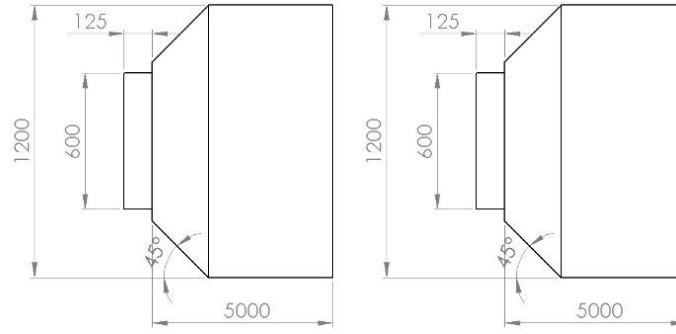
Yapılan çalışmada kullanılan boş hücre geometrilerinin üst görünüşleri için geometrik bilgiler Şekil 4'de verilmiştir.



(a) Kare geometrili ani kesit genişlemesi



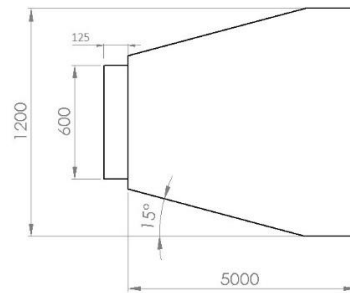
(b) 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



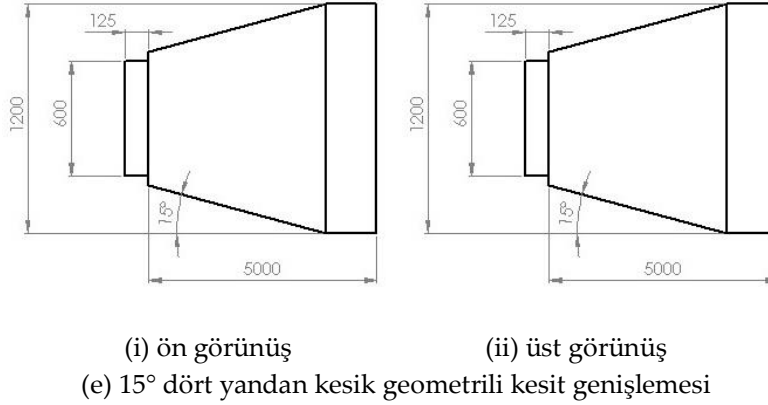
(i) ön görünüş

(ii) üst görünüş

(c) 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



d) 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi



Şekil 4. Farklı tip kesit genişlemesine sahip boş hücrelerin geometrik detayları
Figure 4. Geometric details of empty cells having different types of section expansion

Değişken Parametreler (Variable Parameters)

Bu çalışmada, değişken parametre olarak farklı tip geometride boş hücreler ve farklı yükseklikteki anemostat tipi difüzörler çalışılmıştır. Anemostat tipi difüzör geometrisi; düz ($h = 0$ mm) ve piramit ($h = 30, 60$ mm) olarak belirlenmiştir. Farklı tip boş hücre de beş farklı geometriyi (kare geometrili ani kesit genişlemesi, 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi) ifade etmektedir.

Sayısal Modelleme (Numerical Modeling)

Yapılan sayısal çalışmada, oluşturulan geometrilerin akış analizleri ANSYS 18.1 programında gerçekleştirilmiştir. Havanın boş hücreye girdiği 600 mm x 600 mm'lik kesit için 'mass-flow-inlet (kütlesel debi girişi)', havanın boş hücreyi terk ettiği 1200 mm x 1200 mm'lik çıkış kesidi için 'pressure-outlet (basınç çıkışı)' ve diğer tüm yüzeyler için 'wall (duvar)' sınır şartı tanımlanmıştır. 'Mass-flow-inlet (kütlesel debi girişi)' sınır şartı verilen giriş kesitindeki kütlesel debi 3.6162 kg/s, 'pressure-outlet (basınç çıkışı)' sınır şartı verilen çıkış kesitindeki gösterge basıncı 700 Pa, 'wall (duvar)' sınır şartı verilen yüzeylerdeki cidar pürüzlülüğü 0.0032 mm olarak alınmıştır. Klima kanal ve difüzör malzemelerinin yüzey pürüzlülükleri ölçülmemiş olup, haddelenmiş yüzeyler için ilgili kaynaklarda belirtilen pürüzlülük değerlerinden ortalama yaklaşık değer kabul edilmiştir (Bağcı, 1998). Sayısal çözümü ağ yapısından bağımsızlaştırma çalışması yapılmıştır. Bunun için ağ elemanı boyutu anemostat tipi difüzör cidarlarında maksimum 3 mm, boş hücrenin geriye kalan kısmında beş farklı boyutta analizler gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısından bağımsızlaştırma çalışması yapılan analizler, kare geometrili ani kesit genişlemesine sahip boş hücre içerisinde 80° kanat açısında düz ($h=0$) anemostat tipi difüzör kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu analizlerden elde edilen basınç düşümü değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde maksimum hacim elemanı boyutlarının 10mm, 15mm ve 20mm olduğu analizlerden elde edilen basınç düşümü değerlerinin birbirlerine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. 20mm'den daha düşük hacim elemanı boyutlarındaki analizlerde basınç düşümünün neredeyse değişmediği tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılan analizlerde ağ elemanı boyutu anemostat tipi difüzör cidarlarında maksimum 3 mm, boş hücrenin geriye kalan kısmında maksimum 20 mm olarak belirlenmiş (ağ yapısı ortalama eleman sayısı 5,500,000), türbülans modeli olarak standart k- ϵ modeli seçilmiştir (Kaya ve diğ., 2017). Türbülans çözücü ve ağ yapısını belirlemede; literatürde V profilli bir difüzör için yapılan deneysel bir çalışma alınmış, test bölgesi ANSYS'de modellenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Çizelge 2 ve Şekil 5), (Taçgün, 2016). Bu çalışmada kullanılan geometri ve ağ yapısı ise Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 1. Kare geometrili ani kesit genişlemesine sahip boş hücrede farklı eleman boyutlarında oluşan basınç düşümü

Table 1. Pressure drop at different element sizes in empty cell having sudden cross section expansion with square geometry

Maksimum Hacim Elemanı Boyutu [mm]	Anemostat Maksimum Yüzey Elemanı Boyutu [mm]	Eleman Sayısı	Maksimum Çarpıklık	Minimum Ortogonal Kalite	Statik Basınç Düşümü, ΔP [Pa]
10	3	32,666,943	0.82660	0.17340	148.83654
15	3	10,875,996	0.81358	0.18642	150.38596
20	3	5,579,766	0.80656	0.19344	151.66988
25	3	3,699,135	0.81205	0.18795	165.61637
30	3	2,873,368	0.81226	0.18774	176.03717

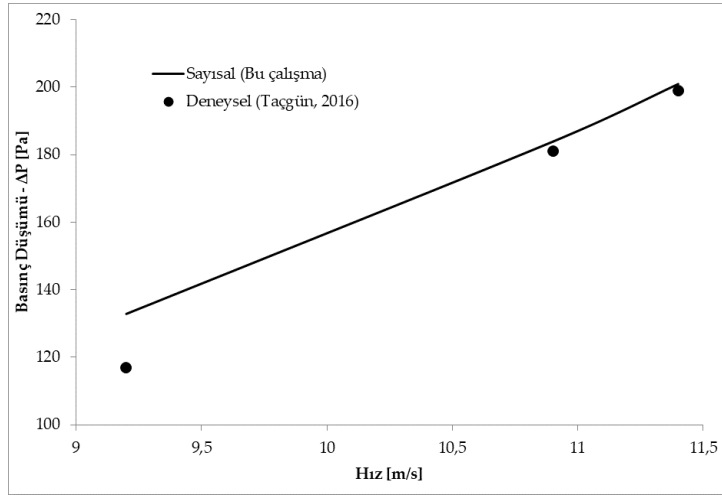
* Analizler 80° kanat açısında düz ($h=0$) anemostat tipi difüzör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ağ yapısındaki hücrelerin kalitesi (ortogonal kalite, çarpıklık), sayısal çözümün doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ortogonal kalite (Orthogonal quality), hücre çarpıklığı ve hücre ağırlık merkezinden hücrenin her yüzüne olan vektörler, karşılık gelen yüzey alanı vektörü ve hücre ağırlık merkezinden bitişik hücrelerin her birinin ağırlık merkezlerine olan vektörler kullanılarak hücreler için hesaplanır. En kötü hücreler 0'a daha yakın, en iyi hücreler de 1'e daha yakın bir ortogonal kaliteye sahip olacaktır. Tüm hücre tipleri için minimum ortogonal kalite 0.01'den daha fazla olmalı ve ortalama değer ise bu değerden önemli ölçüde daha yüksek olmalıdır. Çarpıklık (Skewness), hücrenin şekli ile eşdeğer hacimli eşkenar bir hücrenin şekli arasındaki fark olarak tanımlanır. Çok eğimli (çarpık) hücreler doğruluğu azaltabilir ve çözümü istikrarsızlaştırabilir. Örneğin, en uygun dörtgen gözenekler 90 dereceye yakın köşe açılara sahipken, üçgen kafesler tercihen 60 dereceye yakın açılara sahip olmalı ve 90 dereceden daha az açılara sahip olmalıdır. Genel bir kural, çoğu akışta üçgen/dörtüzlü ağ için maksimum çarpıklığın 0.95'in altında tutulması gerektiği ve ortalama değer ise bu değerden önemli ölçüde daha düşük olması gerektiğidir (Ansys Fluent User's Guide). Bu çalışmada yapılan analizler için oluşturulan ağ yapıları içerisinde en düşük ortogonal kalite değeri 0.17, en düşük ortalama ortogonal kalite değeri 0.76, en yüksek çarpıklık değeri 0.83 ve en yüksek ortalama çarpıklık değeri 0.23 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin yukarıda verilen kabul edilebilir aralıklar içerisinde olduğu görülmektedir.

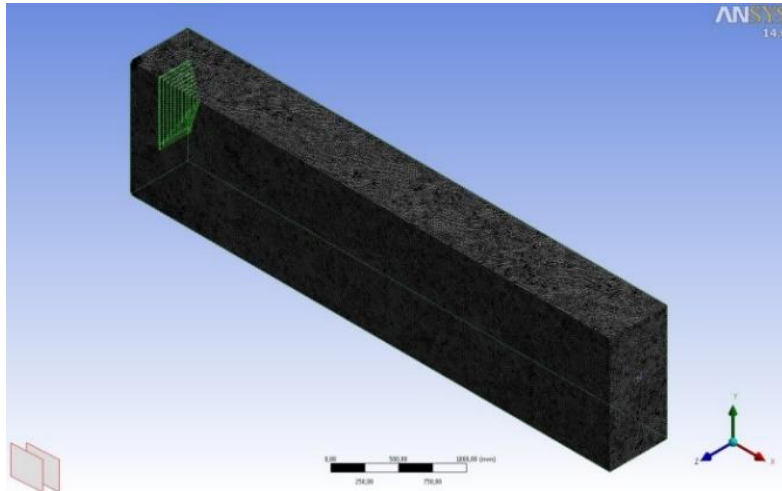
Çizelge 2. V Difüzördeki basınç düşümünün deneysel ve sayısal karşılaştırılması

Table 2. Experimental and numerical comparison of pressure drop in V diffuser

Hız	Deneysel Çalışma (Taçgün, 2016)			Sayısal Çalışma (Bu çalışma)		
	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşümü	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşümü
[m/s]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	$\Delta P = P_G - P_C$ [Pa]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	$\Delta P = P_G - P_C$ [Pa]
9.2	603	486	117	618.85	486	132.85
10.9	873	692	181	875.88	692	183.88
11.4	944	745	199	945.95	745	200.95



Şekil 5. V Difüzördeki basınç düşümünün deneysel ve sayısal karşılaştırılması
 Figure 5. Experimental and numerical comparison of pressure drop in V diffuser



Şekil 6. Sayısal analizde kullanılan ağ yapısı
 Figure 6. Mesh structure used in numerical analysis

Sıkıştırılamaz bir akışkanın zaman bağımlı hareketi, kartezyen koordinatlarda Navier-Stokes denklemleri (Denklem 1) ve süreklilik denklemi (Denklem 2) ile ifade edilmektedir. Bu denklemlerde, hız ve basınç büyüklükleri zaman ortalamalı ve çalkantı terimleri cinsinden yazıldığında, zaman ortalamalı denklemler Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri (Denklem 3) olarak elde edilmektedir. Bu denklemlerde yer alan çalkantı terimlerinin hesaplanmasına yönelik olarak çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiştir (Özmen, 2006).

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + F \quad (1)$$

Atalet kuvvetleri = basınç kuvveti + sürtünme kuvveti + kütleli kuvvetler

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho\bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\bar{u}_i\bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial\bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial\bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho\bar{u}_i\bar{u}_j \right] + F \quad (3)$$

Standart k-ε türbülans modeli: İki denklemlilik türbülans modelleri arasında ekonomikliğı ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjinin dağılımı (ε) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümü ve türbülans viskozitesinin (μ_t) hesabını içerir. Kaldırma kuvvetleri etkisi ihmal edildiğinde, bu transport denklemleri k ve ε için sırası ile Denklem 4 ve Denklem 5’de verilen şekilde yazılabilir (Şimşek, 2011).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{u_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{u_i}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

“Standart k-ε” türbülans modelinin sabitleri aşağıda belirtilen değerlere sahiptir (Ansys Fluent 14.0 Theory Guide, 2011).

$$C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

BULGULAR VE ANALİZ (RESULTS AND ANALYSIS)

ANSYS programında gerçekleştirilen analizler sonucunda, beş farklı boş hücre geometrisinde 80° kanat açısına sahip düz ve piramit şekilli anemostat tipi difüzör için elde edilen basınç düşümü Çizelge 3’de verilmiştir. Sayısal analizler sonucunda giriş kesitinden elde edilen statik basınç değerinden (P_G), çıkış kesitinden elde edilen statik basınç değerinin (P_C) farkı alınarak basınç düşümü ($\Delta P = P_G - P_C$) hesaplanmıştır.

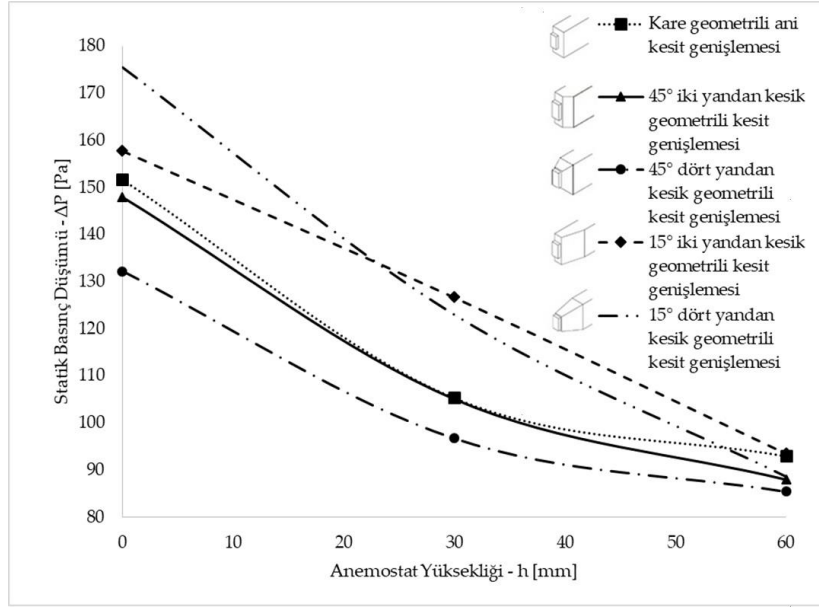
Çizelge 3. Beş farklı boş hücre geometrisi için 80° kanat açısına sahip üç farklı anemostat yüksekliğinde oluşan basınç düşümü

Table 3. Pressure drop at three different anemostat heights having 80° wing angle for five different empty cell geometries

Boş Hücre Kesit Genişlemesi	Statik Basınç Düşümü, ΔP [Pa]		
	Düz Anemostat	Piramit anemostat	Piramit anemostat
	h = 0 mm	h = 30 mm	h = 60 mm
Kare geometrilik ani	151.66988	105.31599	92.97898
45° iki yandan kesik geometrilik	147.92776	105.02868	87.94000
45° dört yandan kesik geometrilik	132.19112	96.6981	85.38096
15° iki yandan kesik geometrilik	157.79015	126.66800	93.47932
15° dört yandan kesik geometrilik	175.48921	123.03607	88.66761

Şekil 7’de beş farklı kesit genişlemesine sahip boş hücre geometrisi için farklı difüzör yüksekliklerindeki basınç kayıpları verilmiştir. Tüm geometri yapılarında difüzör yüksekliğinin artmasıyla akışa olan direnç azaldığından basınç düşümü azalmıştır. Boş hücre geometrisi olarak incelendiğinde 80° kanat açısına sahip anemostat tipi difüzörlü 45° dört yandan kesik geometrilik kesit genişlemesine sahip boş hücrede en düşük basınç kayıpları elde edilmiştir. Piramit yüksekliğinin

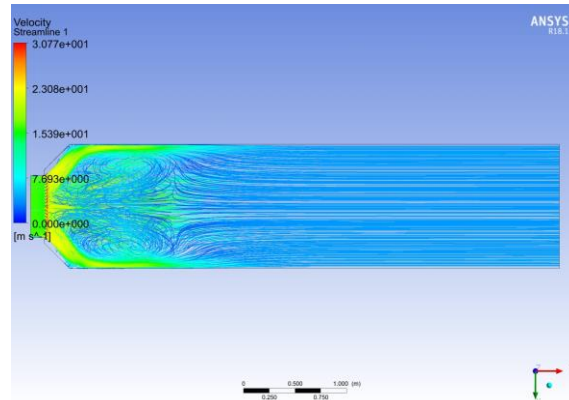
artmasıyla hava akışı difüzör içinden daha kolay olmakta, bu ise basınç düşümünün azalmasına sebep olmaktadır.



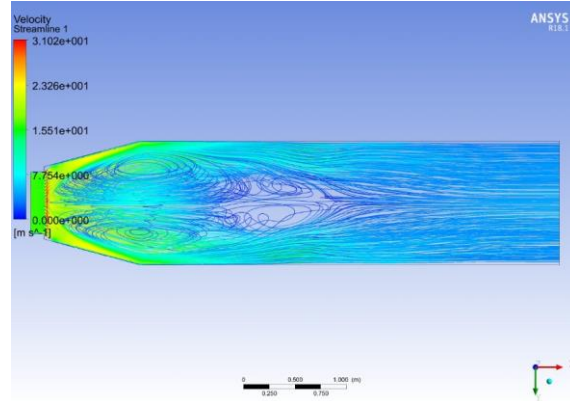
Şekil 7. Beş farklı boş hücre geometrisi için 80° kanat açısına sahip ve üç farklı anemostat yüksekliğinde oluşan basınç düşümü

Figure 7. Pressure drop at three different anemostat heights and 80° wing angle for five different empty cell geometries

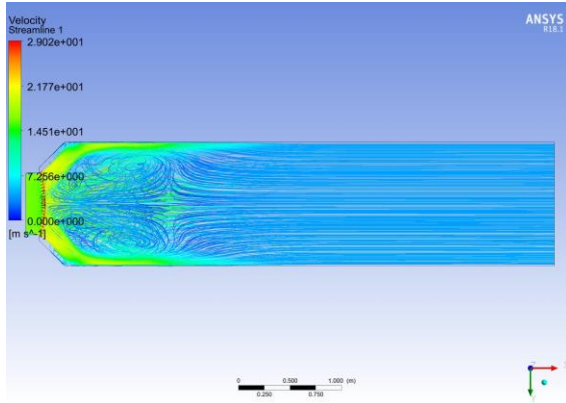
Şekil 8’de 45° dört yandan kesik geometrili boş hücre ve 15° dört yandan kesik geometrili boş hücre için 80° kanat açıklığına sahip ve üç farklı yükseklikteki ($h = 0, 30, 60$ mm) anemostat tipi difüzör geometrisinin oluşturduğu akış çizgileri gösterilmiştir. Bu akış çizgileri incelendiğinde 80° kanat açısındaki düz şekilli anemostat tipi difüzör kullanıldığında, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücredeki akış çizgilerinin daha düzgün olduğu ve giriş kesitine daha yakın bir bölgede düzgün dağılımın elde edildiği görülmektedir. Çizelge 4’de beş farklı tip boş hücre geometrisinde ve 80° kanat açısındaki üç farklı yüksekliğe sahip anemostat tipi difüzör için, homojen akışın olduğu mesafeler (bu mesafe kesit genişlemesinin başladığı noktadan olan uzaklığı ifade etmektedir) verilmiştir. Kesit genişlemesinde 45° dört yandan kesik geometrili boş hücrede hem daha düşük basınç düşümü elde edilmiş hem de 0 mm ve 30 mm yükseklikteki difüzör için daha kısa mesafede homojen bir hız dağılımı elde edilmiştir.



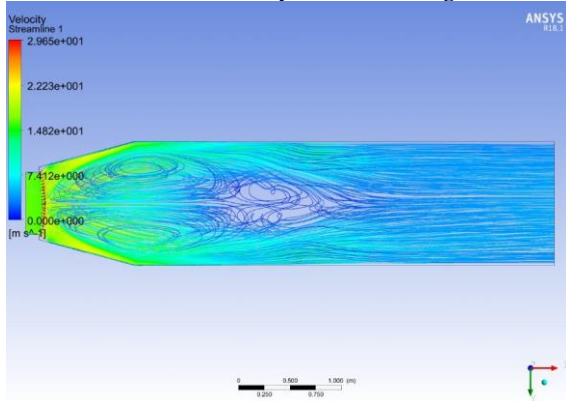
80° kanat açılı 45° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Düz anemostat ($h=0$ mm)



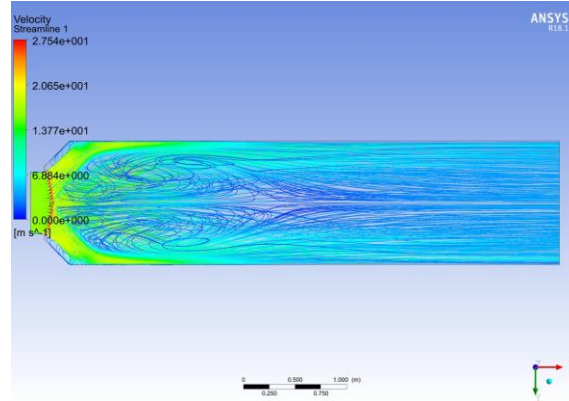
80° kanat açılı 15° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Düz anemostat (h=0 mm)



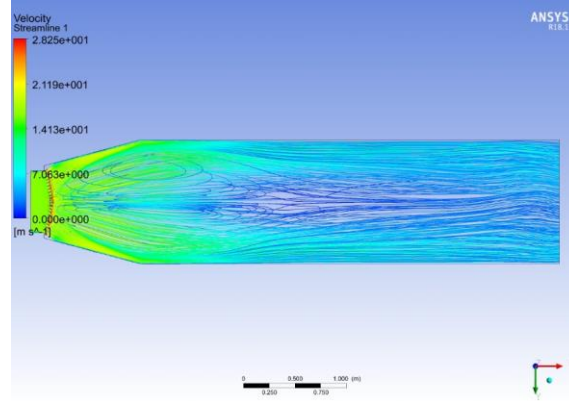
80° kanat açılı 45° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Piramit anemostat (h=30 mm)



80° kanat açılı 15° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Piramit anemostat (h=30 mm)



80° kanat açılı 45° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Piramit anemostat (h=60 mm)



80° kanat açılı 15° dört yandan kesik geometrili boş hücre - Piramit anemostat (h=60 mm)

Şekil 8. 80° kanat açılı düz ve piramit şekilli anemostat tipi difüzör için farklı geometrili boş hücrelerde oluşan akış çizgileri

Figure 8. Stream lines in empty cells with different geometry for 80° wing angle flat and pyramid shaped anemostat type diffuser

Boş hücrelerde akışın daha kısa mesafede homojen dağılımını sağlayarak hücre boyunun azaltılması hedeflenen çalışmalar için, bu değer in iyi bir sonuç verdiği değerlendirilebilir. Boş hücrelerin küçültülmesi ile klima santralının hem yatırım maliyetinin azaltılması hem de kapladığı alandan tasarruf sağlanması hedeflenmektedir.

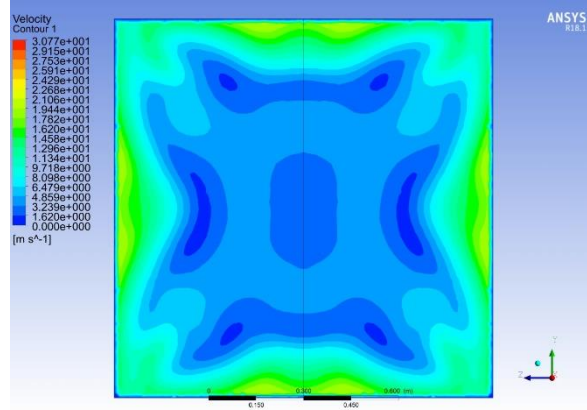
Çizelge 4. 80° kanat açılı anemostat tip difüzörlü boş hücre geometrilerinde belirlenen homojen akış mesafeleri

Table 4. Homogeneous flow distances in empty cell geometries with 80° wing angle anemostat type diffuser

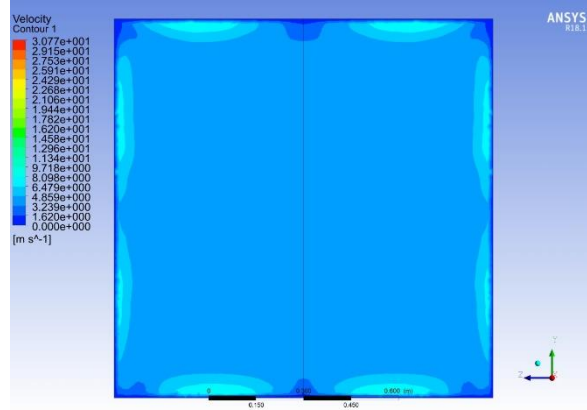
Boş Hücre Kesit Genişlemesi	Tahmini Homojen Akış Mesafesi [m]		
	Düz Anemostat	Piramit anemostat	Piramit anemostat
	h = 0 mm	h = 30 mm	h = 60 mm
Kare geometrili ani	2.50	2.40	3.20
45° iki yandan kesik geometrili	2.30	2.30	3.10
45° dört yandan kesik geometrili	2.0	2.15	4.00
15° iki yandan kesik geometrili	2.40	3.30	3.70
15° dört yandan kesik geometrili	3.50	3.30	4.40

Çizelge 4' de giriş kesitinden sonra en kısa mesafede oluşan homojen bölge 80° kanat açılı düz (h = 0) ve piramit (h = 30 mm) anemostat tipli 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücrelerde gerçekleşmektedir. Kesit genişlemesi 45° dört yandan kesik geometrili olan boş hücrede 80°

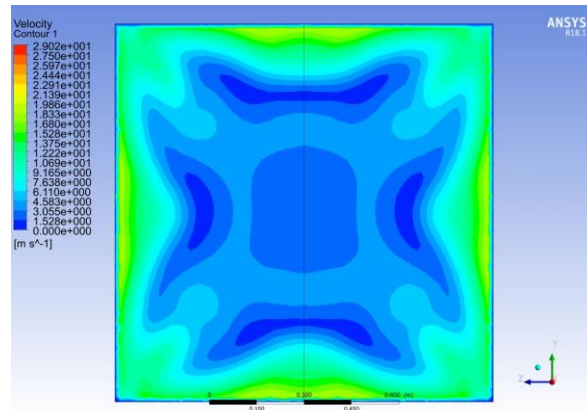
kanat açılı düz ($h = 0$) ve piramit ($h = 30$ mm) anemostat tip difüzörlerin kullanılmasıyla, klima santralinin hem yatırım maliyetinin hem de kapladığı alanın azalacağı görülmektedir.



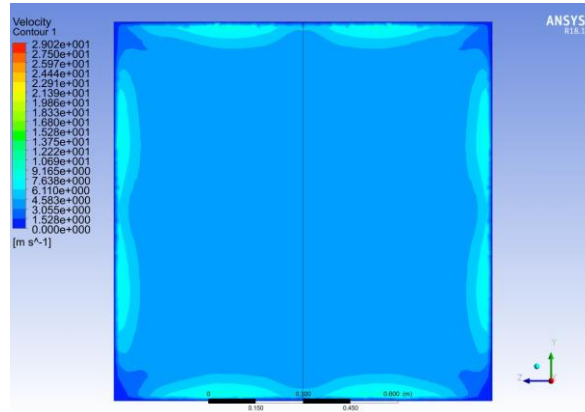
(a) Kesit genişlemesi başlangıcından 1 metre mesafe sonrası - Düz anemostat ($h=0$ mm)



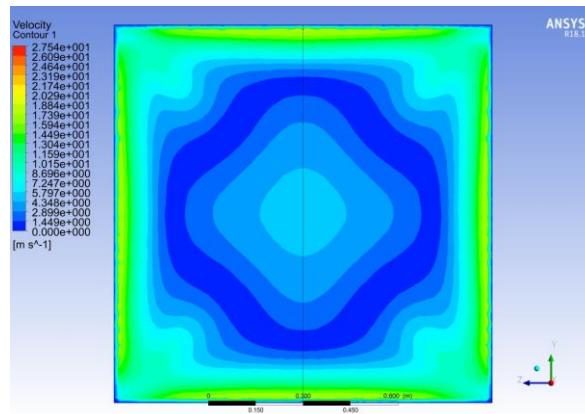
(b) Kesit genişlemesi başlangıcından 2 metre mesafe sonrası - Düz anemostat ($h=0$ mm)



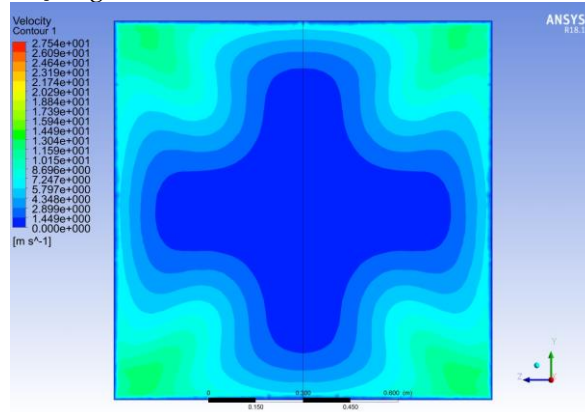
(c) Kesit genişlemesi başlangıcından 1 metre mesafe sonrası - Piramit anemostat ($h=30$ mm)



(d) Kesit genişlemesi başlangıcından 2 metre mesafe sonrası - Piramit anemostat ($h=30$ mm)



(e) Kesit genişlemesi başlangıcından 1 metre mesafe sonrası - Piramit anemostat ($h=60$ mm)



(f) Kesit genişlemesi başlangıcından 2 metre mesafe sonrası - Piramit anemostat ($h=60$ mm)

Şekil 9. 80° kanat açılı anemostat tip difüzörlü 45° dört yandan kesik geometrili boş hücrede farklı kesitlerde oluşan hız dağılımları

Figure 9. Velocity contours at different sections in empty cell with 80° wing angle anemostat type diffuser with 45° four sided cut-off geometry

Şekil 9'da 80° kanat açılı düz ve piramit ($h = 0, 30, 60$ mm) şekilli anemostat tip difüzörlü 45° dört yandan kesik geometrili boş hücre ile yapılan sayısal analizin kesit genişlemesi başlangıcından itibaren birinci metredeki ve ikinci metredeki hız dağılımları verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde $h=0$ ve 30 mm piramit yüksekliklerindeki anemostat tipi difüzörlerde ikinci metreden itibaren hız dağılımının düzeldiği görülmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada; beş farklı boş hücre geometrisinde (kare geometrili ani kesit genişlemesi, 45° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° iki yandan kesik geometrili kesit genişlemesi, 15° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesi) 80° kanat açısına sahip düz anemostat tipi ve piramit anemostat tipi difüzörlerin basınç düşümüne ve hız dağılımına etkileri sayısal olarak incelenmiş ve aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Piramit yüksekliğinin artmasıyla basınç düşümünün azaldığı tespit edilmiştir.
2. 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücrede, h=0 mm ve 30 mm difüzör piramit yüksekliklerinde en az basınç düşümü elde edilmiştir.
3. Boş hücre geometrileri incelendiğinde, 45° dört yandan kesik geometrili kesit genişlemesine sahip boş hücre ve 80° kanat açılı h=0 ve 30 mm piramit yüksekliklerindeki anemostat tipi difüzörlerde akış çizgilerinin daha düzgün olduğu ve homojen hız dağılımının kesit genişlemesi başlangıcına en yakın mesafede olduğu görülmüştür.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

- $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$: türbülans modeli sabitlerini,
 F : kuvveti [N],
 G_k : türbülans kinetik enerjisi üretimini [kg/(m.s³)],
 k : türbülans kinetik enerjisini [m²/s²],
 P : basıncı [N/m² veya Pa],
 P_C : çıkış kesitindeki statik basıncı [Pa],
 P_G : giriş kesitindeki statik basıncı [Pa],
 t : zamanı [s],
 u : yatay doğrultudaki hız bileşenini [m/s],
 \bar{u} : yatay doğrultudaki ortalama hız bileşenini [m/s],
 x : yatay koordinatı [m],

Yunan Harfleri (Greek Letters)

- α : difüzör kanat açısını [°],
 μ : dinamik viskoziteyi [kg/(m.s)],
 μ_t : türbülans viskozitesini [kg/(m.s)],
 ε : türbülans kinetik enerjinin dağılımı [m²/s³],
 ρ : yoğunluğu, [kg/m³]
 σ_k : k için türbülanslı Prandtl sayısını,
 σ_ε : ε için türbülanslı Prandtl sayısını,
 ΔP : basınç düşümünü [Pa] ifade etmektedir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma; KSÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2017/4-32M nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ansyst Fluent 14.0 *Theory Guide*, 2011, Ansys Inc.,
http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/v140/flu_th.pdf, URL (Erişim tarihi: 28.02.2014).
- Ansyst Fluent *User's Guide*, Release 18.1, Ansys Inc.
- Abantoa, J., Barreroa, D., Reggioa, M., Ozella, B., 2004, "Airflow Modelling in A Computer Room", *Building and Environment*, Vol. 39, pp. 1393 – 1402.
- Bağcı, M., 1998, *Teknik Resim*, Birsen Yayınevi Limited Şirketi, ISBN: 975-511-128-X, İstanbul, 286s.
- Bayramgil, V., Bayrak, S., Yükselen, M.A., Erım, M. Z., "Experimental Investigation of A Diffuser For Cooling And Air Conditioning System", *21st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, Victoria, AUSTRALIA, 13-18 Eylül 1998.
- Bilge, M., 2010, *Klima Santralleri*, ISKAV Teknik Kitaplar Dizisi, No: 01, İstanbul, pp. 146.
- Bulut, S., Ünveren, M., Arısoy, A., Böke, Y. E., "CFD Analiz Yöntemiyle Klima Santrallerinde İç Kayıpların Azaltılması", *T.M.M.O.B., X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, TÜRKİYE, pp. 291-326, 13-16 Nisan 2011.
- Guo, B.Y., Hou, Q.F., Yu, A.B., Li L.F., Guo, J., 2013, "Numerical Modelling of The Gas Flow Through Perforated Plates", *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 91, pp. 403-408.
- HVAC Systems Duct Design*, 2006, Fourth Edition, Chapter 6, SMACNA.
- Kaya, A., Kamer, M.S., Sönmez, K., "Klima Santrallerindeki Boş Hücreler İçin Tasarlanan Bir Anemostat Tip Difüzörün Akış Üzerindeki Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi", *21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, pp. 226-233, Çorum, TÜRKİYE, 13-16 Eylül 2017.
- Noui-Mehidi, M.N., Wu J., Sutalo, I.D., Grainger, C., 2005, "Velocity Distribution Downstream of An Asymmetric Wide-angle Diffuser", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 29, pp. 649-657.
- Özmen, Y., 2006, *Farklı Çatı Tipleri ve Eğimlerdeki Binalar Üzerinde Rüzgar Etkilerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 191s.
- Şahin, B., 1989, "Pressure Losses in An Isolated Perforated Plate And Jets Emerging From The Perforated Plate", *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 31, pp. 51-61.
- Şahin, B., Ward-Smith A.J., 1987, "The Use Of Perforated Plates To Control The Flow Emerging From A Wide-Angle Diffuser, With Application To Electrostatic Precipitator Design", *Heat and Mass Transfer*, Vol. 8, pp. 124-131.
- Şahin, B., Ward-Smith A.J., 1990, "Effect of Perforated Plates On Wide-angle Diffuser-exit Velocity Profiles", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 34, pp. 113-125.
- Şahin, B., Ward-Smith A.J., 1991, "Flow Control by Perforated Plates Using A Blanking Technique in Wide-angle Diffusers Employed in Practical Electrostatic Precipitator Systems", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 37, pp. 269-284.
- Şahin, B., Ward-Smith A.J., 1993, "The Pressure Distribution in And Flow Characteristics of Wide-angle Diffusers Using Perforated Plates for Flow Control With Application to Electrostatic Precipitators", *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 35, pp. 117-127.
- Şahin, B., Ward-Smith A.J., Lane D., 1995, "The Pressure Drop And Flow Characteristics Of Wide-Angle Screened Diffusers Of Large Area Ratio", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 58, pp. 33-50.
- Şimşek, O., 2011, *Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 93s.
- Taçgün, E., 2016, *Klima Santrallerinde Kullanılan V Profil Delikli Difüzörlü Hücrenin Akış Performansının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 191s.

- Tanyol, İ., "Klima Santrallerinde Enerji Tasarrufu ve CFD Analizi İle İç Dirençlerin Azaltılması", *I. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, Çağrılı Konuşma, Balıkesir, TÜRKİYE*, 13-15 Eylül 2012.
- Yiğit, Ş., Sungurlu, C., Çuhadaroğlu, B., "HVAC Sistemlerinde Kullanılabilecek Yeni Tip Bir Difüzör İçin Performans İncelemesi", *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, TÜRKİYE*, pp. 19-36, 17-20 Nisan 2013.
- Zhang, T., Lee, K.S., Chen, Q., 2009, "A Simplified Approach to Describe Complex Diffusers in Displacement Ventilation for CFD Simulations", *Indoor Air*, Vol. 19, No. 3, pp. 255-267.



HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMIĞI İLE EKSENEL BİR ÇOCUK KALP DESTEK POMPASI PERFORMANSININ İNCELENMESİ

¹Rafet YAPICI, ²Resul TEKE, ³Ömer İNCEBAY, ⁴Hasan ÇINAR*, ⁵Fehmi MUTLU

^{1,2,3,5}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bl. Selçuklu/Konya TÜRKİYE

⁴Gebze Teknik Üniversitesi, Makine Müh. Bl. Gebze/Kocaeli TÜRKİYE

¹rafet@selcuk.edu.tr, ²rsltk@yandex.com, ³oincebay@selcuk.edu.tr, ⁴hasancinar@gtu.edu.tr,

⁵fmmmt192@gmail.com

(Geliş/Received: 07.04.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.05.2018)

ÖZ: Bu çalışmada, pompa tasarım programları kullanılarak aksenel akışlı bir çocuk kalp destek pompası tasarlandı. Bu pompanın performansı, hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yazılımıyla k_T - k_L - w türbülans modeli kullanılarak belirlendi. Katı modeli oluşturulan pompanın gövdesi alüminyum bloktan CNC işleme tezgâhında imal edildi. Bu kalp destek pompasının çarkı, doğrultucusu ve difüzörünün 3D yazıcıyla imalatı yapıldı. Bu prototip pompanın, HAD simülasyonu ile belirlenen performans sonuçlarının deneysel doğrulaması, su ile yapıldı. Pompanın 9000-12000 dev/dak dönme sayısı aralığında, debisi 0.5-5 L/dak ve basınç farkı 35-95 mmHg arasında değişti. Kan benzeri akışkan için 2 L/dak tasarım debisi ve 80 mm-Hg'lik tasarım basıncı 11750 dev/dak dönme sayısında elde edildi. Çalışmanın sonunda, tasarım noktasında pompadaki cidar kayma gerilmeleri ve akış çizgileri incelendi.

Anahtar Kelimeler: Aksenel pompa, HAD, Kalp destek pompası, Pediatrik kalp destek pompası, PLVAD

Investigation of Performance of an Axial Child Heart Assist Pump with Computational Fluid Dynamics

ABSTRACT: In this study, an axial flow child heart support pump was designed using pump design programs. The performance of this pump was determined using the k_T - k_L - w turbulence model with computational fluid dynamics (CFD) software. Body of this pump is manufactured from aluminum block with CNC machining center. The heart assist pump's impeller, straightener and diffuser were manufactured with 3D printers. Experimental verification of the performance results of this prototype pump determined by CFD simulation was made with water. In the range of 9000-12000 rpm of the pump speed, the flow rate varied between 0.5-5 L/min while the pressure difference varied between 35-95 mmHg. Design pressure of 80 mmHg for design flow rate of 2 L/ min was achieved at 11750 rpm for blood-like fluid. At the end of the work, the wall shear stresses and flow lines in the pump were examined at the design point.

Key Words: Axial pump, CFD, Heart Assist Pump, Pediatric Ventricular Assist Pump, PLVAD

GİRİŞ (INTRODUCTION)

2012 yılında dünyada yaklaşık 56 milyon ölüm meydana gelmiştir. Bu ölümlerin 38 milyonu Bulaşıcı Olmayan Hastalıklara (BOH) özellikle kalp ve damar hastalıkları, kanser, kronik hava yolu hastalıklarına bağlı ölümlerdir (Bakanlık, 2015). BOH'lar içerisinde, kalp ve damar hastalıkları tüm ölüm nedenleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Kalp ve damar hastalıklarının uzun bir süre daha bir numaralı ölüm sebebi olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalarda ülkemizde, yaklaşık

olarak yılda 1,3 milyon bebek doğduğu göz önüne alındığında, her yıl yeni doğan bebeklerden 13 bininin doğuştan kalp hastalığı ve bunlardan da 3.3 bininin kritik kalp hastalığı ile aramıza katıldığı söylenebilir. Ülkemize paralel olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde, her 100 bebekten birinin kalp rahatsızlığının olduğu ve cerrahi müdahalede bulunulan %85'inin yetişkin çağa eriştiği tespit edilmiştir (Warnes, 2005). Yine Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık donör sayısı ortalama 500 civarındadır (B Clark ve diğ., 2011). Toplumların yaşlanması ve beklenen yaşam süresinde görülen uzama ile gelişmiş ülkelerde kalp ve damar hastalarının sayısı artmakta ve bunlara bağlı yük de artmaktadır. BOH'ların oluşturduğu hastalık yükünde önemli bir payı olan kalp ve damar hastalıkları açısından olumlu olan husus büyük ölçüde "önlenebilir" olmalarıdır (Bakanlık, 2015). Bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır, bu çalışmalardan biride kalp destek sistemleridir.

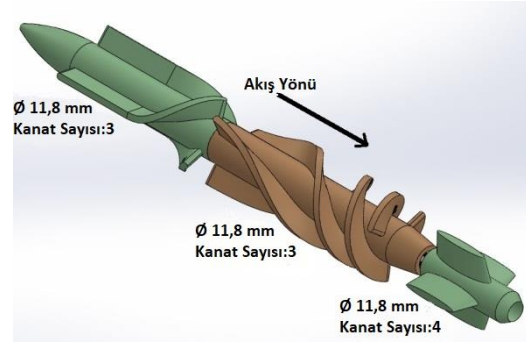
Sol karıncık kalp destek cihazı, kalp yetmezliği olan hastalarda destek ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Destek tedavisi, özellikle kalp transplantasyonu bekleyen hastalarda bekleme süresini uzatmayı amaçlamaktadır. Yapay kalp destek cihazları, vücut içine yerleştirilen (implantable, minyatür) ve vücut dışında (parakorporal) olan olmak üzere iki farklı gruptur. Hangisinin takılacağı, hastanın kalp yetersizliğinin ve genel durumunun özelliklerine göre belirlenir. Kalbin sol ventrikülünden (karıncık) alınan kan, bir pompa vasıtası ile ana atardamar olan aorta gönderilir ve bu kalp yetmezliği olan hastalarda kan dolaşımının tekrar normal miktarlara gelmesini sağlar. Ancak bu pompaların kullanımında pek çok sorunla karşılaşabilmektedir. Bu sorunların başında pompa içinde meydana yüksek kayma gerilmeleri sonucu kan hücrelerinin deformasyona uğraması ve bunun sonucunda hemoliz meydana gelmesidir (Reul ve Akdis, 2000). Pompa tasarımları yapılırken hemoliz indeksi oranını en aza indirgeyecek tasarımlar yapılmalıdır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonu, çeşitli akış makine ve cihazlarında yaygın olarak kullanılan ileri bir araştırma, geliştirme ve tasarım tekniğidir. HAD simülasyon yazılımları sayesinde pompanın üretilmeden ve denenmeden tasarım aşamasında performansları tahmin edilerek hedeflenen amaca göre pompa üzerinde modifikasyonlar gerçekleştirilebilmektedir

Bu çalışmanın birinci amacı; ANSYS 18.0 yazılımı kullanılarak tasarlanan pompanın üretilmeden önce HAD simülasyonları yardımıyla hidrolik performansını belirleyip ondan sonra prototipinin üretilmesi ve daha sonra deneyler yapılarak sonuçların karşılaştırılmasıdır. İkinci amacı ise deneysel doğrulamadan sonra, bu çocuk kalp destek pompasının performansını boyutsuz parametrelere göre belirlemektir.

MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Baldwin ve diğ. (2011) yapmış olduğu çalışmada; çocuk kalp destek pompası 2 L/dak tasarım debisinde 80 mmHg basınç verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada da 2 L/dak tasarım debisi ve 80 mmHg tasarım basıncı için Pediatrik Sol Karıncık Kalp Destek Pompası (PLVAD) Ansys BladeGen programı kullanılarak tasarlandı. Bu parametreler üzerinden gövde çapı (dolayısıyla kanat ucu çapları) sabit olan eksenel pompanın doğrultucusu, difüzörü ve çarkı Ansys BladeGen programı ile tasarlandı. Boyutları belirlenen bu pompanın CAD programlarıyla katı modeli oluşturuldu. Bu model üzerinden ticari bir HAD yazılımı olan ANSYS Fluent 18.0 programı ile pompanın sayısal simülasyon analizleri yapıldı. Deney ve simülasyon için çalışma (test) aralığı olarak 0.5-5 L/dak debi ve 9000-12000 dev/dak dönme sayısı seçildi. Analizler sonrasında pompanın katı modeline uygun olarak çark, difüzör ve doğrultucu imal edildi. İmal edilen pompanın parçaları Şekil 2'de gösterilmiştir. HAD simülasyonlarının deneysel doğrulamasını yapmak için deney seti kurularak imal edilen prototip pompanın deneysel performansı belirlendi ve sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldı. Deneysel doğrulamadan sonra belirtilen çalışma aralığında pompanın boyutsuz parametrelere bağlı olarak performansı belirlendi.



Şekil 1. Oluşturulan katı model

Figure 1. Created solid model



Şekil 2. Pompa doğrultucusu (soldaki), çarkı (ortadaki) ve difüzörü (sağdaki)

Figure 2. The pump straightener(left), impeller(center) and diffuser(right)

HAD Simülasyonu (CFD Simulation)

Eksenel akışlı pediatrik VAD'larda Reynolds sayısı 10^4 mertebesinde olduğu zaman akışta türbülansın egemen olduğu kabul edilir (Throckmorton ve Untaroiu, 2008). Rotodinamik (çarklı) pompalarda bu sayı $Re = \rho \omega D^2 / \mu$ ifadesiyle tanımlanır. Bu çalışmadaki kullanılan debi ve dönme sayısının alt ve üst sınırlarında su ve kana benzer akışkan için Reynolds sayısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Pompadaki Reynolds sayısı değerleri

Table 1. Reynolds number values in the pump

Akışkan	Çark N=9000 dev/dak	Çark N=11750 dev/dak	Borular Q=0.5 L/dak	Borular Q=5 L/dak
Su	1.3×10^5	1.7×10^5	1×10^3	1×10^4
Kan benzeri	3.7×10^4	4.9×10^4	2.9×10^2	2.9×10^3

Bu çalışmada, bu tipteki yüksek hızlı pompa için yakınsayan ve daha doğru çözümler verdiği için HAD simülasyonlarında k_T - k_L - ω türbülans modeli kullanıldı. İlk defa Walters ve diğ. (2004) tarafından önerilen bu model daha sonra, yine Walters ve diğ. (2008) tarafından modifiye edilmiştir. Bu model, esasında k - ω modeline dayanır. k - ω modelinden farklı olarak laminar kinetik enerji biçimindeki yüksek frekanslı akış dalgalanmalarının etkilerini hesaba katan ilave bir transport denkleminde (k_L) sahiptir ve geçiş bir modelidir.

k_T - k_L - ω modeli, üç denklemlili girdap viskozite tipinde bir model olarak değerlendirilir. Türbülans kinetik enerjisi (k_T), laminar kinetik enerji (k_L) ve ters türbülans zaman ölçeğine ($\omega = \varepsilon / k_T$) ait denklemleri içerir. Sıkıştırılmaz akış için bu model denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{Dk_T}{Dt} = P_{k_T} + R_{BP} + R_{NAT} - \omega k_T - D_T + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\alpha_T}{\alpha_k} \right) \frac{\partial k_T}{\partial x_j} \right] \quad (1)$$

$$\frac{Dk_L}{Dt} = P_{k_L} - R_{BP} - R_{NAT} - D_L + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \frac{\partial k_L}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{D\omega}{Dt} = & C_{\omega 1} \frac{\omega}{k_T} P_{k_T} + \left(\frac{C_{\omega R}}{f_W} - 1 \right) \frac{\omega}{k_T} (R_{BP} + R_{NAT}) - C_{\omega 2} \omega^2 f_W^2 \\ & + C_{\omega 3} f_\omega \alpha_T f_W^2 \frac{\sqrt{k_T}}{d^3} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\alpha_T}{\alpha_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Türbülans ve laminar dalgalanmaların, girdap viskozitesi ve termal difüzyonite yoluyla ortalama akış ve enerji denklemlerine katılması aşağıdaki gibidir.

$$\overline{-u_i u_j} = \nu_{TOT} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k_{TOT} \delta_{ij}; \quad \overline{-u_i \theta} = \alpha_{\theta, TOT} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \quad (4)$$

Efektif uzunluk ve uzunluk ölçeği λ_T , şöyle tanımlanır:

$$\lambda_{eff} = \min(C_\lambda d, \lambda_T); \quad \lambda_T = \frac{\sqrt{k_T}}{\omega} \quad (5)$$

Burada d cidara olan mesafedir. Küçük ölçekli türbülans enerjisi şöyle tanımlanır:

$$k_{T,s} = f_{ss} f_W k_T; \quad f_W = \left(\frac{\lambda_{eff}}{\lambda_T} \right)^{2/3}; \quad f_{ss} = \exp \left[- \left(\frac{C_{ss} \nu \Omega}{k_T} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Büyük ölçek enerjisi şöyle verilir:

$$k_{T,l} = k_T - k_{T,s} \quad (7)$$

Denklem (6)'daki ilk ifade ile Denklem (7)'nin toplamı türbülans kinetik enerjisini (k_T) verir. Türbülans dalgalanmaları tarafından oluşturulan türbülans üretimi terimi şöyle verilir:

$$P_{k_T} = \nu_{T,s} S^2 \quad (8)$$

Buradaki $S = (S_{ij} S_{ij})^{1/2}$ ve $\nu_{T,s}$ küçük ölçekli türbülans viskozitesidir:

$$\nu_{T,s} = f_\nu f_{INT} C_\mu \sqrt{k_{T,s}} \lambda_{eff}; \quad C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s (S / \omega)}; \quad f_\nu = 1 - \exp \left(- \frac{\sqrt{Re_{T,s}}}{A_\nu} \right) \quad (9)$$

Kesiklikten dolayı türbülans üretimini tanımlayan sönümlenme fonksiyonu şöyle verilir:

$$f_{INT} = \min \left(\frac{k_T}{C_{INT} k_{TOT}}, 1 \right); \quad Re_{T,s} = \frac{f_W^2 k_T}{\nu \omega} \quad (10)$$

Denklem (2)'deki P_{k_L} , büyük ölçekli türbülans dalgalanmalarından dolayı laminar kinetik enerji üretimidir.

$$P_{k_L} = \nu_{T,l} S^2 \quad (11)$$

Büyük ölçekli türbülans viskozitesi şöyle modellenir:

$$v_{T,l} = \min \left\{ v_{T,l}^*, \frac{0.5(k_L + k_{T,l})}{S} \right\}; \quad v_{T,l}^* = f_{\tau,l} C_{11} \left(\frac{\Omega \lambda_{eff}^2}{l} \right) \sqrt{k_{T,l}} \lambda_{eff} + \beta_{TS} C_{12} \varphi_{NAT} d^2 \Omega \quad (12)$$

Denklem (12)'deki limit, gelişen iki boyutlu akışta bu denklemin (aykırı olmamasını) uygun olmasını sağlar. Zaman ölçeği bazlı sönümlenme fonksiyonu $f_{\tau,l}$ ve Denklem (12)'deki ikinci ifadedeki diğer iki terim:

$$f_{\tau,l} = 1 - \exp \left(-C_{\tau,l} \frac{k_{T,l}}{\lambda_{eff}^2 \Omega^2} \right); \quad \beta_{TS} = 1 - \exp \left(-\frac{\max(\varphi_{NAT} - C_{TS,crit}, 0)^2}{A_{TS}} \right); \quad \varphi_{NAT} = \frac{d^2 \Omega}{\nu} \quad (13)$$

Cidar yakınındaki kayıplar şöyle verilir:

$$D_T = 2\nu \frac{\partial \sqrt{k_T}}{\partial x_j} \frac{\partial \sqrt{k_T}}{\partial x_j}; \quad D_L = 2\nu \frac{\partial \sqrt{k_L}}{\partial x_j} \frac{\partial \sqrt{k_L}}{\partial x_j} \quad (14)$$

Denklem (1) ve (2)'deki R, bypass geçişi sırasında akış yönündeki dalgalanmaların türbülansa dönüşmesinin ortalama etkisini gösterir:

$$R_{BP} = \frac{C_R \beta_{BP} k_L \omega}{f_w}; \quad \beta_{BP} = 1 - \exp \left(-\frac{\varphi_{BP}}{A_{BP}} \right); \quad \varphi_{BP} = \max \left[\left(\frac{k_T}{\nu \Omega} - C_{BP,crit} \right), 0 \right] \quad (15)$$

Buradaki β_{BP} , bypas geçiş işlemi kontrol eden eşik fonksiyonudur.

Kararsızlıklardan dolayı türbülans oluşması, doğal geçiş üretim terimi olarak dikkate alınır:

$$R_{NAT} = C_{R,NAT} \beta_{NAT} k_L \Omega; \quad \beta_{NAT} = 1 - \exp \left[-\frac{\max(\varphi_{NAT} - C_{NAT,crit} / f_{NAT,crit}, 0)}{A_{NAT}} \right]; \quad (16)$$

$$f_{NAT,crit} = 1 - \exp \left(C_{NC} \frac{\sqrt{k_L} d}{\nu} \right)$$

Ölçek belirleme değişkeni olarak ω 'nin kullanılması, türbülans sınır tabakasının dış bölgesinde azalan bir kesiklik etkisine yol açar ve sonuçta hız profilinde iz bölgesi yok olur. Denklem (3)'den, aşağıdaki sönümlenme fonksiyonu tanımlanır:

$$f_{\omega} = 1 - \exp \left[-0.41 \left(\frac{\lambda_{eff}}{\lambda_T} \right)^4 \right] \quad (17)$$

Denklem (9) ve (12)'de görülen toplam girdap viskozitesi ve girdap difüzivitesi şöyle verilir:

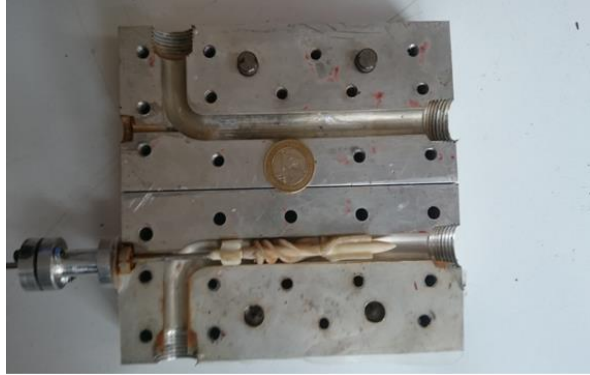
$$\nu_{TOT} = \nu_{T,s} + \nu_{T,l}; \quad \alpha_{\theta,TOT} = f_w \left(\frac{k_T}{k_{TOT}} \right) \frac{\nu_{T,s}}{\text{Pr}_{\theta}} + (1 - f_w) C_{\alpha,\theta} \sqrt{k_T} \lambda_{eff} \quad (18)$$

Denklem (1) ve (3)'deki türbülans skaler difüzivitesi şöyle tanımlanır:

$$\alpha_T = f_{\nu} C_{\mu,std} \sqrt{k_{T,s}} \lambda_{eff}; \quad k_{TOT} = k_T + k_L \quad (19)$$

Bu modelin sabitleri (A, C, Pr ve σ ile gösterilen) ANSYS Fluent Theory Guide 18.0 sürümünde listelenmiştir (Fluent, 2017). Bu model, Walters ve diğ. (2008) tarafından daha detaylı olarak anlatılmıştır. Füsrt ve diğ.(2013), laminerden türbülanslı akışa geçişi dikkate olan birkaç modeli kıyaslamıştır. Yazarlar, k_T - k_L - ω modelinin, düz levha üzerindeki testlerde serbest akış türbülansının etkisini, γ - Re_{θ} geçiş modelinden daha iyi tahmin ettiğini ifade etmişlerdir.

HAD simülasyonu için pompa çarkının hareketli, doğrultucu ve difüzörün sabit olacağı bir blok içine yerleştirilen bir model hazırlanıp (Şekil 3), model içindeki akış alanı için Fine 100 mertebesinde bir çözüm ağı oluşturuldu. İlk çözüm ağı üzerinden ön analizler yapıldı ve ardından y^+ yüzey hücre iyileştirmesi yapılarak çözüm ağı geliştirildi. Analizlerde hesaplanan sonucun, çözüm ağındaki düğüm sayısına bağlılığının tespiti için 11000 dev/dak dönme sayısında 2 L/dak tasarım debisinde farklı çözüm ağı sayılarında analizler yapıp yaklaşık 3.7 milyon adet hücre ile kararlı bir sonuca ulaşılabilir.



Şekil 3. Pompanın genel görünümü (Üst gövdesi çıkarılmış durumda)

Figure 3. General view of the pump (Upper body removed)

Bu çözüm ağı üzerinden $k\text{-}\kappa\text{-}\omega$ türbülans modeli kullanılarak 9000-12000 dev/dak aralığındaki dört farklı dönme sayısında 0.5-5 L/dak arasında 6 noktadaki debi için çözümler yapıldı. Basınç bazlı çözüme yöneten denklemleri (süreklilik ve momentum) ve türbülans modeli denklemleri ikinci mertebeden doğrulukta ayrıklaştırma şemaları kullanılarak çözüldü. Fluent çözümlerinde yakınsama kriteri 10^{-4} olarak belirlendi. Deneysel doğrulamada akışkan olarak su ve HAD simülasyonlarında kana eşdeğer viskozite (3.5×10^{-5} kg/m.s) ve yoğunluktaki (1050 kg/m³) sıvı kullanıldı. Pompaya giriş ve çıkışlarda türbülans şiddeti $T\dot{S}=0.16Re^{-1/8}$ ifadesiyle tanımlandı. Pompa performansının tespitinde kullanılan parametrelerden:

Pompa yükü, akışkanın pompada özgül enerjisindeki artıştır;

$$H = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{P_{tç} - P_{tg}}{\gamma} \quad (20)$$

Buradaki toplam basınç, akışkanın statik basıncıyla dinamik basıncının toplamıdır;

$$\frac{P_t}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

Akışkan gücü, birim zamanda akışkan üzerine çarkın yaptığı iştir;

$$N_a = \gamma Q H \quad (22)$$

Pompa gücü, çartaki tork ile açısal hızı çarpımıdır;

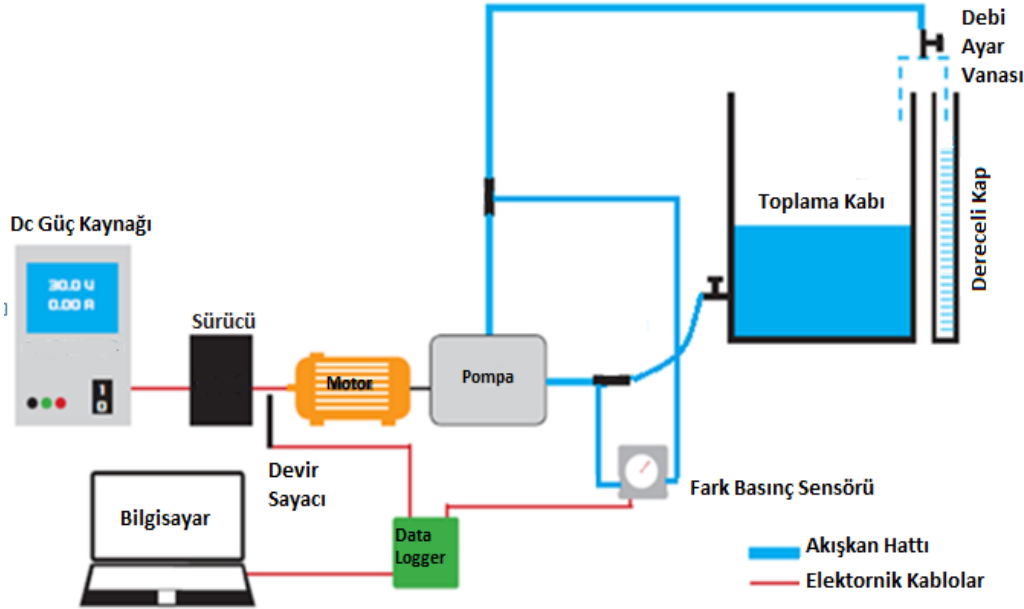
$$N_p = T \omega \quad (23)$$

Pompa hidrolik verimi;

$$\eta_h = \frac{N_a}{N_p} \quad (24)$$

Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Pompa tasarım programları kullanılarak katı modeli oluşturulan pompanın gövdesi dışındaki kanatlı elemanları 3D yazıcı (FDM Tekniği) yardımıyla PLA (Polilaktik Asit Termoplastik Polyester) malzemeden üretildi. Pompa gövdesinin imalat malzemesi olarak paslanmaz olması ve kolay işlenebilmesi açısından alüminyum malzeme tercih edildi. Bu gövde, CNC dik işlem tezgâhu ile alüminyum blok üzerine işlenerek imal edildi. Pompa mili 3 mm çapında paslanmaz çelik malzemeden imal edildi. Mil ile gövde arasındaki sızdırmazlığı sağlamak için grafitli-örgülü tipli salmastra kutusu kullanıldı. Mili yataklamak için kapaklı 603 rulman kullanıldı. HAD simülasyon sonuçlarını doğrulamak ve bu pompanın gerçek performansını belirlemek için kurulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Figure 4. Schematic representation of the test setup

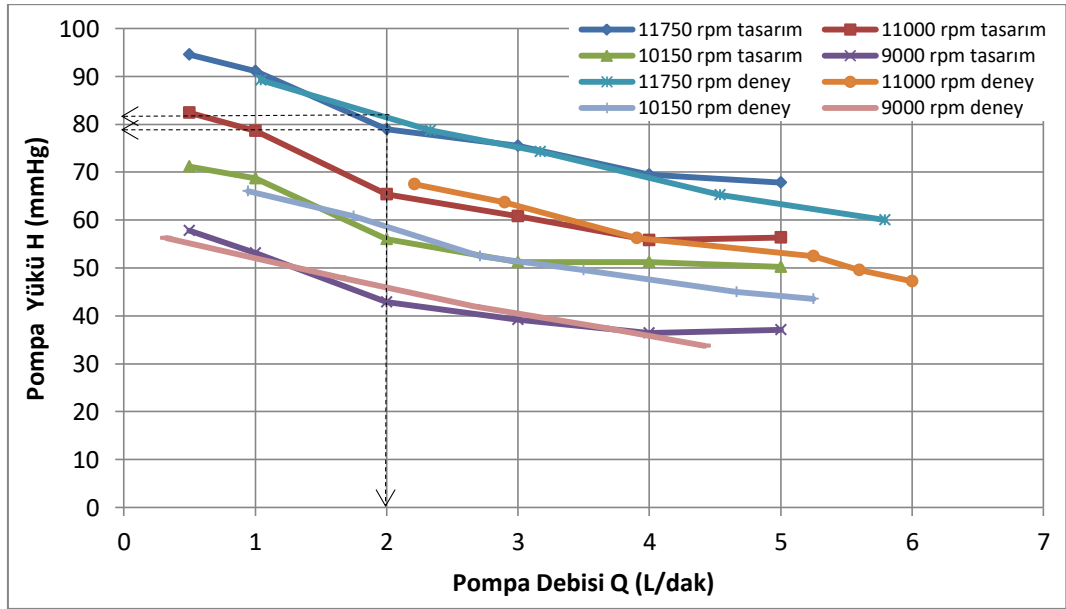
Deney akışkanı suyun içinde bulunduğu ağız atmosfere açık toplama kabı, 10.5 mm iç çapa sahip olan esnek hortumlarla pompaya bağlanmıştır. Pompa çıkışındaki su, tekrar aynı tip esnek hortumlarla bu kaba geri pompalandı. Basma hattına debi ayarı yapmak için bir vana konuldu. Debi ölçümü için dereceli kaba akışkanı yönlendirmek amacıyla debi ayar vanasından sonra esnek bir hortum yerleştirildi. Hortumun yönü değiştirilerek akışkan dereceli kaba yönlendirildi. Deneyde debi, hacmi bilinen bir kap ile suyun hacmi bir kronometreyle suyun alınma zamanı ölçülerek belirlendi.

Pompanın emme ve basma hatlarındaki şeffaf plastik borular üzerlerine basınç ölçümlerinin yapılacağı 2 mm çapında delikler delinerek, bu deliklere çok küçük çaplı basınç sinyal hortumları takıldı, bu hortumlarla basınç sinyali fark basınç sensörüne iletildi. Basınç ölçümü için %0.25 hassasiyete sahip Valcom 27D Fark basınç sensörü kullanıldı. Fark basınç sensörünün doğrulaması civalı U tipi manometre ile yapıldı. Motor devir sayısının ölçümü ise motor-pompa mili bağlantısı üzerine takılan bir endüktif proximity sensörüyle yapıldı. Deneyde motor devir sayacı olarak Sick IME1603 endüktif proximity sensör kullanıldı. Bu sayacın doğruluğunun kontrolü %0.05 hassasiyete sahip Lutron DT2236 dijital foto takometre ile yapıldı.

Simülasyon sonuçlarını doğrulama deneylerinde akışkan olarak su kullanıldı. 9000 den 11750 dev/dak arasında değişen pompa hızlarında 0.5-5 L/dak debi aralığında 6 farklı noktada ölçümler yapıldı. Bir debideki deney en az üç kez tekrarlanıp ortalama değerlerle bu kalp destek pompasının performans eğrileri çizildi.

HAD Sonuçlarının Deneysel Olarak Doğrulanması (Experimental Verification of CFD Results)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu ile elde edilen çocuk kalp destek pompası $H=f(Q)$ performansının, akışkan olarak su kullanılan deneylerle doğrulanmasını gösteren sonuçlar Şekil 5’de verilmiştir. Burada incelenen eksenel pompanın hem sayısal hem de deneysel debiye göre pompa yükünün (basıncının) değişimi, yüksek özgül hızlı büyük ölçekli rotodinamik (çarklı) pompalarınkine benzer bir davranış göstermektedir. Suyla yapılan deneylerin sonuçlarının, HAD yazılımıyla elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Tasarlanan pompanın tasarım noktasında (2 L/dak debi, 80 mmHg ve 11750 dev/dak) su için deney ve HAD arasında yaklaşık %2,5 sapma olduğu görülmüştür. Demir ve diğ. (2011) Yapmış olduğu çalışmada; tasarım noktasında, akışkanın su olduğu durumda, deney ile simülasyon arasında %9 sapma olmuştur. Aka ve diğ. (2014) Yaptığı çalışmada; tasarım noktasında deney ile HAD simülasyonu arasındaki sapma yaklaşık %14,5 olmuştur. Bu çalışmada elde edilen %2,5’lik sapma değeri literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığı zaman kabul edilebilir bir değerdir. Böylece HAD simülasyonu, deneyle doğrulanmıştır. 4 L/dak’dan yüksek debilerde, simülasyon ve deneysel pompa yükleri (basınçları) arasındaki farkların tüm devir sayılarındakinden biraz daha fazla olduğu görülmüştür. 0-5 L/dak aralığında pompa basıncı yaklaşık 35 ila 95 mmHg arasında değişmektedir.



Şekil 5. HAD sonuçlarının deneysel sonuçlarla doğrulanması

Figure 5. Verification of CFD results with experimental results

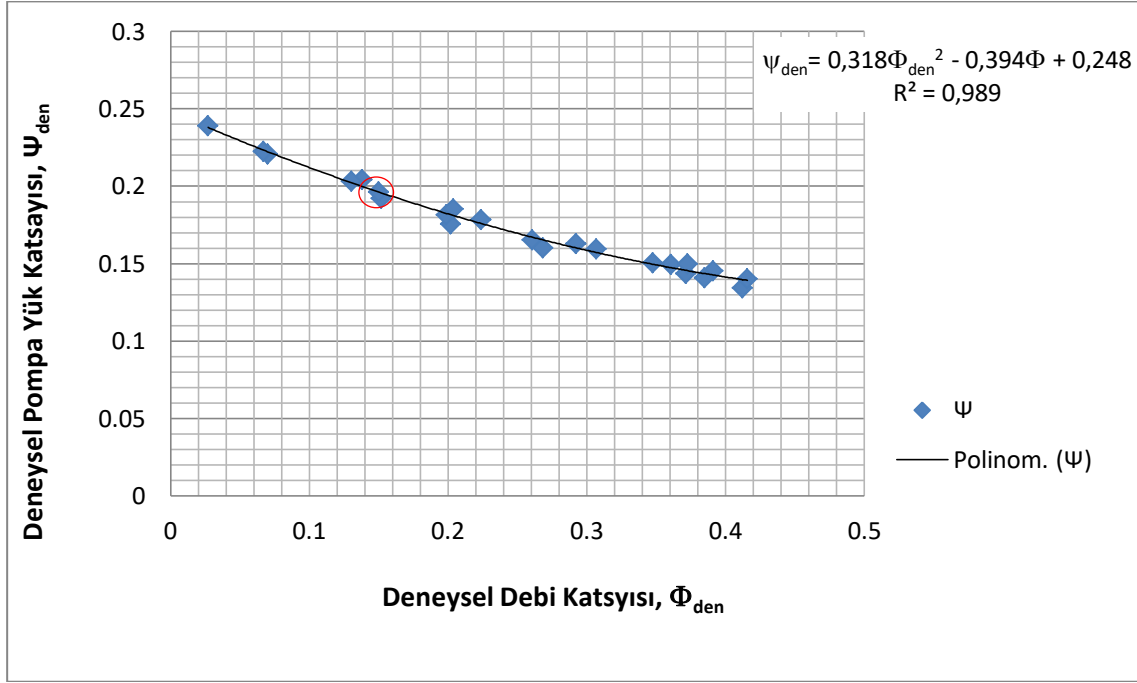
SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Pompanın HAD analizi veya deneysel sonuçlarının daha az sayıda parametre ile ifade edilebilmesi ve genelleştirilebilmesi için; onların hidrodinamik performans eğrileri, basınç ve debi katsayısı gibi boyutsuz parametreler kullanılarak gösterilir. Boyutsuz parametreler yardımıyla gösterim metodu Kafagy ve diğ. (2015) ve Wu ve diğ. (2001),(2012) gibi araştırmacıların çalışmalarında da kullanıldığı görüldü. Pompanın iki temel boyutsuz hidrodinamik parametresinden basınç katsayısı (ψ) ve debi katsayısının (Φ), boyutsuz ifadeleri aşağıda sırayla verilmiştir.

$$\psi = \left(\frac{\Delta P}{\rho N^2 R^2} \right) \quad (25)$$

$$\Phi = \left(\frac{Q}{NR^3} \right) \quad (26)$$

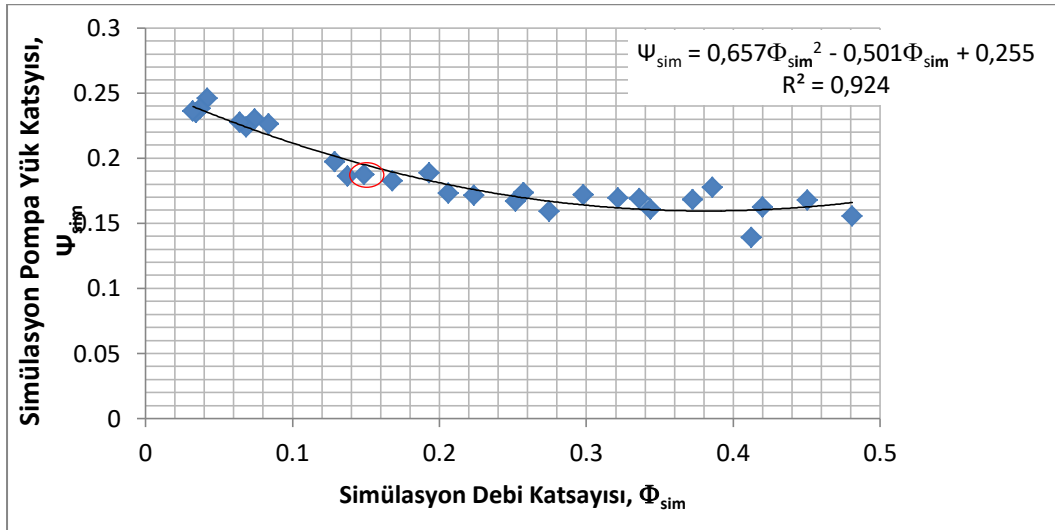
Burada Q debiyi (m^3/s), N çarkın dönme hızını ($1/s$), R çark yarıçapını (m), $\Delta P_i = \gamma H$ pompa basıncını ($kg.m/s^2m^2$) ve ρ akışkan yoğunluğunu (kg/m^3) göstermektedir. (25) ve (26) numaralı formüllerle hesaplanan boyutsuz parametrelerle çizilen debi-basınç grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Pompa çark çapının 12 mm olduğu bu çalışmada tasarım noktası değerleri $Q=2\text{ L/dak}$ ve $H=80\text{ mmHg}$ için sırayla boyutsuz debi katsayısı $\Phi_{den} \cong 0.15$ ve pompa yük (basınç) katsayısı $\psi_{den} \cong 0.19$ 'dur. Throckmorton ve diğ. (2007) tarafından yapılan araştırmada aynı deneysel debi katsayısında $\psi_{den} \cong 0.185$ olarak bulunmuştur. Bu araştırmada pompa gövdesi içinde aksenal akış sağlayan pompa çarkının çapı 14 mm 'dir.



Şekil 6. Su için boyutsuz parametrelere göre deneysel performans eğrisi

Figure 6. Experimental performance curve according to dimensionless parameters for water

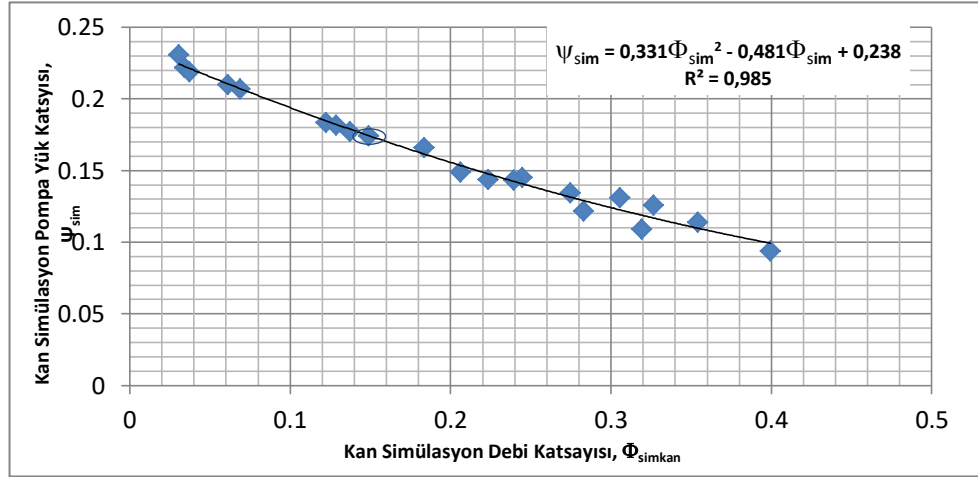
$R^2 = 0.989$ değerine göre ψ_{den} ve Φ_{den} arasında ikinci derecen bir kuvvetli bağıntı olduğu açıktır. Benzer durum, Şekil 7'deki HAD simülasyonu sonuçları için de geçerlidir.



Şekil 7. Boyutsuz parametrelere göre su için HAD simülasyonu performans eğrileri

Figure 7. CFD performance curves for water according to dimensionless parameters

Kan benzeri akışkan için çeşitli pompa devir sayıları için HAD simülasyonu kullanılarak oluşturulan boyutsuz debi-basınç grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan pompaya ait doğrultucu, çark ve difüzörün kanat ucu çapları yaklaşık aynıdır; fakat bu elemanların göbük çapları akış önünde biraz değişmektedir. Tasarım noktasında kan için de $\Phi_{den} \cong 0.15$ ve pompa yük(basınç) katsayısı $\Psi_{den} \cong 0.175$ 'dir. Benzer sonuçlar Throckmorton ve diğ.(2007) tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir. Ancak bu pompanın geometrisi biraz farklıdır; akış yönünde eksenel çarkın çapı artmaktadır, difüzörün çapı ise azalmaktadır.

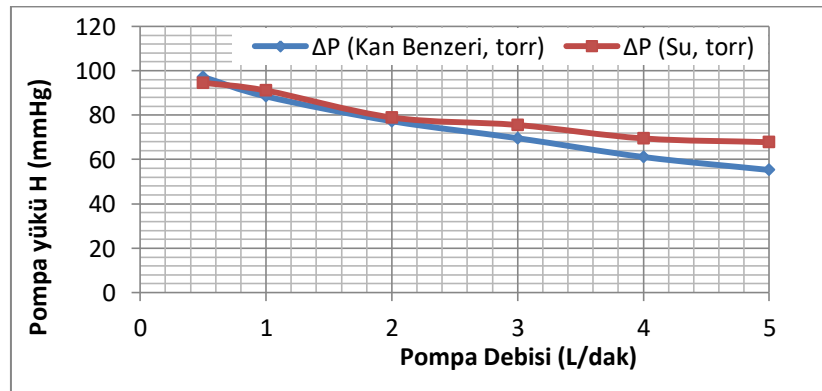


Şekil 8. Boyutsuz parametrelere göre kan benzeri akışkan için HAD simülasyonu performans eğrileri

Figure 8. CFD performance curves for blood-like fluid according to dimensionless parameters

HAD simülasyonunda kullanılan akışkanın yoğunluk ve viskozitesi değiştirilerek akışkan kana benzetildi ve tasarım dönme sayısı olan 11750 dev/dak dönme hızında analizler tekrarlandı. Akışkanın yoğunluğu 1050 kg/m^3 ve viskozitesi $0,0035 \text{ Pa.s}$ olacak şekilde ayarlandı.

HAD simülasyon sonuçlarına göre elde edilen $H=f(Q)$ performansının su ile karşılaştırılması Şekil 9'da verilmiştir. Kan benzeri akışkan ve su ile yapılan analizlerin sonuçlarının benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Tasarım debisi 2 L/dak için pompa yükü yaklaşık 80 mmHg 'dir. $\Phi_{den} \cong 0.15$ ve pompa yük(basınç) katsayısı $\Psi_{den} \cong 0.175$ 'dir. Throckmorton ve diğ. (2007) tarafından yapılan deneysel ve simülasyon çalışmasında çark çapı 14 mm olan bir kalp destek pompasında $n=9000 \text{ dev/dak}$ dönme sayısı ve $Q=2 \text{ L/dak}$ debide pompa yükü yaklaşık $H=85 \text{ mmHg}$ elde edilmiştir. Bu çalışmada HAD simülasyonları $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın deney kısmında eksenel akışlı pompa, bu çalışmadaki gibi, dıştan bir elektrik motoruyla tahrik edilmiştir.

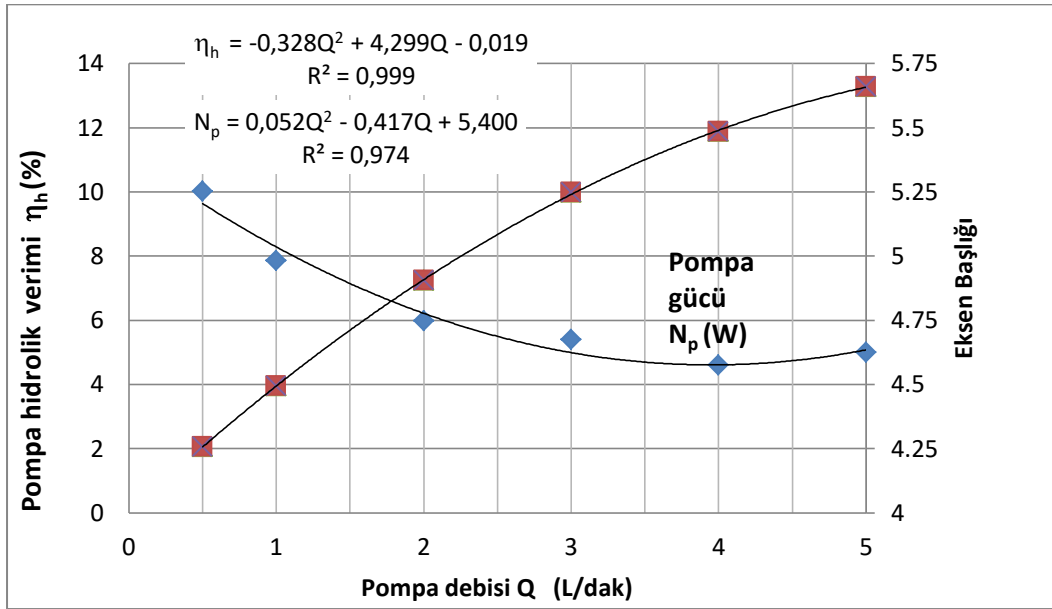


Şekil 9. Kan benzeri akışkan ve su için performans karşılaştırma grafiği

Figure 9. Performance comparison chart for blood-like fluid and water

Schüle ve diğ. (2016) yaptığı benzer bir çalışmada çark çapı 12 mm olan bir aksenal akışlı kalp destek pompasında $n=9000$ dev/dak'da $Q=2$ L/dak debide basınç yaklaşık 80 mmHg olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada değişken göbek çaplı ama sabit kanat ucu çaplı pompanın performansı PIV (Particle Image Velocimetry) yöntemi ve deneysel yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

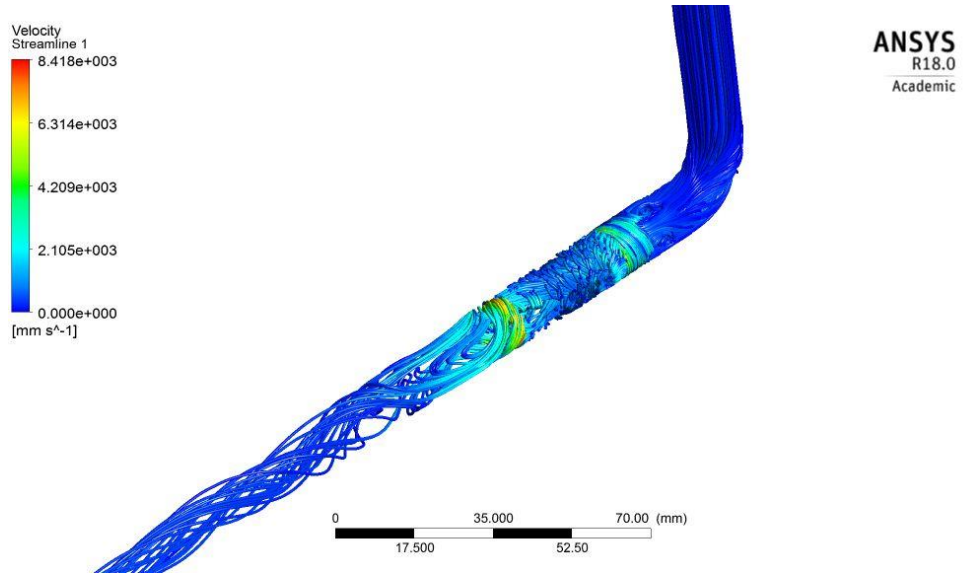
Kan benzeri akışkan ile yapılan 11750 dev/dak'daki HAD simülasyonu ile belirlenen, debiye bağlı olarak hidrolik verim $\eta_h=f(Q)$ ve pompa gücü $N_p=f(Q)$ grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu grafiğe göre verim, santrifüj ve karışık akışlı pompalarda olduğu gibi debi artışıyla birlikte artmaktadır. Ancak pompa gücü, diğer rotodinamik pompalardan farklı olarak debi arttıkça genellikle azalma göstermektedir. 0.5-5 L/dak debi aralığında pompa gücü yaklaşık olarak 4.5-5.3 W arasında değişmektedir. Bu debi aralığında verim ise %2-13,27 arasında değişmektedir.



Şekil 10. Kan benzeri akışkan için pompa güç ve verim grafiği

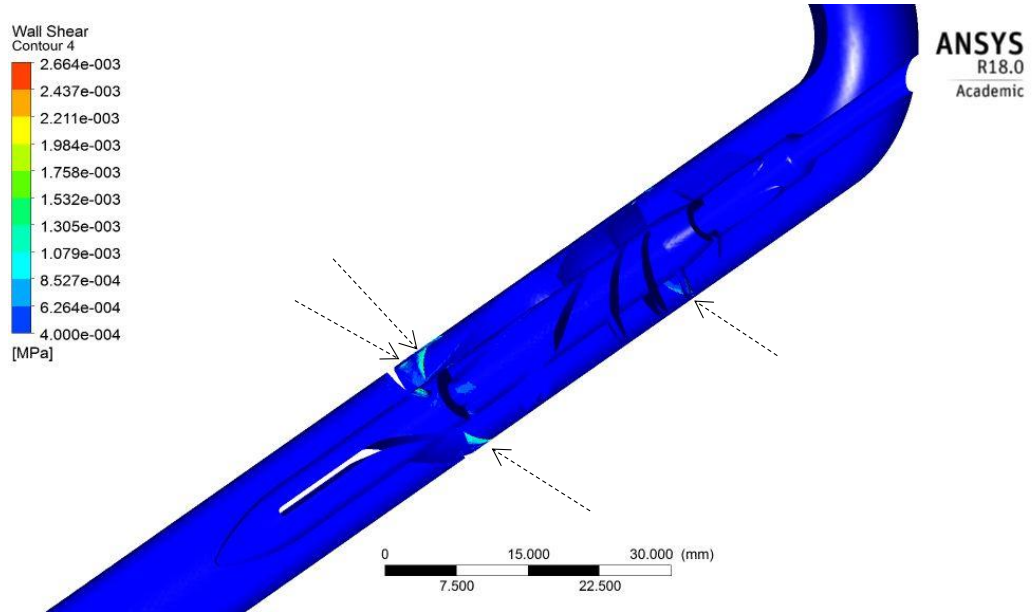
Figure 10. Pump power and efficiency graph for blood-like fluid

Kan benzeri akışkan kullanılarak yapılan sayısal analizler sonucunda; $n=11750$ dev/dak, $Q=2$ L/dak ve $H=80$ mmHg için elde edilen akış çizgileri Şekil 11'de gösterilmiştir. Akış pompaya doğrultucu sayesinde aksenal yönde girmektedir. Akışın çizgisel hızının en çok yükseldiği bölgenin çark çıkışı olduğu görülmüştür. Pompa çıkışından sonra hidrolik kayıpları azaltmak için çarktan sonra yerleştirilen difüzör akışı hem yavaşlatmaktadır hem de dönmesi almaktadır. Akışta biraz dönme görülse de, pompadan sonraki basma borusunda akışkanın neredeyse aksenal yönde hareket ettiği görülmektedir.



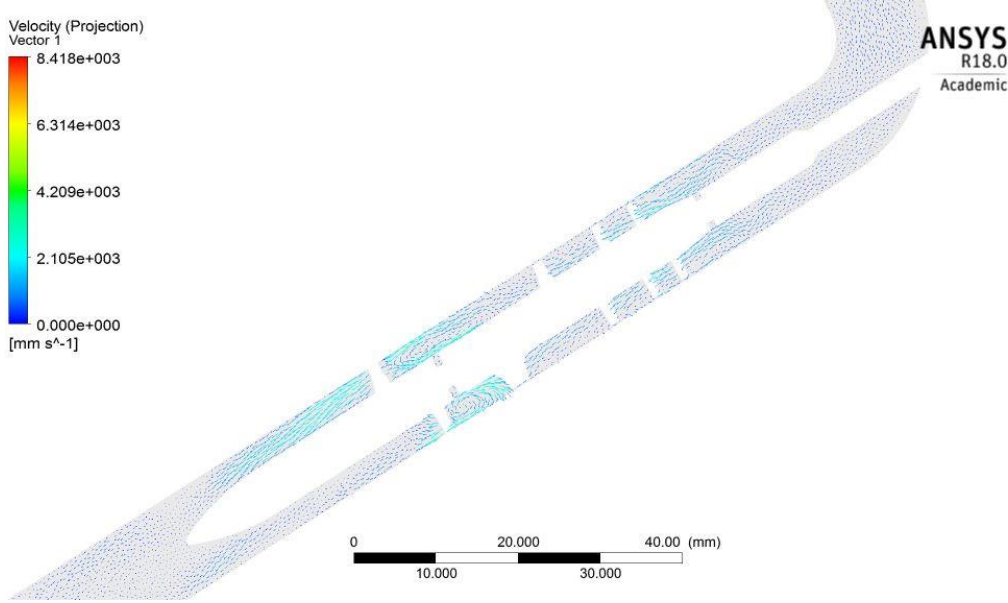
Şekil 11. Kan benzeri akışkan için akış çizgileri
Figure 11. Flow lines of blood-like fluid

Kan pompalarının tasarımındaki en önemli parametrelerden biri de pompa içi kayma gerilmeleridir. Kan hücrelerinin dayanabileceği maksimum kayma gerilmesi için genel olarak 400 Pa seviyesindeki gerilmeler sınır olarak kabul edilmektedir (Lu ve diğ., 2001). Sayısal analizlerle 11750 dev/dak ve kan değerleri girilerek yapılan testlerle belirlenen, pompa içinde meydana gelen kayma gerilmesinin önemli olduğu bölgeler Şekil 12’de açık tonlu renklerle gösterilmiştir. Kayma gerilmelerinin limitin üzerine çıktığı bölgeler akışın ani olarak yön değiştirdiği çark girişi ve doğrultucu girişleridir. Kayma gerilmesinin en yüksek olduğu noktanın 2664 Pa ile doğrultucu kanatlarının giriş ucu olduğu görüldü.



Şekil 12. Kan benzeri akışkan için kayma gerilmeleri
Figure 12. Shear stresses for blood-like fluid

Pompanın radyal simetri düzlemindeki hız vektörlerinin projeksiyonları Şekil 13'de verilmiştir. Doğrultucu girişinde (Kayma gerilmelerinin en çok yükseldiği bölge) akıştaki yön değiştirmeler ve girdaplar görülmektedir.



Şekil 13. Pompa radyal simetri düzlemindeki hız vektörleri

Figure 13. Velocity vectors in the pump radial symmetry plane

ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH RESULTS)

Bu çalışmada pompa tasarım programları ile tasarlanan pediatrik bir kalp destek pompasının HAD performansı, yeni bir geçiş türbülans modeli olan $k\tau$ - k_L - w modeli kullanılarak belirlenmiş ve HAD simülasyon sonuçları deneysel olarak doğrulanmıştır. Çok farklı pompa hızları ve debilerinde yapılan testler sonucunda boyutsuz parametrelere bağlı olarak pompa performansı belirlenmiştir. Test verileriyle pompa debisi (Q) ve pompa yükü (H) arasındaki boyutsuz bağıntı $\psi=f(\Phi)$ elde edilmiştir. Bu bağıntının korelasyon katsayısı R^2 , %92'den daha büyüktür.

Üzerinde çalışılan çocuk kalp destek pompasının HAD simülasyonu ile tasarım noktasındaki boyutlu ve boyutsuz performans parametreleri, literatürdeki benzer pompaların deneysel ve simülasyonla belirlenen parametreleriyle karşılaştırılmıştır. Boyutsuz debi katsayısı esas alınarak yapılan karşılaştırmada basınç katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçla birlikte, HAD ile pompa tasarlayıp performansını belirleyip, performansına bakılarak amaca uygun olarak tasarımın modifiye edilmesi açısından HAD yazılımlarının maliyet ve zaman faktörleri dikkate alındığında faydası net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Doğrulama deneyleriyle HAD simülasyonu ile elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum gözlemlendi. Bu uyum neticesinde, tasarım aşamasında karşılaşılabilecek sorunların giderilmesi ve daha iyi performansa sahip kalp destek pompaları geliştirilmesi için HAD simülasyonlarının güvenilir olduğu söylenebilir.

HAD simülasyonlarına ait görüntüsel sonuçlara baktığımız zaman pompa içinde kayma gerilmeleri, çark çıkışı ile doğrultucu girişi arasında ve akışın ani yön değişimi gösterdiği bölgelerde artmaktadır. Yüksek kayma gerilmelerinden kaçınmak için bu tip bölgelere yoğunlaşmak gerektiği anlaşıldı. Günümüzdeki çalışmalar, ağırlıklı olarak bu bölgelerde geometri düzeltmeleriyle kayma gerilmesi değerlerinin istenen limitlerin altına çekilmesi üzerinedir.

Bu mini kalp destek pompalarının monoblok olarak tasarlanması ve pompa içindeki kayma gerilmelerinin uygun seviyeye getirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından BAP-15201109 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

SEMBOLLER (NOTATION)

N_a : Güç (Akışkan)
 N_m : Güç (Mil)
 $N_ç$: Güç (Çark)
 $N_{mot,y}$: Yükteki motor gücü
 $N_{mot,b}$: Boştaki motor gücü
 n : Devir (dev/dak)
 η : Verim
 P : Basınç (Torr)
 ΔP : Toplam basınç farkı (Torr)
 Re : Reynolds sayısı
 T : Tork (Nm)
 $T\dot{S}$: Türbülans şiddeti
 Q : Debi (L/dak)
 ω : Açısal hız

İNDİSLER (INDICES)

a : Akışkan
 b : Boşta
 $ç$: Çıkış
 g : Giriş
 h : Hidrolik
 m : Mil
 p : Pompa

KAYNAKLAR (RESOURCES)

- Aka, İ.B., Dadgar, S., Sezer, M.E., Kadıpaşaoğlu, A.K., "Bir Eksenel Akışlı Sol Ventrikül Destek Pompasının (SVDP) Fiziki Performans Testleri İçin Platform Tasarımı" , 14. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, Kapadokya, Nevşehir, 25-27 Eylül 2014.
- Baldwin, J. T., Borovetz, H. S., Duncan, B. W., Gartner, M. J., Jarvik, R. K., Weiss, W. J., 2011, "The National Heart, Lung, and Blood Institute Pediatric Circulatory Support Program: A Summary of the 5-Year Experience", *Circulation*, Vol. 123 (11), pp. 1233-1240.
- B Clark, J., B Pauliks, L., L Myers, J. ve Undar, A., 2011, "Mechanical Circulatory Support for End-Stage Heart Failure in Repaired and Palliated Congenital Heart Disease", *Current Cardiology Reviews*, Vol. 7 (2), pp. 102-109.
- Demir, O., Biyikli, E., Lazoglu, I., Kucukaksu, S., 2011, "Design of a Centrifugal Blood Pump: Heart Turcica Centrifugal", *Artificial Organs*, Vol. 35 (7), pp. 720-725.
- Fluent, A., 2017, *18.0 ANSYS Fluent theory guide 18.0*, Ansys Inc.
- Fürst, J., Straka, P., Pířhoda, J., Šimurda, D., 2013, "Comparison of Several Models of the Laminar/Turbulent Transition", *EPJ Web of Conferences*, 01032.

- Kafagy, D. H., Dwyer, T. W., McKenna, K. L., Mulles, J. P., Chopski, S. G., Moskowitz, W. B., Throckmorton, A. L., 2015, "Design of Axial Blood Pumps for Patients with Dysfunctional Fontan Physiology: Computational Studies and Performance Testing", *Artificial organs*, Vol. 39 (1), pp. 34-42.
- Lu, P., Lai, H., Liu, J., 2001, "A Reevaluation and Discussion on the Threshold Limit for Hemolysis in a turbulent Shear Flow", *Journal of Biomechanics*, Vol. 34 (10), pp. 1361-1364.
- Reul, H. M., Akdis, M., 2000, "Blood Pumps for Circulatory Support", *Perfusion*, Vol. 15 (4), pp. 295-311.
- Sağlık Bakanlığı, 2015, *Türkiye Kalp ve Damar Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı*, Ankara p.
- Schüle, C. Y., Thamsen, B., Blümel, B., Lommel, M., Karakaya, T., Paschereit, C. O., Affeld, K., Kertzsch, U., 2016, "Experimental and Numerical Investigation of an Axial Rotary Blood Pump", *Artificial Organs*, Vol. 40 (11).
- Throckmorton, A. L., Untaroiu, A., Allaire, P. E., Wood, H. G., Lim, D. S., McCulloch, M. A., Olsen, D. B., 2007, "Numerical Design and Experimental Hydraulic Testing of an Axial Flow Ventricular Assist Device for Infants and Children", *Asaio Journal*, Vol. 53 (6), pp. 754-761.
- Throckmorton, A. L., Untaroiu, A., 2008, "CFD Analysis of a Mag-Lev Ventricular Assist Device for Infants and Children: Fourth Generation Design", *Asaio Journal*, Vol. 54 (4), pp. 423-431.
- Walters, D. K., Leylek, J. H., 2004, "A New Model for Boundary Layer Transition Using a Single-Point RANS Approach", *Journal of Turbomachinery*, Vol. 126 (1), pp. 193-202.
- Walters, D. K., Cokljat, D., 2008, "A Three-Equation Eddy-Viscosity Model for Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulations of Transitional Flow", *Journal of fluids engineering*, Vol. 130 (12), 121401.
- Warnes, C. A., 2005, "The adult with congenital Heart Disease: Born to be bad?", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 46 (1), pp. 1-8.
- Wu, J., Antaki, J. F., Verkaik, J., Snyder, S., Ricci, M., 2012, "Computational Fluid Dynamics-Based Design Optimization for an Implantable Miniature Maglev Pediatric Ventricular Assist Device", *Journal of fluids engineering*, Vol. 134 (4), 041101.
- Wu, Z., Gottlieb, R., Burgreen, G., Holmes, J., Borzelleca, D., Kameneva, M., Griffith, B., Antaki, J., 2001, "Investigation of Fluid Dynamics within A Miniature Mixed Flow Blood Pump", *Experiments in Fluids*, Vol. 31 (6), pp. 615-629.

TAŞIYICI DUVAR UZUNLUKLARI DEPREM YÖNETMELİĞİ KURALLARINA UYGUN OLMAYAN DONATISIZ YIĞMA BİR YAPININ DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

¹Oktay Musa KAYIRGA, ²Fatih ALTUN

¹Erciyes Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, KAYSERİ

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ

¹okayirga@erciyes.edu.tr, ²faltun@erciyes.edu.tr

(Geliş/Received: 06.11.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 15.03.2018)

ÖZ: Bu çalışmada, kapı ve pencere boşlukları nedeniyle taşıyıcı duvar uzunluğu deprem yönetmeliği kurallarına uygun olmayan 3x3x3 m boyutlarında, tek katlı, tam (1:1) ölçekli donatısız yığma yapı, döngüsel yük etkisi altında deneysel olarak incelenmiştir. Döngüsel yük, yükleme duvarına monte edilen hidrolik yükleme düzeneği vasıtasıyla uygulanmış ve yük etkisi altında meydana gelen hasarlar yapı üzerine işaretlemiştir. Deplasman değerleri yedi adet deplasman ölçer ve veri kayıt sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, yığma yapı maksimum yük etkisinin %75'ine kadar yaklaşık olarak doğrusal davranış gösterdiği ve bu döngülerde kılcal çatlaklar dışında hasar meydana gelmediği görülmüştür. Bu yük seviyesinden sonra, yapının açılıp kapanan çatlaklarla enerji tüketmeye devam ettiği ve 0,013 görece kat ötelenme oranında göçme konumuna ulaştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, taşıyıcı duvar uzunluğunun hasara sebebiyet veren önemli bir etken olduğu ve yönetmelik kurallarına hassasiyetle uyulması gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donatısız yığma yapı, Döngüsel yük etkisi, Hasar, Taşıyıcı duvar uzunluğu,

Experimental Investigation of Unreinforced Masonry Building Having Insufficient Loadbearing Wall Length According to Turkish Earthquake Code Rules

ABSTRACT: In this study, 3x3x3 m sized, single-story, full-scale (1:1) unreinforced masonry building having insufficient loadbearing-wall length because of window and door openings according to Turkish earthquake code rules was investigated experimentally under the cyclic load effect. Cyclic load was carried out via hydraulic load-jack mounted on reaction wall, and the damages occurred under the influence of cyclic load were marked on the building. The displacement values were recorded by seven displacement transducers and data recording system. When the obtained values were evaluated, it was observed that the building behaved approximately linear to 75% of maximum load, and damage did not occur in these cycles except a few capillary cracks. After this load level, it was determined that the building dissipated energy with opened-closed cracks, and bearing capacity reached ultimate capacity about 0,013 relative storey drift rate. As a result, it is evaluated that loadbearing-wall length is the important factor for cause of damage, and it is necessary to observe the code rules meticulously.

Key Words: Unreinforced masonry building, Cyclic load effect, Damage, Loadbearing-wall length,

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Donatısız yığma yapılar, taşıyıcı sistemi doğal taşların veya tuğla, beton briket, gazbeton, kireç kumtaşı vb. gibi yapay taşların bağlayıcı bir harç ile örülmesi suretiyle oluşturulan bina türleridir.

Günümüzde, yapımı geçmişe oranla giderek azalsa da, inşa edilmiş pek çok yığma yapı bulunmaktadır. Özellikle kırsal kesimlerde yoğun olarak bulunan yığma yapılar ülkemiz yapı envanterinin % 51 gibi büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (DİE,2000). Genellikle yöresel malzemeler kullanılarak geleneksel olarak inşa edilen bu tür yapılarda deprem etkisi altında ağır hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu durum can ve mal kaybına sebep olabilmektedir.

Dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer alan ülkemiz yüzölçümünün % 92'si deprem bölgeleri içerisinde yer almakta olup, son idari yapılanmaya göre nüfusunun % 98,8'i bu bölgeler içerisinde yaşamaktadır (Birinci ve Hacıfendioğlu, 2015). Aktif deprem kuşağında olan ülkemizde yapı envanterinin önemli bir bölümünü oluşturan yığma yapıların deprem davranışının bilinmesi önem arz etmektedir.

Yığma yapı davranışı üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Konu ile ilgili olarak deneysel çalışmalar (Altun ve Kayırğa, 2014; Lourenço ve diğ., 2013; Shahzada ve diğ., 2012; Bothara ve diğ., 2010); duvar boşluk durumlarının incelendiği çalışmalar (Altun ve Kayırğa, 2015; Ural, 2005) ve deprem hasarları üzerinden yapı davranışının incelendiği çalışmalar (Doğangün ve Ural, 2008; Arun, 2005) olarak verilebilir.

Çalışmada, yukarıda belirtilen çalışmalardan farklı olarak, taşıyıcı duvar uzunluğu Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) 5. Bölüm kurallarına uygun olmayan yığma bir yapının, döngüsel yük etkisi altında davranışı ve hasar gelişimi incelenmiştir. Yönetmelikte, yığma yapıların bina köşesine en yakın pencere ve kapı arasında kalan taşıyıcı duvar uzunluğu, kapı ve pencere arasında kalan duvar uzunluğu, boşluk uzunluklarının toplamı ve toplam duvar uzunluğuna olan oranı depreme dayanıklı tasarım kuralları arasında yer almaktadır. Bu amaçla tam (1:1) ölçekli olarak inşa edilen yığma yapıya, reaksiyon duvarına monte edilen hidrolik krikon vasıtasıyla döngüsel yatay yük etki ettirilmiştir. Her bir döngüde meydana gelen hasarlar yapı üzerinde işaretlenmiş ve deplasman ölçerlerden elde edilen değerler veri toplama sistemi vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır.

Deney sonucunda, yapıda karakteristik çapraz çatlak oluşumu, duvar rijitlik farkına bağlı burulma hasarı ve özellikle taşıyıcı duvar boşluğu fazla olan duvarda büyük oranda hasar meydana geldiği tespit edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

MATERYAL (MATERIAL)

Deneysel çalışmada, yığma yapı duvar malzemesi olarak kireç kumtaşı kargir birimler sınıfı içerisinde yer alan ve içerisinde yüksek oranda silis bulunduran pomza taşı ile kirecin birleşiminden oluşan yığma yapı malzemesi kullanılmıştır. Malzemeye ilişkin üretici firma tarafından verilen fiziksel ve mekanik değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Duvar malzemesinin fiziksel ve mekanik değerleri

Table 1. Mechanical and physical values of masonry unit

Özellikler	Değerler
Ebat	190 x 190 x 375 mm
Ortalama Basınç Mukavemeti	5 ~ 7 MPa
Net Kuru Birim Hacim Kütle	1100 ~ 1300 kg/m ³
Ağırlık	12 kg/adet (±%10)

Duvar örgüsünde, duvar malzemesi üreticisi tarafından 25 kg'lık hazır torbalar halinde üretilen çimento esaslı yapıştırma harcı kullanılmıştır. Bir torba yapıştırma harcı 7-8 litre su ile topraklanma kalmayana kadar karıştırılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan harç yaklaşık 10 dakika kadar bekletilerek uygulanmıştır. Uygulanan yüzeyin temiz ve nemli olmasına ve hazırlanan karışımın 3 saat içerisinde tüketilmesine kullanma talimatı gereği özen gösterilmiştir.

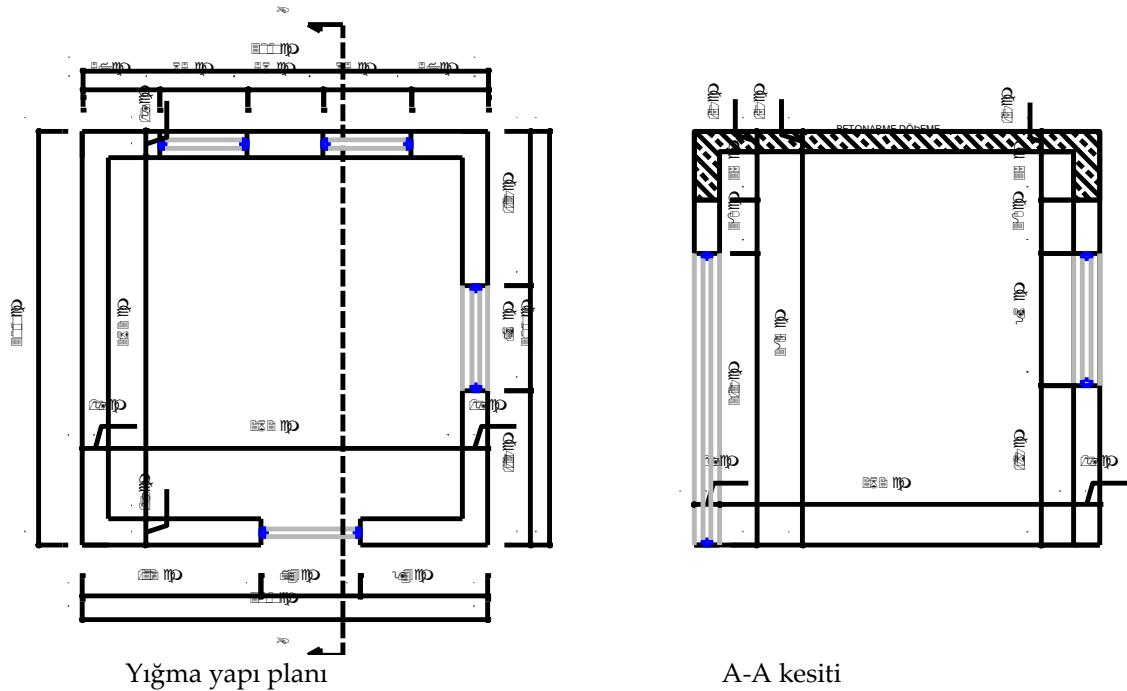
Deneysel çalışmada, yüklerin duvarlara rijitlikleri oranında dağıtılması amacıyla, betonarme döşeme ve hatıl sistemi oluşturulmuştur. Döşeme ve hatıl imalatında C25 sınıfı beton ve S420 nervürlü donatı kullanılmıştır.

METOD (METHOD)

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin (DBYBHY-2007) taşıyıcı duvar boşlukları başlıklı 5.4.6 maddesinde:

- Bina köşesine en yakın pencere ya da kapı ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.50 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den az olamaz,
- Bina köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 0.80 m'den az olamaz,

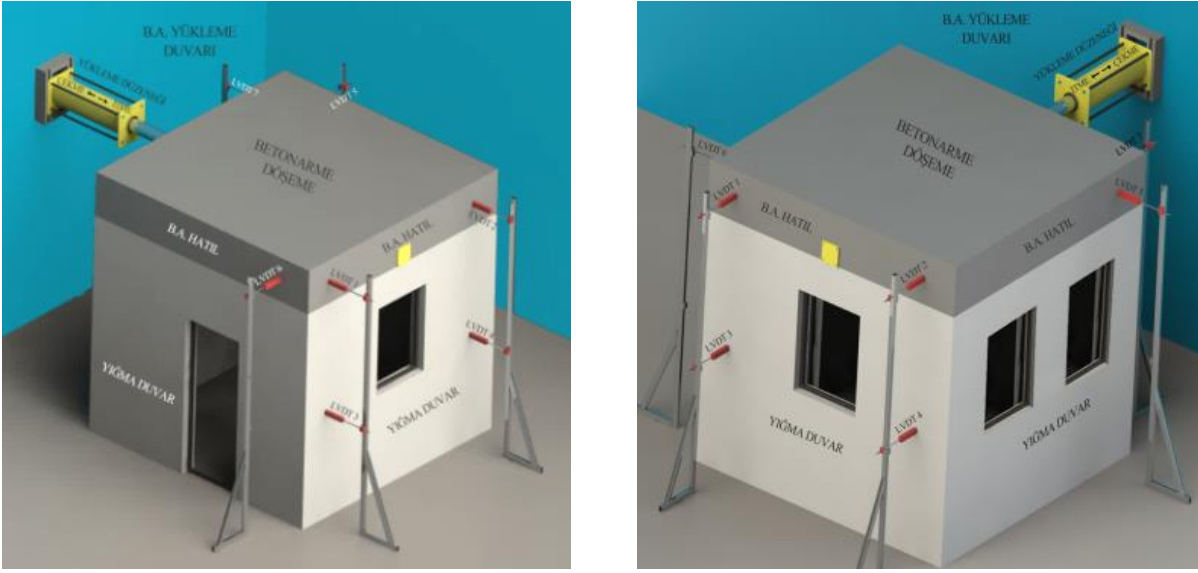
denilmektedir. Deneysel araştırma amacıyla, kapı ve pencere boşluklarının bina köşesine olan uzaklıkları ile pencere boşlukları arası uzunluğu yukarıda belirtilen kriterlere uymayan yığma yapı planı tasarlanmıştır. Tasarlanan mimari planda, bina köşesinden en yakın kapı boşluğuna kadar olan dolu duvar uzunluğu 0,94 m; bina köşesinden pencere boşluğuna kadar olan dolu duvar uzunluğu 0,57 m'dir. Yine, planda pencere boşlukları arasında kalan dolu duvar parçası uzunluğu 0,56 m olarak alınmıştır. Tasarlanan yapıya ait plan ve kesit Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yığma yapı planı ve en kesiti

Figure 1. Plan and cross-section of Masonry building

Döngüsel yük etkisi, reaksiyon duvarına monte edilen hidrolik kriko vasıtasıyla uygulanmıştır. Hidrolik kriko doğrultusunda uygulanan yük itme (+) ve çekme (-) yönü olarak adlandırılmıştır. Yük etkisi altında meydana gelen deplasmanlar için yedi adet deplasman ölçer kullanılmıştır. Dört adet deplasman ölçer uygulanan yük doğrultusunda, iki tanesi meydana gelebilecek dönme etkisinin ölçülmesi için bina çapraz köşelerine, bir adet deplasman ölçer ise kontrol amaçlı bina arka köşesine monte edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneği
Figure 2. Experimental Setup

BULGULAR (RESULTS)

Deneysel çalışmaya itme ve çekme yönünde 5 kN yük etkisi ile başlanmış ve yük etkisi her bir döngüde 5 kN artırılmıştır. Beşinci döngüye kadar yapıda hasar gözlemlenmemiştir. Beşinci döngüden itibaren yapıda kılcal çatlak düzeyinde hasar gelişimi başlamıştır. İlk yedi döngüye ait yük ve meydana gelen tepe deplasman ortalama değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. İlk yedi döngüye ait yük-deplasman değerleri
Table 2. Load-Displacement values belong to first seven cycles

Döngü No.	Yük İtme Yönü (+) (kN)	Yük Çekme Yönü (-) (kN)	Ortalama Deplasman İtme Yönü (+) (mm)	Ortalama Deplasman Çekme Yönü(-) (mm)
1	5,008	5,104	0,081	0,077
2	10,126	10,031	0,185	0,168
3	15,243	15,039	0,300	0,282
4	20,139	20,115	0,435	0,428
5	25,134	25,165	0,633	0,646
6	30,167	30,092	0,929	0,992
7	35,157	35,127	1,519	1,708

Yedinci döngüde yaklaşık 35 kN yük etkisi ile histeresiz eğrisinde karakteristik değişiklik meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu aşamada, doğrusal olduğu kabul edilen yük deplasman grafiğinin doğrusallıktan uzaklaştığı değerlendirilmiştir. Meydana gelen bu değişiklik sonucunda deneysel çalışmanın deplasman kontrollü olarak devam etmesi kararlaştırılmış ve bu aşamadan sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır. Histeresiz eğrisinde meydana gelen değişimle birlikte duvar malzemesi harç birleşiminde çatlak oluşumu da gözlemlenmiştir. Duvar malzemesi ile harç arasında başlayan çatlaklar 9. Döngüden itibaren basamaklı karakteristik çapraz çatlak haline dönüşmeye başlamıştır. Yükleme sonucunda gelişen hasarlara ilişkin fotoğraflar Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. İlk karakteristik hasarlar

Figure 3. First characteristic cracks

Artan yükleme etkisiyle, bu aşamadan itibaren kapı ve pencere boşluk köşelerinden yapı köşelerine doğru basamaklı çapraz çatlak gelişimleri artarak devam etmiş, hasar gelişimi ile yapının yük taşıma kapasitesi, itme ve çekme yönünde 40 kN seviyesine kadar ulaşmıştır. Belirtilen aşamaya ilişkin yapının çeşitli bölgelerinden alınan fotoğraflar Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Maksimum yük etkisi altında hasar durumları

Figure 4. The damages under the maximum load effect

Kapı ve pencere boşluklarına bağlı rijitlik farkı nedeniyle uygulanan yük etkisi doğrultusundaki duvarda burulma hasarları gözlemlenmiştir. Burulma etkisinin incelenmesi amacıyla yapı çapraz köşelerine yerleştirilen deplasman ölçerlerden alınan deplasman değerleri Çizelge 3’de, hasara ilişkin örnek fotoğraflar Şekil 5’de verilmiştir.

Çizelge 3. Burulma hasarı deplasman değerleri

Table 3. Displacement values of twist damage

Döngü No	İtme Yönü (+)		Çekme Yönü(-)	
	Burulma (Sağ) (mm)	Burulma (Sol) (mm)	Burulma (Sağ) (mm)	Burulma (Sol) (mm)
23. Döngü	-5,87	-9,38	-8,55	-16,82



Şekil 5. Burulma hasarları

Figure 5. Twist damages

Devam eden döngülerde yük etkisi altında çatlak gelişimi artmış ve deney sonuna kadar çatlak gelişimi 35 mm mertebelerine ulaşmıştır. Yapı, her iki doğrultudaki yük etkisi altında meydana gelen çatlakların açılıp kapanması ile enerji tüketmeye devam etmiştir. Yirminci döngü itibariyle hasarlar kalıcı hale gelmeye başlamış, malzemede kopma ve dökülmeler meydana gelmiştir. Hasarlara ilişkin örnek fotoğraflar Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Deney sonu itibariyle maksimum hasar durumları

Figure 6. Maimum damages at the end of the experimental study

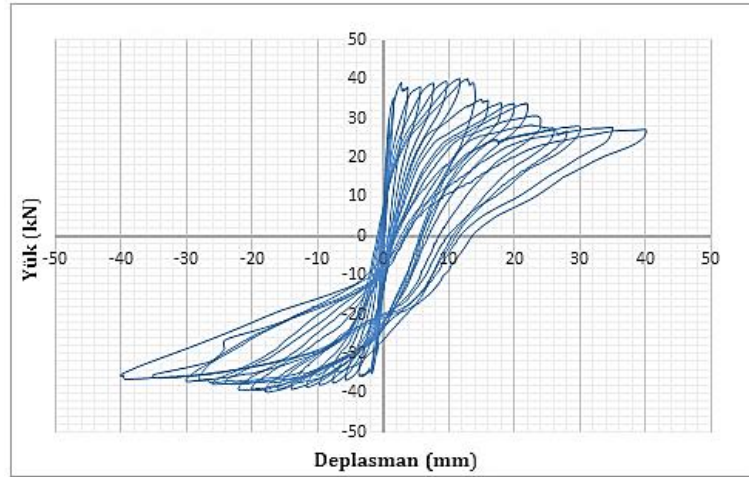
İlk yedi döngü sonrası uygulanan yük ve meydana gelen tepe deplasman ortalama değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Yedinci döngü sonrası yük-deplasman değerleri

Table 4. Load-Displacement values after first seven cycles

Döngü No.	Yük İtme Yönü (kN)(+)	Yük Çekme Yönü (kN)(-)	Ortalama Deplasman İtme Yönü (mm)(+)	Ortalama Deplasman Çekme Yönü (mm)(-)
8	37,542	34,367	3,751	3,741
9	37,796	36,675	5,710	5,713
10	38,686	37,313	7,710	7,719
11	39,208	37,665	9,706	9,726
12	40,013	38,507	11,718	11,722
13	34,790	39,023	14,014	14,004
14	34,522	39,118	16,002	16,009
15	33,930	39,579	18,002	18,002
16	33,789	39,199	20,000	20,009
17	33,677	39,172	22,002	22,025
18	30,026	37,625	24,010	24,005
19	27,545	37,760	26,018	26,002
20	26,826	36,661	28,010	28,008
21	27,925	37,000	30,003	30,036
22	27,700	36,159	35,006	35,009
23	27,164	35,833	40,001	40,001

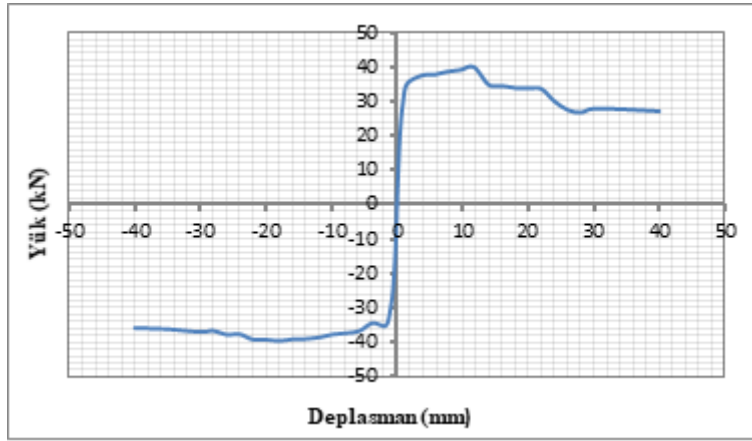
Döngüsel yük etkisi altında bilgisayar kayıt sistemi verileri ile elde edilen histeresiz eğrisi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Histeresiz grafiği

Figure 7. Hysteresis loop

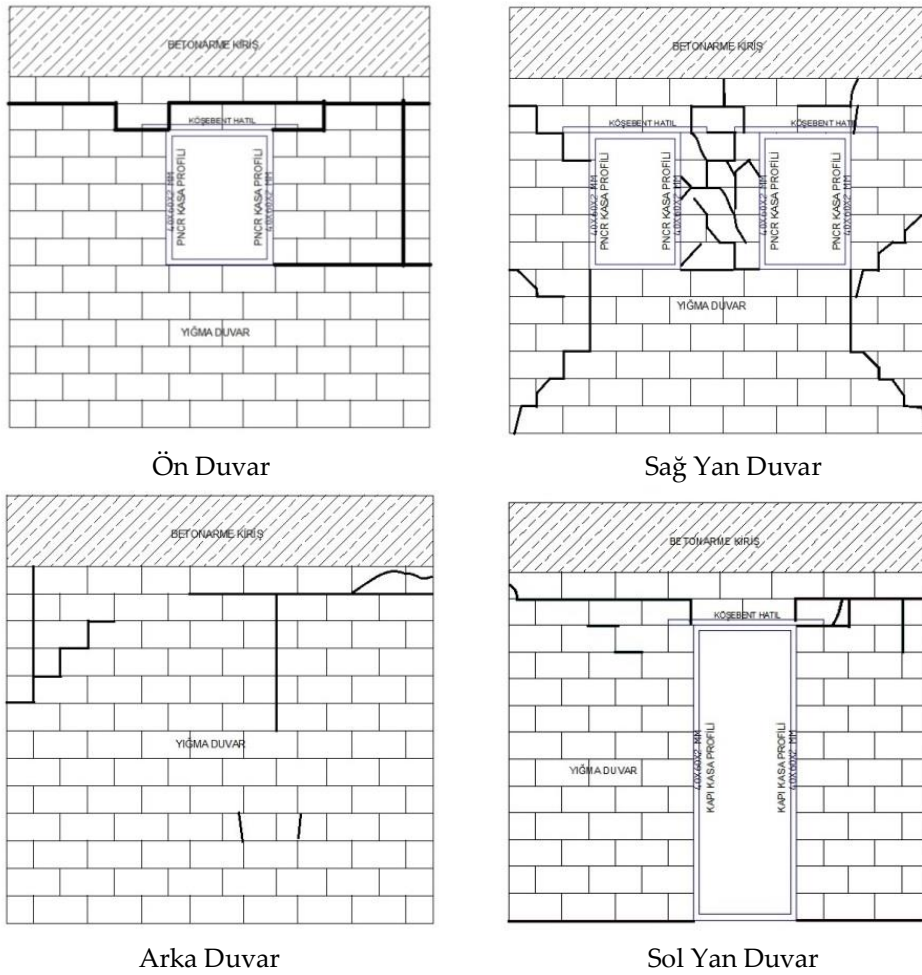
Şekil 7'de verilen histeresiz eğrilerinin tepe noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulan itme ve çekme yönündeki zarf eğrisi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Zarf eğrisi

Figure 8. Envelope curves

Döngüsel yük etkisi altında yığma yapı duvarlarında meydana gelen hasarları gösterir dağılım Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Yığma yapı hasar dağılımı

Figure 9. Damage distribution on the building sides

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Deneysel çalışma ile elde edilen histeresiz ve zarf eğrileri değerlendirildiğinde, yığma yapının maksimum yükün %75'ine kadar olan yük değerlerinde yaklaşık doğrusal davranış gösterdiği, bu aşamalarda kılcal çatlaklar dışında hasar meydana gelmediği görülmüştür. Bu aşamadan sonra histeresiz eğrisinde değişiklik meydana gelmiş ve deplasman değerleri doğrusal kabulünden uzaklaşmıştır. Yapıda karakteristik hasar oluşumu başlamış, oluşan çatlaklar ile yapı enerji sönmlemeye devam etmiştir. Her iki yönde yaklaşık 40 kN maksimum yük seviyesinden sonra yapının yük taşıma kapasitesi azalırken, yapı açılıp kapanan çatlaklar ile enerji sönmlemeye devam etmiştir. Devam eden döngülerde yapı malzemelerinde kopma ve dökülmeler başlamış, görelî kat ötelenmesinin 0,013 seviyesine ulaştığı anda, yığma yapının göçme öncesi seviyeye ulaştığı kabulü ile deneysel çalışmaya son verilmiştir.

Yapıda meydana gelen hasar tipleri değerlendirildiğinde, uygulanan yük doğrultusundaki duvarlarda çatlakların karakteristik çapraz çatlak şeklinde meydana geldiği görülmüştür. Bu hasarlar, basamaklı şekilde, blok malzeme harç birleşim yüzeylerinde meydana gelmiş ve deney sonu itibarıyla 35 mm mertebelerine ulaşmıştır. Yığma yapı sağ yan duvarında iki pencere arasında kalan duvar parçasının ise, kısa rijit eleman olarak çalıştığı ve tersinir yük etkisi altında malzeme bazında en büyük hasarın bu bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ön ve arka duvar hasarları yatay ve düşey yönlü olarak meydana gelmiştir. Duvar rijitlik farkları nedeniyle meydana gelen yer değiştirmelere bağlı olarak, yatay yönlü ve blok malzeme harç birleşim yüzeylerinde burulma hasarları meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, yığma yapılarda kapı, pencere vb. amaçla bırakılan boşlukların sebebiyet verdiği yetersiz taşıyıcı duvar uzunluğu ve yapının diğer duvarları ile rijitlik farkı, yapıda hasar oluşumuna sebebiyet veren önemli bir etken olduğu, bırakılması gereken boşluklar için yönetmelik kurallarına hassasiyetle uyulması gerektiği değerlendirilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2014-5219 kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altun F., Kayırğa O.M., "Experimental Investigation of Masonry Structure Behaviour Under The Influence of Cyclic Loading", *International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians (ICESA)*, Antalya, Turkey, 17-21 May 2014.
- Altun, F., Kayırğa, O.M., "Experimental Investigation of Window and Door Opening Effect on Masonry Building Behavior Under The Cyclic Load", *International Science and Technology Conference (ISTEC)*, St. Petersburg, Russia, 2-4 September 2015.
- Arun, G., "Yığma Kargir Yapı Davranışı", *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı (YDGA-2005)*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 17 Şubat 2005.
- Birinci, F., Hacıfendioğlu, K., "Nüfus-İdari Yapı-Plan-Kentleşme-Yapılaşma Perspektifinden Türkiye'nin Deprem-Afet Riski Analizi ve Çözüm Önerileri, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 14-16 Ekim 2015.
- Bothara, J. K., Dhakal, R. P., Mander, J. B., 2010, "Seismic Performance of An Unreinforced Masonry Building: An Experimental Investigation", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 39 (1), pp. 45-68
- DBYBHY, 2007, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 159 s.
- DİE, 2000, *Bina Sayımı*, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, 473 s.

- Doğangün, A., Ural, A., "Seismic Performance of Masonry Buildings During Recent Earthquakes in Turkey", *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 12-17 October 2008.
- Lourenço, P. B., Avilla, L., Vasconcelos, G., Alves, J. P., Mendes, N., Costa, A. C., 2013, "Experimental Investigation on The Seismic Performance of Masonry Buildings Using Shaking Table Test", *Bull Earthquake Eng.*, Vol. 11, pp. 1157-1190
- Shahzada, K., Khan, A. N., Elnashai, A. S., Ashraf, M., Javed, M., Naseer, A., Alam, B., 2012, "Experimental Seismic Performance Evaluation Brick Masonry Buildings", *Earthquake Spectra* (August 2012), Vol. 28 (3), pp. 1269-1290.
- Ural, A., "Taşıyıcı Duvarlarda Farklı Boşluk Yapılandırılmasına Sahip Sarılmış Yığma Yapıların Deprem Davranışının İncelenmesi", *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.

MADEN MAKİNELERİNİN FREKANS-GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ

¹Zekeriya DURAN, ²Bülent ERDEM, ³Tuğba DOĞAN

^{1,2,3}Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Sivas
¹zduran@cumhuriyet.edu.tr, ²bulent@cumhuriyet.edu.tr, ³tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 18.10.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.12.2017)

ÖZ: Normal bir insan kulağı 20 Hz – 20000 Hz frekans aralığındaki sesleri duymakla birlikte bu aralıktaki farklı frekanstaki sesleri eş şiddetle algılamamaktadır. Bu nedenle insan maruziyetinin belirlenmesinde gürültü düzeylerini belirlemenin yanında, gürültünün frekansı da dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada Sivas ve komşu illerde yer alan toplam altı çalışma alanında kullanılan 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmış ve frekans-gürültü ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre paletli dozer ve lastik tekerlekli yükleyici operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda düşük frekans aralığına, diğerleri orta frekans aralığına düşmektedir. Tüm iş makinesi operatörlerinin maruz kaldığı minimum gürültü düzeyleri yüksek frekans aralığındadır. Ölçüm yapılan iş makinelerinin maksimum gürültü düzeylerinin insan kulağının en hassas olduğu frekans aralığının dışında olduğu tespit edilmiştir. İş makinelerinin oluşturduğu gürültü geniş frekans aralığında yer almaktadır. Gürültü düzeyleri, zamanla değişim ölçütüne göre sınıflandırıldığında ölçüm alınan tüm iş makineleri kararsız gürültü sınıfına girmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü spektral analizi, $\frac{1}{3}$ oktav bant frekansları, L_{eq} , L_{EX-8h}

Frequency-Noise Relation of Mining Machines

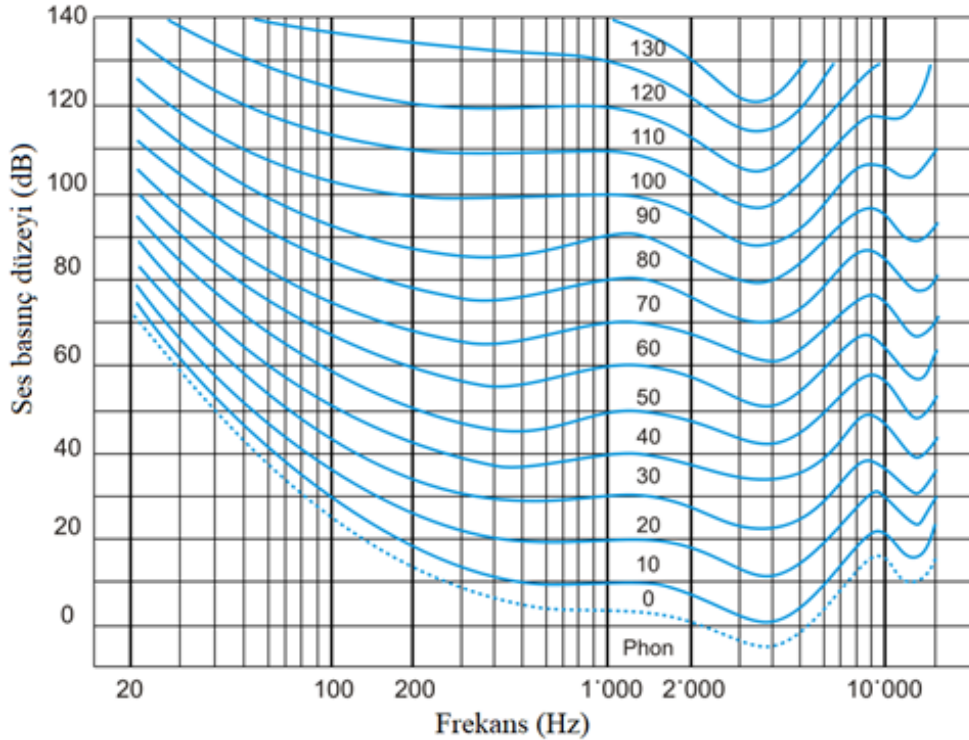
ABSTRACT: Though a normal human can hear sound in 20 Hz – 20000 Hz frequency range, he/she does not detect the same intensity at different frequencies in this interval. Therefore, when determining noise levels for human exposure, the noise frequency should also be taken into consideration. In this study noise measurements were taken and frequency-noise relations extracted from 67 units of mining machinery of different types and models used in six work sites in Sivas and neighbor provinces. According to study results the maximum noise level, to which crawled dozer and wheel loader operators are exposed, fall greatly in the low-frequency range while the others fall into the medium-frequency range. The minimum noise levels, to which all mining equipment operators are exposed, fall into the high-frequency range. It is determined that the maximum noise levels of the mining machines sampled are outside the frequency range to which human ear is most sensitive. The noise that all mining equipment generated is located in the wide frequency range. When the noise levels are classified according to the criteria of change over time, all mining machines are characterized as unsteady.

Key Words: Noise spectral analysis, $\frac{1}{3}$ octave band frequencies, L_{eq} , L_{EX-8h}

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sağlıklı bir insan kulağı 0 dB – 140 dB arasındaki sesleri duyabilmektedir. Normal ve sağlıklı genç bir insanın kulağı 20 Hz – 20000 Hz frekans aralığındaki sesleri duymakla birlikte bu aralıktaki farklı frekanstaki sesleri eş şiddetle algılamamaktadır (Brüel and Kjaer, 2001). 1000 Hz seviyesinde tanımlanan belirli bir ses seviyesinin karşılığı, günlük eğrisi boyunca başka bir frekansta bulunabilmektedir.

Örneğin, 1000 Hz'lik frekansta 40 desibel şiddetindeki ses, 100 Hz frekansta 50 desibel olarak duyulmaktadır (ISO, 2003) (Şekil 1).



Şekil 1. Eşit gürültük eğrileri (ISO, 2003)

Figure 1. Equal sound loudness curves

İnsan kulağı orta frekanslı seslere, düşük ve yüksek frekanslı seslerden daha duyarlı olduğu için bu frekans aralığındaki sesler insan kulağına daha çok zarar vermektedir. Diğer taraftan düşük frekanslı sesler, engellerden doğrudan geçebildiği ve görece kolaylıkla yönelebildiğinden bariyer ile engellenmeleri daha güçtür. Bu nedenle düşük frekanslı seslerin şiddetini azaltmak için yüksek frekanslı seslere göre daha kalın ses emici malzemeler gerekmektedir (Reeves ve diğ., 2009). Kişisel korumada etkin olan kulaklıkların, gürültü şiddetini; düşük frekanslarda 30 dBA, yüksek frekanslarda 50 dBA, dış kulak yoluna konulan poliüretan tıkaçların düşük frekanslarda 25 dBA, yüksek frekanslarda 40 dBA kadar azalttığı bilinmektedir. Ayrıca yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslere göre çalışanları daha fazla rahatsız ettiği için işlerini daha fazla aksatmasına neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

Gürültünün insan sağlığına vermiş olduğu zararların başında geçici ve kalıcı işitme kaybı gelmektedir. Yüksek gürültüye maruz kalan kişiler, gerekli önlemler alınmadığında geçici işitme kaybına uğrayabilmektedir. Gürültülü ortamda kalma süresi yıllara uzadığında (bir ya da iki yıl) ise geçici işitme kaybı, kalıcı işitme kaybına dönüşebilmektedir. İnsanda işitme kaybının ilk belirtileri 4000 Hz'de görülmeye başlanmakta, kişinin gürültülü ortamdan uzaklaşmasına rağmen işitmede düzelme meydana gelmediğinde durum, uzun süreli kalıcı işitme kaybı ile sonuçlanabilmektedir. Bu da kalıcı bir meslek hastalığına işaret edebilmektedir (Sharland, 1972).

Doğada rastladığımız seslerin frekans aralıkları değişkenlik göstermektedir. Bir sesin frekans analizini yapmak, o sesin baskın frekansının hangi aralıkta olduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır. Mühendislik kontrolleri açısından birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir. Örneğin, bir ses kaynağında düşük frekanslı gürültü baskın ise (en yüksek oktav bandı ses seviyeleri 500 Hz veya daha düşük frekansta ise), gürültü muhtemelen titreşimden kaynaklanır ve böyle durumda titreşimin azalması için önlem almak aynı zamanda gürültünün azalmasını da sağlayacaktır. Ses kaynağında yüksek frekanslı gürültü baskın ise (en yüksek oktav bandı ses seviyeleri

2.000 Hz veya daha yüksek frekanslarda ise) gürültüyü kontrol etmek için ses emici sistemler, gürültü duvarları veya bariyerler kullanmak en etkili çözümdür (Chen ve Brueck, 2011). Frekans analizi gürültü kontrolü, işitme koruyucularının seçimi ve çevresel ya da toplumsal gürültü değerlendirmesi için yaygın biçimde faydalanılan hayati bir araç olarak tanımlanmıştır (Driscoll, 2009).

Literatürde insan kulağının işitebildiği frekans aralıklarını düşük, orta ve yüksek frekans aralığı olarak tanımlamak için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. 250 Hz'den düşük frekanslı sesler düşük frekanslı ses, >250 Hz – 2000 Hz arası frekanslı sesler orta frekanslı ses ve 2000 Hz'den büyük frekanslı sesler, yüksek frekanslı ses olarak tanımlanmaktadır (BRD, 2017). Bunun dışında, Alves ve diğ. (2015) 200 Hz'den düşük frekanslı sesleri düşük frekanslı ses olarak adlandırılmaktadır. Diğer taraftan 20 Hz – 200 Hz arasındaki düşük frekanslar, kalın sesler olarak tanımlanmaktadır. Düşük frekanslar atmosfer tarafından çok daha az yutulmakta ve bu nedenle daha uzak mesafelerde daha etkili olmaktadır. İnsan kulağı, alçak frekanslı seslere daha az duyarlı olduğundan düşük frekanslı sesler yorgunluk hissi oluşturarak yoğunlaşma bozukluklarına yol açmaktadır (Bilgili ve diğ., 2011). Bu frekans aralığındaki seslerin denge yitimi, baskı, yüksek tansiyon, kalp ritim bozukluğu ve uyku bozukluğu gibi ciddi problemlere de yol açabileceği (Leventhall, 2003; Waye, 2004), yüksek frekanslı seslerin ise temel olarak yüksek tansiyon, yorgunluk ve işitme kaybı gibi etkilerinin olduğu ifade edilmektedir (Reinhold ve diğ., 2014). Bu çalışmada düşük frekans bölgesinin 20 Hz – 250 Hz, orta frekans bölgesinin 315 Hz – 2000 Hz ve yüksek frekans bölgesinin 2500 Hz – 20000 Hz aralığını kapsadığı kabul edilmiştir.

İnsanlar, 20 Hz'den düşük frekansa sahip dalgaları sadece titreşim olarak, 20 Hz ve 200 Hz arasında frekansa sahip olan dalgaları hem titreşim hem de ses olarak hissedebilmektedir. 200 Hz ile 20 kHz frekans aralığında olan dalgaları da ses olarak algılayabilmektedir (Testroete, 2017).

İnsan kulağının en hassas olduğu frekans aralığı 1000 Hz ile 5000 Hz arasındaki bölgedir (Brüel and Kjaer, 1978; May, 2000). Sabit hat ve mobil iletişimle telefonla konuşma frekans bant genişliği 300 Hz – 3400 Hz arasındadır (Hyrkäs, 2010; Hu ve diğ., 2013). İnsan, bu frekans bölgesinde oluşan sesin sahibini karşısında konuşanı görmeden rahatlıkla algılayabilmektedir. Diğer yandan konuşma sesi frekans aralığı ise 500 Hz – 4000 Hz arasında değişmektedir (OSHA, 2017). Dolayısıyla insanın konuşma frekans aralığı hemen hemen telefonla konuşma frekans aralığına denk gelmektedir. Odyogram işitme testi analizleri de 125 Hz - 8000 Hz aralığında yapılmaktadır (Perala, 2006).

İşitme kaybının geçici ya da kalıcı olması ve kaybın derecesi; etkisinde kalınan gürültünün düzeyine, frekans içeriğine ve etkilenim süresine bağlı olmakla birlikte kişisel duyarlılık da önem taşımaktadır. Kadınlar ve erkekler genel olarak 80 yaşından sonra eşit seviyelerde işitme kaybına uğramış olsalar bile aralarında belirgin farklılıklar vardır. Buna göre kadınların daha önce düşük frekanslarda, erkeklerin ise yüksek frekanslarda işitme kaybına maruz kaldıkları belirtilmektedir (Healthy Hearing, 2017).

Ertürk (2001) gürültü ölçümündeki amacın bir iş yerinde gürültü düzeylerinin istenilen sınırlar içerisinde olup olmadığının kontrol edilmesi olduğunu ancak gürültü kontrol çalışmalarının istenilen amaca gürültü ölçümlerinin frekans analizi ile birlikte yapıldığında ulaşacağını belirtmiştir. Badur (1997), Gaziantep il merkezinde 37 değişik noktada gürültü ölçümü yapmış, bunlar arasında 10 noktanın gürültü açısından tehlikeli olduğunu tespit etmiştir. Bu noktalardan birinde 35 kişi üzerinde odyolojik inceleme yapılarak en çok etkilenen frekansın 4000 Hz olduğunu saptanmıştır. Güney Kıbrıs'ta 3 yıllık bir çalışmada farklı endüstri alanlarında yapılan odyometrik testler sonucunda, ölçüm yapılan işçilerin % 27,8'inde kısmen işitme zararları görülürken % 7,7'sinde ciddi işitme kaybı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 35 yaş altındaki genç işçilerde yüksek frekanslarda işitme eşiği kaybının daha çok olduğu tespit edilmiştir (Eleftheriou, 2002). Starck ve diğ. (2002) tarafından farklı frekanslardaki yüksek gürültü seviyelerinde kulak tıkaçlarının gürültü yalıtımı incelenmiş, 104 dBA – 110 dBA arasındaki gürültü seviyelerinin 80 dBA – 89 dBA aralığına düşürüldüğü gözlenmiştir. Kosala ve Bartłomiej (2016), bir andezit ocağındaki kırma-eleme tesisinde çeşitli makinelerde gürültü ölçümleri yapmışlar, makinelerin gürültü düzeylerinin 100 dBA – 130 dBA arasında değiştiğini belirlemişler ve 1/3 oktav frekans bantlarındaki ses basınç seviyelerini vermişlerdir.

SAHA ÇALIŞMASI (FIELD STUDY)

Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada gürültü maruziyeti ölçümleri, TS EN ISO 9612-2009 “Akustik-Mesleki Gürültü Maruziyetinin Belirlenmesi-Mühendislik Metodu” ile TS 2607 ISO 1999 “Akustik-İş Yerinde Maruz Kalınan Gürültünün Tayini Ve Bu Gürültünün Sebep Olduğu İşitme Kaybının Tahmini” standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki standartta da gürültüye maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi için sekiz saatlik bir referans döneme (L_{EX-8h}) indirgenen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ses basıncı değerlerinin karelerinin toplamının (RMS) karekökü tanımlanmış ve gürültü maruziyeti değerlendirmesine yönelik frekans-gürültü ilişkisi de çalışılmıştır.

Ölçümler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde yer alan tüm gürültü ölçümleri için uygun olan yüksek hassasiyete sahip Tip-1 gürültü seviyesi ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 15 dBA RMS ile 140 dBA Peak arasında değişen gürültü ölçüm cihazı IEC 61672-1: 2002 Standardında öngörülen gereklilikleri karşılamakta olup frekans analizi için dâhili 1/3 oktav bant filtresi bulunmaktadır. Gürültü ölçümleri üç ayrı profil tanımlanarak A, C ve Z (doğrusal) frekans ağırlıklandırması üzerinden Sivas ve komşu illerde yer alan bir yol inşaat çalışması, bir kum ocağı, bir kireçtaşı işletmesi, bir demir işletmesi, bir altın işletmesi ve bir kömür işletmesi olmak üzere toplam altı işyerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ölçüm alınan iş makinelerinin işletmelere dağılımı Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. İş makinelerinin işletmelere dağılımı

Table 1. Distribution of mining equipment among mines

İş makinesi	Temsili resim	Adet
Hafriyat kamyonu		Kum ocağı 1 Kireçtaşı işletmesi 4
Açık maden işletmelerinde cevher ve pasa taşıma işlemlerinde kullanılmaktadır		Demir işletmesi 8 Altın işletmesi 7 Toplam 20
Hidrolik terskepeç ekskavatör		Kireçtaşı işletmesi 1 Demir işletmesi 2 Altın işletmesi 8 Toplam 11
Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı ve yükleme işlemlerinde kullanılmaktadır		
Paletli dozer		Yol inşaat çalışması 1 Altın işletmesi 3 Kömür işletmesi 2 Toplam 6
Açık maden işletmelerinde zemin tesviye/kazı ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır		
Lastik tekerlekli yükleyici		Kum ocağı 1 Altın işletmesi 3 Toplam 4
Açık maden işletmelerinde yükleme/kazı ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır		
Greyder		Yol inşaat çalışması 1 Altın işletmesi 3 Toplam 4
Açık maden işletmelerinde zemin tesviye işlemlerinde kullanılmaktadır		

<p>Lastik tekerlekli titreşimli silindir</p> <p>Açık maden işletmelerinde zemin sıkıştırma işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Yol inşaat çalışması 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Delici</p> <p>Açık maden işletmelerinde patlatma deliği delme işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Demir işletmesi 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Hidrolik kırıcı</p> <p>Açık maden işletmelerinde boyut küçültme işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Kireçtaşı işletmesi 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Döner kepçeli ekskavatör (DKE)</p> <p>Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı/yükleme ve transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>DKE boşaltma birimi (tripper car)</p> <p>Açık maden işletmelerinde DKE'den alınan cevher/pasanın basamak bandına transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Dökücü (spreader)</p> <p>Açık maden işletmelerinde pasanın döküm sahasına yayılarak, yığılması işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>DKE kömür yükleyici (coal loader)</p> <p>Termik santral stok sahasındaki kömürün, termik santrale beslenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 2</p> <p>Toplam 2</p>
<p>Kömür serici (coal spreader)</p> <p>Termik santral stok sahasına iletilen kömürün, düzenli biçimde konik yığınlara aktarımı işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 2</p> <p>Toplam 2</p>
<p>Hidrolik terskepçe yükleyici</p> <p>Açık maden işletmelerinde yükleme, hendek açma ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kum ocağı 1</p> <p>Toplam 1</p>

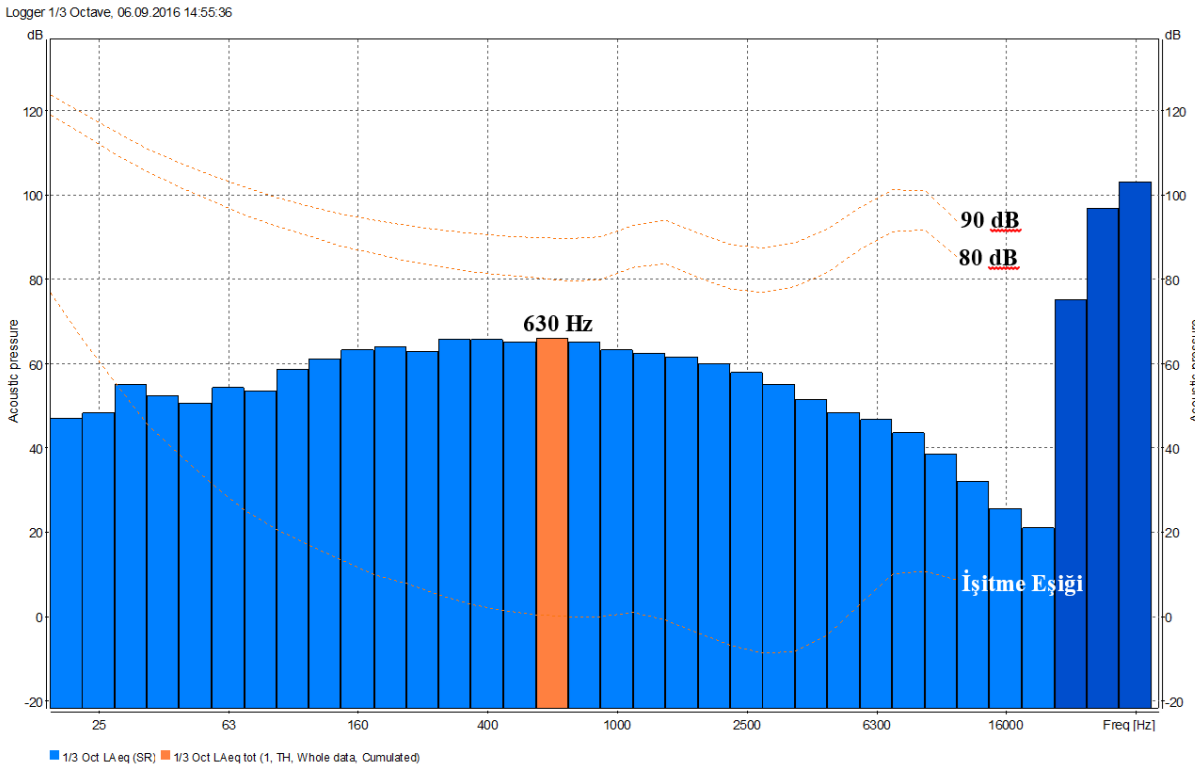
Hafriyat Kamyonları (Dumpers)

Ölçümü yapılan tüm iş makineleri bir paket program aracılığıyla analiz edilmiş (Svantek, 2017) ve çalışma sonuçları Çizelge 2 ve Çizelge 3'te ayrıntılı biçimde verilmiştir. Çalışma kapsamında 20 adet hafriyat kamyonundan gürültü ölçümü alınmış, 1/3 oktav bant aralığında frekans-gürültü analizi

yapılarak her frekans bandında operatörün maruz kaldığı gürültü düzeyi çıkarılmıştır. Grafikler üzerine eş gürültü (phon) eğrileri de işlenerek, operatör duyulanması çıkarılmıştır. 10 numaralı hafriyat kamyonu (No_10) örnek olarak verilmiştir. Burada, frekans-gürültü analizi yapılan bu aracın en büyük gürültü düzeyi 630 Hz'de gerçekleşmiş olup frekans-eşdeğer gürültü ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Operatör, çok düşük frekanslar olan 20 Hz ve 25 Hz'deki gürültü düzeyleri işitme eşliğinin altında olduğu için bu frekanslardaki sesleri duyamamaktadır. Operatör, en düşük maruziyet eylem değeri olan 80 dBA'dan daha düşük gürültüye maruz kalmıştır. Ayrıca orta frekans aralığındaki gürültü düzeylerinde fazla değişkenlik bulunmamaktadır. Aynı hafriyat kamyonu için 630 Hz'deki gürültü-zaman kütüğü Şekil 3 üzerinden incelenebilir. Buna göre operatör, ölçüm süresinin %10'unda 77,5 dBA ve %90'ında ise 65,5 dBA üzerinde gürültüye maruz kalmıştır. Operatör en yüksek gürültüye kasa boşaltma evresinde (74 dBA), en düşük gürültüye ise yüklenme evresinde (61 dBA) maruz kalmıştır. Dolayısıyla kamyonun bir döngüsündeki evreler arasındaki gürültü şiddetinde farklılık bulunmaktadır.

Hafriyat kamyonlarının işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde büyük değişkenlik bulunmamaktadır. Ancak, kireçtaşı işletmesinde çalışan hafriyat kamyonlarının operatörleri yol zeminlerinin görece düzgün olmasından dolayı diğer işletmelerde çalışan operatörlere göre daha düşük gürültü seviyesine maruz kalmışlardır (Çizelge 2). Buna göre;

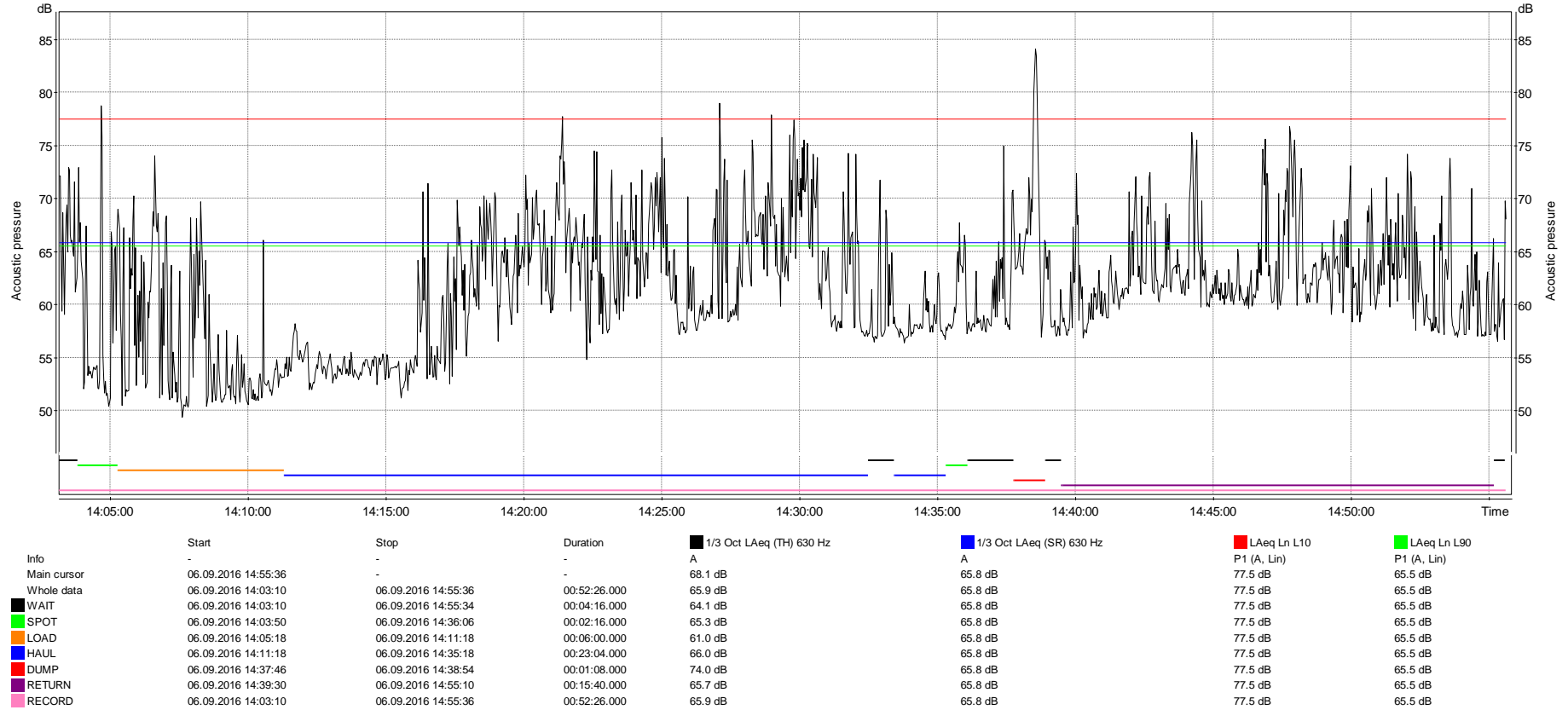
- Düşük frekans aralığındaki gürültü 41,8 dBA – 65,8 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 55,6 dBA – 67,2 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 18,8 dBA – 58,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi demir işletmesinde 400 Hz, diğer işletmelerde ise 630 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-sh}) 70,7 dBA ile 81,5 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 75,6 dBA olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 2. Hafriyat kamyonu No_10 için frekans-ses basıncı düzeyi ilişkisi

Figure 2. Frequency-sound pressure relation for dumper No_10

Logger results, logger step = 2 s



Şekil 3. 630 Hz’de hafriyat kamyonu No_10 için maksimum gürültü-zaman kütüğü

Figure 3. Maximum noise-time log for dumper No_10 for 630 Hz

Paletli Dozerler (Crawled Dozers)

Çalışma kapsamında 6 adet paletli dozerden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Paletli dozerlerin işletmelerdeki farklı çalışma koşulları altındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Organik toprağın kürenerek, tesviye edildiği yol inşaat çalışmasında operatörün maruz kaldığı gürültü düzeyi, diğerlerine göre düşüktür. Zemin koşulları ve çalışılan malzemenin gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Tablo 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 33,2 dBA – 83,5 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 63,3 dBA – 83,4 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 24,7 dBA – 71,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi çoğunlukla düşük, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kömür işletmesinde 500 Hz, yol inşaatı ve altın işletmesinde 160 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-8h}) 80,1 dBA ile 92,1 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyininin 86,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Lastik Tekerlekli Yükleyiciler (Wheeled Loaders)

Çalışma kapsamında 4 adet lastik tekerlekli yükleyiciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Lastik tekerlekli yükleyicilerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık bulunmaktadır. Buna göre çalışılan malzemenin türü gürültü düzeyini etkilemektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 37,8 dBA – 72,6 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 55,5 dBA – 66,0 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 24,5 dBA – 57,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi düşük frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kum ocağında 250 Hz, altın işletmesinde 100 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-8h}) 72,5 dBA ile 80,3 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyininin 75,9 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Greyderler (Graders)

Çalışma kapsamında 4 greyderden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Greyderlerin işletmelerdeki farklı çalışma koşulları altındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Açık altın işletmesinde sert zeminli harman sahasında çalışan greyderlerin gürültü düzeyi yüksek çıkarken yol inşaat çalışmasında düşük seviyededir. Zemin koşullarının gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 35,9 dBA – 72,9 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 59,4 dBA – 73,4 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 30,9 dBA – 64,3 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi yol inşaatında 800 Hz, altın işletmesinde 315 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.

- d) Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-8h}) 73,4 dBA ile 87,2 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 80,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Lastik Tekerlekli Titreşimli Silindirler (Wheeled Rollers)

Çalışma kapsamında 3 adet titreşimli silindirden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Lastik tekerlekli titreşimli silindirlerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılıklar bulunmaktadır. Zemin koşullarının gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 45,3 dBA – 72,0 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 56,7 dBA – 81,5 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 19,2 dBA – 59,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi yol inşaatında 800 Hz, altın işletmesinde 400 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-8h}) 75,8 dBA ile 83,6 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 78,8 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Deliciler (Drills)

Çalışma kapsamında 3 adet deliciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Delicilerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Açık demir işletmesinde çalışan operatörler daha yüksek düzeyli gürültüye maruz kalmıştır (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 77,9 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 61,5 dBA – 79,9 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 62,0 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi demir işletmesinde 500 Hz altın işletmesinde 315 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-8h}) 74,0 dBA ile 86,3 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 80,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Hidrolik Kırıcılar (Hydraulic Breakers)

Çalışma kapsamında 3 adet hidrolik kırıcıdan gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Hidrolik kırıcıların işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkileri farklılık göstermemektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 47,0 dBA – 73,8 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 66,4 dBA – 73,8 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 67,3 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi düşük ve orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kireçtaşı işletmesinde 1000 Hz altın işletmesinde 315 Hz iken, minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.

- d) Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-SH}) 81,3 dBA ile 83,7 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 82,7 dBA olduğu hesaplanmıştır.

Döner Kepçeli Ekskavatörler ve Bant Aktarma Araçları (Bucket Wheel Excavators and Tripper Cars)

Çalışma kapsamında DKE ve bant aktarma araçlarından üçer adet gürültü ölçümü kaydedilmiştir. DKE'ler ve bant aktarma araçları yalnızca açık kömür işletmesinde kullanıldıklarından karşılaştırma olanağı bulunmamaktadır. DKE'lerin ve bant aktarma araçlarının frekans-gürültü ilişkisi Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 38,2 dBA – 61,9 dBA, bant aktarma araçları için 40,0 dBA – 59,5 dBA arasında değişmektedir.
- Orta frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 62,2 dBA – 70,1 dBA, bant aktarma araçları için 61,2 dBA – 71,8 dBA arasında değişmektedir.
- Yüksek frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 24,1 dBA – 62,4 dBA, bant aktarma araçları için 24,4 dBA – 60,8 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi DKE ve bant aktarma araçları için orta frekans (500 Hz), minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- DKE operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-SH}) 73,1 dBA ile 79,9 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 77,1 dBA olduğu hesaplanmıştır.
- Bant aktarma operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-SH}) 75,4 dBA ile 80,4 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 78,0 dBA olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla bant aktarma araç operatörleri DKE operatörlerine göre daha yüksek gürültüye maruz kalmaktadırlar.

Dökücüler ile Kömür Yükleyici/Dökücüler (Spreaders and Coal Loaders/Coal Spreaders)

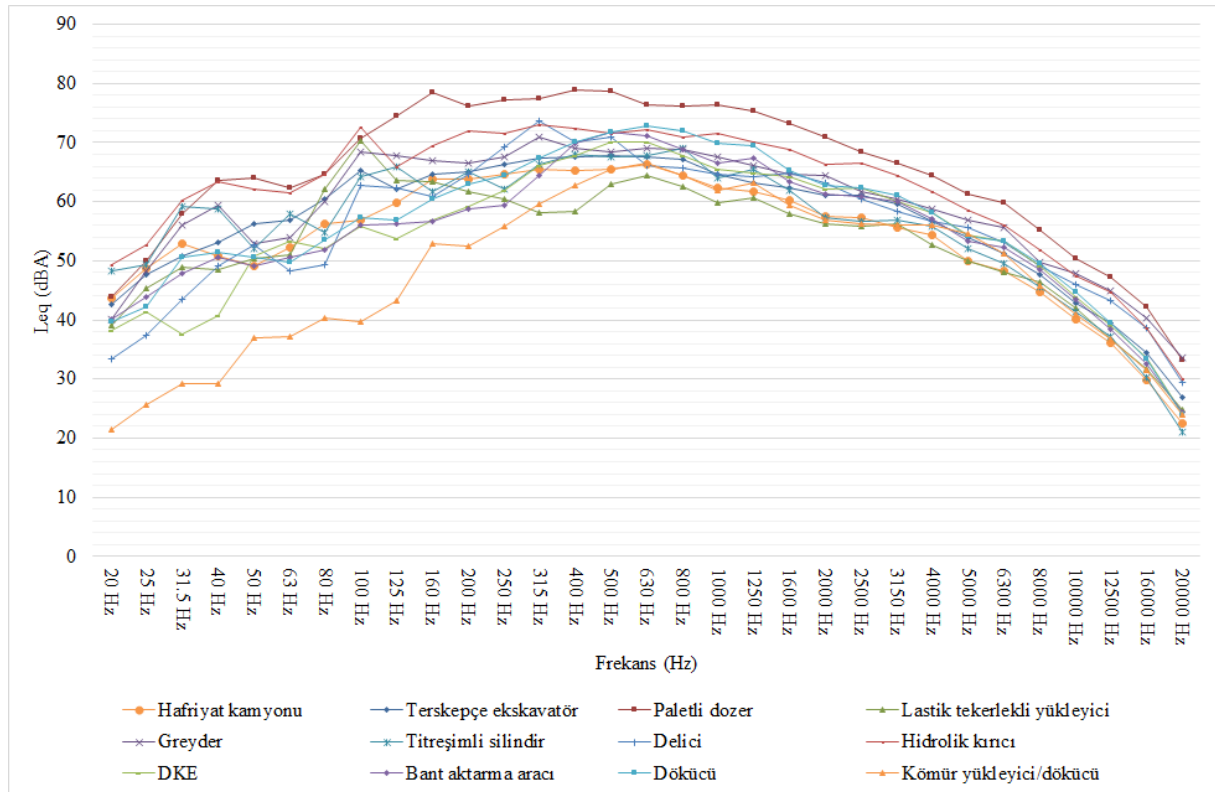
Çalışma kapsamında 3 adet dökücüden, 2 adet DKE tipi kömür yükleyici ile 1 adet kömür dökücüden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Dökücüler açık kömür işletmesinde harman sahasında, yükleyici/dökücüler kömür stok sahasında kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan iş makinelerinin frekans-gürültü ilişkisi Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre;

- Düşük frekanslı gürültü dökücüler için 39,6 dBA – 64,4 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 25,7 dBA – 55,7 dBA arasında değişmektedir.
- Orta frekans aralığındaki gürültü dökücüler için 62,8 dBA – 72,8 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 57,0 dBA – 66,5 dBA arasında değişmektedir.
- Yüksek frekans aralığındaki gürültü dökücüler için 24,0 dBA – 62,4 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 24,0 dBA – 56,2 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi dökücüler ve kömür yükleyici/dökücüler için orta frekans (630 Hz), minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- Dökücü operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-SH}) 78,0 dBA ile 81,0 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 79,7 dBA olduğu hesaplanmıştır.
- Kömür Yükleyici/Dökücü operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin (L_{EX-SH}) 67,3 dBA ile 74,5 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 73,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

TARTIŞMA (DISCUSSION)

Çalışma kapsamında gürültü ölçümleri yapılan iş makinelerinin $\frac{1}{3}$ oktav frekans-gürültü ilişkileri çıkarılmıştır. Tüm iş makinesi gruplarının frekans-gürültü ilişkisi Şekil 4'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Hafriyat kamyonu, hidrolik terskepçe ekskavatör, lastik tekerlekli titreşimli silindir, delici, greyder, hidrolik kırıcı, DKE, bant aktarma aracı, dökücü ile kömür yükleyici/dökücü operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda orta frekanslı ses aralığına denk gelmektedir.
- Paletli dozer ve lastik tekerlekli yükleyici operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda düşük frekanslı ses aralığına denk gelmektedir. Bu iş makinesi operatörlerinin yorgunluk hissi ve yoğunlaşma bozukluklarına yakalanma olasılığının diğer iş makinelerine göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin düşük frekans aralığındaki gürültü düzeyleri artma eğiliminde iken orta ve yüksek frekans aralığındaki gürültü düzeyleri azalma eğilimindedir.
- Tüm iş makineleri geniş frekans aralığında gürültü oluşturmaktadır.
- Tüm iş makinelerinin operatör kabini içinde kaydedilen eşdeğer ses basıncı değerlerine göre paletli dozer en yüksek, kömür yükleyici/dökücüleri ise en düşük gürültü maruziyetine neden olmuştur.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinde minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- Ölçüm yapılan iş makinesi gruplarında çalışan operatörlerin maruz kaldığı etkin gürültü düzeyi aralıkları odyogram işitme testi analizlerinin yapıldığı frekans aralıklarına karşılık gelmektedir.
- Kulağın en hassas olduğu 1000 Hz – 4000 Hz frekans aralığındaki gürültü düzeyi azalma eğiliminde olup, ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin maksimum gürültü düzeyleri bu frekans aralığının dışındadır.



Şekil 4. Tüm maden makinesi gruplarının frekans-gürültü ilişkisi

Figure 4. Frequency-noise relation of all mining machinery groups

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında Sivas ve komşu illerde yer alan altı maden işletmesinde kullanılan farklı tip ve modelde 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmıştır. Ölçümler, bir analiz paket programı kullanılarak iş makinelerinin çalışma evrelerine bölümlendirilerek değerlendirilmiştir. İş makinelerinin frekans-gürültü ilişkileri analiz edilerek maksimum gürültü düzeyinin oluştuğu frekans bandı belirlenmiştir (Çizelge 3). Verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin maksimum gürültü düzeyleri düşük ve orta frekans aralıklarında, minimum gürültü düzeyleri yüksek frekans aralıklarına denk gelmektedir. Dolayısıyla iş makinesi operatörleri yüksek frekans aralığından çok, düşük ve orta frekans aralıklarında daha yüksek gürültü düzeylerine maruz kalmaktadırlar.
- Ses düzeyinin zamanla değişimine göre sınıflandırma yapıldığında ölçüm yapılan tüm iş makineleri kararsız gürültü üretmektedir.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin çalışma koşulları ağırlaştıkça maksimum gürültü düzeyleri düşük frekans aralığına doğru kaymaktadır. Bu da iş makinesi operatörlerinin hem gürültü ve hem de titreşime daha çok maruz kaldıkları anlamına gelmektedir.
- İş makinelerinin çalışma koşulları iyileştikçe maksimum gürültü düzeyleri orta frekans aralığına doğru kaymaktadır. Bu da iş makinesi operatörlerinin daha az gürültüye ve titreşime maruz kalmalarını sağlayacaktır.
- İş makinelerinde çalışan operatörler için kulaklık seçiminde gürültünün frekansı da dikkate alınmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-574 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alves, J.A., Silva, L.T., Remoaldo, P.C., 2015, "The Influence of Low-frequency Noise Pollution on the Quality of Life and Place in Sustainable Cities: A Case Study from Northern Portugal", *Sustainability*, Vol. 7(10), pp. 13920-13946.
- Badur, T., 1997, *Gaziantep Kent Merkezinin Gürültü Haritası ve Gürültünün İşitsel Etkileri Üzerine Bir Çalışma*, Uzmanlık Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Bilgili, S., Gürtepe, E., Türkel, E., Altınoluk, H.M., Hüsmen, N., Bütün, A., Ertorun, H., 2011, *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- BRD, *Technical Discussion*, BRD Noise and Vibration Control, Inc., <https://hushcore.net/wp-content/uploads/2016/09/General-Info.pdf>, ziyaret tarihi: 21 Temmuz 2017.
- Brüel and Kjaer, 1978, *Architectural Acoustics*, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Denmark.
- Brüel and Kjaer, 2001, *Environmental Noise*, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Denmark.
- Chen, L., Brueck, S.E., 2011, *Noise and Lead Exposures at an Outdoor Firing Range – California*, Health Hazard Evaluation Report, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, HETA 2011-0069-3140, Cincinnati, Ohio, A.B.D.
- Driscoll, D. E., 2009, *Noise – Measurement and its Effects*, BP International Ltd, London, England, 2009.
- Eleftheriou, P.C., 2002, "Industrial Noise and its Effects on Human Hearing", *Applied Acoustics*, Vol. 63(1), pp. 35-42.
- Ertürk, B., "Hidrolik Gürültü ve Azaltma Yöntemleri", II. Ulusal Hidrolik Ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, İzmir, Türkiye, 213-236, 8-11 Kasım 2001.

- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1994, *Gürültü*, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No. 19, TC Sağlık Bakanlığı Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, TC Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, ISBN 975-7572-44-6, Ankara.
- Healthy Hearing, *Studies Show Men are Affected by Hearing Loss more than Women*, <http://www.healthyhearing.com/report/50553>, ziyaret tarihi: 31 Temmuz 2017.
- Hu, Y., Tahmina, Q., Runge, C., Friedland, D. R., 2013, "The Perception of Telephone-Processed Speech by Combined Electric and Acoustic Stimulation", *Trends in Amplification*, Vol. 17(3), pp. 189-196.
- Hyrkäs, S., 2010, *Comparison of Wideband Earpiece Integrations in Mobile Phone*, Master of Science Thesis, Aalto University, School of Science and Technology, Espo, Finland.
- ISO, 2003, *Acoustics – Normal Equal Loudness Level Contours*, International Organization for Standardization, 2nd edition ISO 226:2003(E), Geneva, Switzerland.
- Kosała, K., Bartłomiej, S., 2016, "Analysis of Noise Pollution in an Andesite Quarry with the Use of Simulation Studies and Evaluation Indices", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 22(1), pp. 92-101.
- Leventhall, G., 2003, *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*, Contract Report, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra Publications, London.
- May, J.J., 2000, "Occupational Hearing Loss", *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 37, pp. 112-120.
- OSHA, 2017, *OSHA Technical Manual TED 01-00-015: Noise*, Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C., A.B.D.
- Perala, C.H., 2006, *Active Noise Reduction Headphone Measurement: Comparison of Physical and Psychophysical Protocols and Effects of Microphone Placement*, Doctorate Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Industrial and Systems Engineering, A.B.D.
- Reeves, E.R., Randolph, R.F., Yantek, D.S., Peterson, J.S., 2009, *Noise Control in Underground Metal Mining*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Information Circular IC 9518, Pittsburgh, A.B.D.
- Reinhold, K., Kalle, S., Paju, J., 2014, "Exposure to High or Low Frequency Noise at Workplaces: Differences between Assessment, Health Complaints and Implementation of Adequate Personal Protective Equipment", *Agronomy Research*, Vol. 12(3), pp. 895-906.
- Sharland, I., 1972, *Fläkt Woods Practical Guide to Noise Control*, Fläkt Woods Ltd., Colchester, England.
- Starck, J., Toppila, E., Laitinen, H., Suvorov, G., Haritonov, V., Grishina, T., 2002, "The Attenuation of Hearing Protectors Against High-Level Industrial Impulse Noise: Comparison of Predicted and in situ Results", *Applied Acoustics*, Vol. 63, pp. 1-8.
- Svantek, 2017, *SvanPC++ Software User's Manual*, SVANTEK SP. Z O.O., Warsaw, Poland.
- Testroete, E., *Technical Training: Section 1 - Fundamentals of Noise, Vibration and Harshness*, Course 472, <http://www.testroete.com/car/Toyota/mr2%20spyder/References/Technical%20Training/04%20-%20Noise,%20Vibration%20and%20Harness/02.pdf>, ziyaret tarihi: 04 Ağustos 2017.
- Waye, K.P., 2004, "Effects of Low Frequency Noise on Sleep", *Noise & Health*, Vol. 6(23), pp. 87-91.

Çizelge 2. Maden makinelerinin frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi

Table 2. Frequency-equivalent noise level of mining machinery

		Hafriyat kamyonu				Hidrolik terskeççe ekskavatör				Paletli dozer			Lastik tekerlekli yükleyici	
İşletmeler →		①	②	③	④	①	②	③	④	④	⑤	⑥	①	④
Frekans (Hz) ↓		Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)
Düşük frekans aralığı	20	43,9	41,8	45,7	44,7	40,4	40,4	46,9	42,9	46,0	46,0	33,2	42,6	37,8
	25	50,1	50,6	46,5	47,5	46,2	45,9	49,2	48,0	52,8	51,4	38,1	47,6	44,5
	31,5	52,4	52,7	52,7	53,4	48,8	51,1	54,7	50,6	61,1	58,1	48,0	49,4	48,6
	40	54,4	49,9	51,1	51,4	51,6	55,0	48,4	53,3	62,9	65,4	61,7	51,4	47,4
	50	54,5	48,3	49,8	48,9	53,1	58,4	49,1	57,1	68,1	61,5	56,5	48,5	51,0
	63	55,5	50,9	53,5	53,0	55,5	60,0	54,7	56,4	68,7	57,8	52,1	45,7	52,7
	80	56,7	55,5	51,7	59,5	51,9	64,3	60,3	60,5	68,9	62,3	56,2	59,9	62,9
	100	56,2	54,7	56,3	59,6	58,6	64,3	65,4	66,5	76,4	65,2	64,9	63,2	72,6
	125	57,3	59,3	59,0	61,1	59,4	63,2	61,9	62,2	77,1	71,2	73,5	63,9	63,4
	160	60,9	63,3	61,6	66,0	56,3	68,4	64,8	64,8	83,5	72,1	75,5	66,9	62,3
Orta frekans aralığı	200	61,7	65,3	61,6	63,8	59,5	69,5	63,3	64,9	80,5	74,1	67,3	64,3	60,8
	250	61,8	65,8	61,2	65,7	63,3	68,4	63,0	66,6	81,4	75,4	68,8	69,4	57,6
	315	61,0	67,2	63,2	65,2	72,8	68,8	64,2	66,8	82,5	75,6	65,8	66,0	55,5
	400	59,5	67,6	63,6	64,2	73,4	68,6	64,4	66,9	83,4	77,3	69,0	64,7	56,4
	500	63,5	66,4	62,9	66,3	69,8	71,1	65,5	67,2	82,0	78,7	68,1	65,9	62,0
	630	64,7	65,9	63,9	68,4	69,9	67,6	65,2	67,6	79,4	77,0	65,8	65,3	64,1
	800	59,1	63,8	62,8	66,7	70,0	65,1	62,4	67,9	78,3	78,4	64,9	61,4	62,9
	1000	58,9	62,4	61,1	63,4	67,8	65,0	58,7	64,9	80,1	77,3	63,6	61,2	59,5
	1250	62,1	61,5	60,4	62,7	69,1	63,7	57,5	63,0	79,3	75,4	63,8	60,8	60,5
Yüksek frekans aralığı	1600	60,4	59,8	58,7	61,3	65,8	64,0	57,4	62,3	76,4	72,0	66,2	59,4	57,6
	2000	58,9	58,2	55,6	57,4	64,3	62,8	56,5	60,7	74,3	69,7	63,3	56,0	56,2
	2500	58,1	58,1	56,1	56,9	63,1	62,0	55,9	61,1	71,1	67,7	62,1	54,1	56,5
	3150	57,3	57,0	52,6	55,8	60,8	60,9	54,2	59,9	68,2	66,6	62,0	53,9	57,1
	4000	53,1	55,2	48,8	56,5	59,8	58,5	51,0	56,4	66,9	63,8	58,8	52,6	52,8
	5000	49,8	51,4	46,3	50,5	58,0	55,7	47,8	53,7	63,5	61,2	55,3	49,9	50,0
	6300	47,9	49,2	44,1	49,5	54,8	53,0	45,6	51,2	62,0	60,4	51,9	48,8	48,0
	8000	43,3	46,6	40,5	45,5	51,9	49,7	41,8	47,4	58,5	53,7	48,5	48,4	45,7
	10000	39,0	43,2	35,9	39,3	47,7	45,5	36,9	42,3	52,5	50,7	43,3	42,5	41,8
	12500	35,9	38,5	30,4	36,6	46,5	42,1	33,6	38,7	49,2	48,4	38,6	37,3	36,5
16000	27,9	31,0	24,3	32,0	39,3	35,6	29,0	34,2	44,6	43,4	32,9	32,9	31,4	
20000	20,6	24,4	18,8	22,8	31,5	28,4	21,3	26,8	35,5	34,3	24,7	25,6	24,5	

① Kum ocağı

② Açık demir işletmesi

③ Açık kireçtaşı işletmesi

④ Açık altın işletmesi

⑤ Açık kömür işletmesi

⑥ Yol inşaatı

Çizelge 2. Maden makinelerinin frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi (devam ediyor)

Table 2. Frequency-equivalent noise level of mining machinery

		Greyder	Titreşimli silindir		Delici		Hidrolik kırıncı		DKE	Aktarıncı	Dökücü	Yükleyici/dökücü	
İşletmeler →		④	⑥	④	⑥	②	④	③	④	⑤	⑤	⑤	
Frekans (Hz) ↓		Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	
Düşük frekans aralığı	20	41,5	35,9	46,6	51,8	27,9	36,2	54,2	47,0	38,2	40,0	39,6	26,6
	25	50,9	40,2	50,9	46,6	35,3	38,6	57,3	50,4	41,5	43,9	42,2	25,7
	31,5	58,1	49,9	66,2	45,3	41,0	44,7	59,0	60,9	37,6	47,9	50,7	29,3
	40	61,3	53,9	52,1	72,0	47,2	50,2	61,4	64,4	40,8	50,6	51,4	29,3
	50	54,4	48,5	46,3	63,3	55,7	51,1	59,8	63,4	50,9	49,0	50,6	36,9
	63	56,4	47,0	55,6	62,9	51,7	46,7	56,8	63,8	53,3	50,5	49,8	37,2
	80	64,5	46,4	54,0	56,1	53,0	47,6	64,8	64,6	52,1	51,9	53,6	40,2
	100	72,9	55,0	63,3	66,1	75,3	56,6	70,3	73,8	55,8	56,0	57,4	39,8
	125	71,2	57,5	66,3	65,3	75,4	55,8	63,8	67,0	53,7	56,2	56,9	43,2
	160	71,4	54,1	62,0	61,1	66,3	58,2	69,6	69,5	56,8	56,6	60,4	52,9
	200	69,2	58,7	64,8	65,9	74,3	59,8	69,6	73,3	59,2	58,8	62,9	52,5
250	70,7	57,9	64,0	58,6	77,9	64,9	69,9	72,5	61,9	59,5	64,4	55,7	
Orta frekans aralığı	315	73,4	63,2	67,4	64,5	78,9	71,1	71,3	73,8	66,1	64,5	67,3	59,7
	400	71,3	62,2	69,0	65,8	78,5	65,8	71,1	73,1	67,9	69,8	70,1	62,7
	500	69,5	65,3	64,2	74,2	79,9	66,5	70,0	72,4	70,1	71,8	71,7	65,6
	630	70,3	65,1	67,0	69,3	69,6	64,5	69,5	73,7	70,0	71,1	72,8	66,5
	800	69,9	65,6	63,0	81,5	70,4	63,5	70,9	71,1	67,8	68,9	72,0	64,3
	1000	68,8	63,7	60,2	71,6	71,1	61,5	71,7	71,5	65,5	66,6	69,8	61,8
	1250	67,1	63,1	62,3	71,7	69,0	61,9	70,0	70,1	64,8	67,3	69,4	63,1
	1600	66,4	59,4	60,0	65,8	66,4	64,1	68,9	68,9	64,1	63,4	65,4	59,4
	2000	65,4	61,3	56,7	58,7	65,2	62,1	66,4	66,4	62,2	61,2	62,8	57,0
Yüksek frekans aralığı	2500	64,3	54,4	56,9	56,0	62,0	59,7	64,9	67,3	62,4	60,8	62,4	56,2
	3150	63,2	52,5	55,7	59,1	60,8	57,2	63,4	64,8	60,1	60,1	61,2	56,0
	4000	60,8	52,4	55,9	55,8	59,8	55,2	60,8	62,1	58,2	57,1	58,1	56,0
	5000	59,7	48,1	52,5	51,5	58,4	54,2	57,8	58,9	54,3	53,4	54,2	54,5
	6300	59,3	44,8	49,2	50,3	55,7	51,9	54,9	56,7	53,4	52,2	53,4	51,1
	8000	52,5	41,7	45,5	45,9	51,6	47,9	50,9	52,5	49,1	48,4	49,5	45,8
	10000	50,8	38,9	41,0	42,3	47,4	45,3	46,6	47,9	44,0	43,4	44,7	40,9
	12500	47,6	37,2	36,2	39,4	42,9	43,6	42,3	46,1	39,1	38,4	39,5	36,8
	16000	41,9	35,8	30,5	29,6	36,0	40,0	36,3	39,8	33,6	32,5	33,5	31,5
	20000	34,6	30,9	21,9	19,2	27,9	30,1	27,9	31,0	24,1	24,4	24,0	24,0

Çizelge 3. Maden makinesi gruplarının frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi

Table 3. Frequency-equivalent noise level of mining machinery groups

İş makineleri	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
Frekans (Hz)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	
Düşük frekans aralığı	20	43,7	42,6	43,8	39,0	40,1	48,3	33,4	49,4	38,2	40,0	39,6	26,6
	25	48,7	47,6	49,9	45,3	48,2	49,4	37,5	52,7	41,5	43,9	42,2	25,7
	31,5	52,9	50,9	57,9	48,8	56,1	59,2	43,5	60,2	37,6	47,9	50,7	29,3
	40	50,9	53,0	63,5	48,4	59,5	58,7	49,2	63,4	40,8	50,6	51,4	29,3
	50	49,1	56,3	64,0	50,4	52,9	52,0	52,6	62,2	50,9	49,0	50,6	36,9
	63	52,4	56,8	62,3	51,0	54,0	58,0	48,3	61,4	53,3	50,5	49,8	37,2
	80	56,2	60,4	64,6	62,2	60,0	54,7	49,4	64,6	52,1	51,9	53,6	40,2
	100	56,8	65,4	70,8	70,3	68,4	64,2	62,8	72,6	55,8	56,0	57,4	39,8
	125	59,8	62,1	74,6	63,5	67,8	65,9	62,3	65,9	53,7	56,2	56,9	43,2
	160	63,8	64,7	78,4	63,5	67,1	61,7	60,9	69,5	56,8	56,6	60,4	52,9
	200	63,8	65,1	76,2	61,7	66,6	65,1	64,6	72,1	59,2	58,8	62,9	52,5
250	64,7	66,3	77,3	60,6	67,5	62,2	69,2	71,6	61,9	59,5	64,4	55,7	
Orta frekans aralığı	315	65,4	67,4	77,4	58,2	70,9	66,4	73,7	73,0	66,1	64,5	67,3	59,7
	400	65,2	67,5	79,0	58,5	69,0	67,9	70,0	72,4	67,9	69,8	70,1	62,7
	500	65,5	67,9	78,6	63,0	68,5	67,5	71,0	71,6	70,1	71,8	71,7	65,6
	630	66,3	67,6	76,3	64,4	69,0	67,7	66,2	72,3	70,0	71,1	72,8	66,5
	800	64,4	67,1	76,1	62,5	68,8	69,1	65,8	71,0	67,8	68,9	72,0	64,3
	1000	62,3	64,6	76,4	59,9	67,5	64,0	64,7	71,5	65,5	66,6	69,8	61,8
	1250	61,7	63,2	75,4	60,6	66,1	65,4	64,2	70,1	64,8	67,3	69,4	63,1
	1600	60,1	62,4	73,2	58,0	64,6	61,9	64,8	68,9	64,1	63,4	65,4	59,4
	2000	57,4	61,0	71,0	56,2	64,4	57,4	63,1	66,4	62,2	61,2	62,8	57,0
Yüksek frekans aralığı	2500	57,3	61,0	68,5	55,9	61,8	56,6	60,4	66,5	62,4	60,8	62,4	56,2
	3150	55,7	59,6	66,6	56,3	60,5	56,8	58,4	64,3	60,1	60,1	61,2	56,0
	4000	54,3	56,6	64,5	52,8	58,7	55,9	56,7	61,7	58,2	57,1	58,1	56,0
	5000	50,0	53,9	61,4	50,0	56,8	52,1	55,6	58,5	54,3	53,4	54,2	54,5
	6300	48,2	51,3	59,8	48,2	55,7	49,6	53,1	56,1	53,4	52,2	53,4	51,1
	8000	44,8	47,7	55,2	46,4	49,8	45,6	49,1	51,9	49,1	48,4	49,5	45,8
	10000	40,2	42,9	50,4	42,0	47,8	41,4	46,0	47,4	44,0	43,4	44,7	40,9
	12500	36,1	39,5	47,2	36,7	45,0	37,2	43,3	44,8	39,1	38,4	39,5	36,8
	16000	29,9	34,5	42,3	31,8	40,4	30,2	38,7	38,6	33,6	32,5	33,5	31,5
	20000	22,6	27,0	33,3	24,8	33,7	21,0	29,3	30,0	24,1	24,4	24,0	24,0

① Hafriyat kamyonu

② Hidrolik terskepçe ekskavatör

③ Paletli dozer

④ Lastik tekerlekli yükleyici

⑤ Greyder

⑥ Lastik tekerlekli titreşimli silindir

⑦ Delici

⑧ Hidrolik kırıcı

⑨ Döner kepçeli ekskavatör

⑩ Bant aktarma aracı

⑪ Dökücü

⑫ Kömür yükleyici/dökücü

EVALUATION OF MOST VISITED WEB SITES IN TURKEY IN ASPECTS OF STRUCTURE AND SECURITY

¹Atakan DAŞDEMİR, ²Mustafa Nevzat ÖRNEK, ³Humar Kahramanlı ÖRNEK

¹Selçuk University Graduate School of Natural Sciences Information Technology Engineering, MS Student,
Konya, TÜRKİYE

²Konya Technical University, Vocational School of Technical Sciences, Konya, TÜRKİYE

³Selçuk University, Faculty of Technology Computer Engineering Department, Konya, TÜRKİYE

¹ataknet@gmail.com, ²nevezat@selcuk.edu.tr, ³hkahramanli@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 25.08.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.04.2018)

ABSTRACT: Applications on World Wide Web have made our daily lives easier with their basic and fast access, neglecting time and place, they have become indispensable. It made Web applications a popular target for malevolent users and increased web security risk. In this study web penetration test which is indispensable for web security and threatening risks for web security are mentioned. In Turkey, 60 of the most visited sites were identified in five different categories scanned as an ordinary user to consider a safety assessment of the general situation of the websites. For the review, large sites in news sites, e-commerce, government, universities and other categories have been selected that are thought to have strong security infrastructure. The knowledge about these sites such as used technologies and infrastructure which considers as vulnerability of sites and can be obtained by the ordinal person who uses penetration tests has been investigated in this study. As a result of the research, operating system information and web server information from 62% and 87% of the reviewed sites were identified respectively. Medium and low degree vulnerabilities were found in all scanned websites. With the vulnerability screening tests, weakness map revealed and information about the most identified weaknesses was given.

Key Words: Penetration tests, Weakness analysis, Web security

Türkiye'de En Çok Ziyaret Edilen Web Sitelerinin Altyapı ve Güvenlik Açısından Değerlendirilmesi

ÖZ: Dünya Çapında Ağ (www) üzerindeki uygulamalar yere ve zamana bağlı olmadan hızlı erişimi ile günlük hayatımızı kolaylaştırdı ve vazgeçilmez oldu. Bu da web uygulamalarını kötü niyetli kullanıcılar için hedef haline getirdi ve web güvenliği riskini yükseltti. Bu çalışmada web güvenliği ve tehdit riskine karşı kaçınılmaz olan sızma testleri incelenmiştir. Türkiye’de, beş farklı kategorideki 60 en çok ziyaret edilen site belirlenmiş ve güvenlik açısından değerlendirmek amacı ile sıradan bir kullanıcı olarak incelenmiştir. İnceleme için ciddi güvenlik altyapısı olduğu düşünülen haber, e-ticaret, devlet, üniversite ve diğer kategorilerde büyük siteler seçilmiştir. Bu çalışmada sızma testi kullanan sıradan bir kullanıcı tarafından elde edilebilen sitelerde kullanılan teknolojiler ve sitelerin güvenlik açığı olarak kabul edilen altyapı gibi bilgiler incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak incelenen sitelerin %62’sinde kullanılan işletim sistemi ve %87’sinde kullanılan web sunucu bilgileri belirlenmiştir. İncelenen tüm sitelerde orta ve düşük seviye zafiyet tespit edilmiştir. Zafiyet tarama testi ile zafiyet haritası oluşturulmuş ve en çok karşılaşılan zafiyetlerle ilgili bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sızma testi, Zafiyet analizleri, Web güvenliği

INTRODUCTION

In this information age we are living in, information is important surely, however its secrecy, integrity and accessibility as in "Information Security" is important as well. Information security is efforts to create a safe information processing platform to protect information or data in electronic environment from unauthorized accesses while saving and transporting without disrupting its integrity (Canbek and Sagioglu, 2006).

There are various difficulties with providing information security due to the transformation of managerial needs related to information security into a methodology, improper configuration of network security devices, avoiding security by considering time and cost in projects, the lack of knowledge about information security of institution employees (Boşal, 2017).

We can subcategorize information security as network security, end-user security, data security, application (web) security, identity and access security, security management (Çetinkaya, 2008).

Internet and web security gain importance day by day because of millions of users and being existed in the all areas of life from finance to health, from communication to entertainment. Internet has become indispensable part of our daily lives by providing unprecedented convenience via web and mobile applications (Fung, 2014).

Since web applications are open to all including hackers, because of their definition, security of these applications is troublesome (Khochare et al., 2013).

The Symantec Company (Symantec, 2016) has found at least one weakness in 76% of the sites reviewed in its internationally conducted Web security analysis study. This result is sufficient to demonstrate the seriousness of the situation in the security of web applications. In this study, 60 of the most visited sites were identified in five different categories to consider a safety assessment of the general situation of the Web sites in our country. We aimed to show what kind of information and what vulnerabilities can be found by the ordinary internet user Web penetration tests indispensable for evaluation of web sites in aspects of security. The web penetration tests scan weakness of web sites and give opportunities to take precautions for vulnerabilities (Barbara, 2014).

Doğan (2013) has scrutinized 193 studies about web penetration tests published between 2000 and 2013 and provided information about test approaches, error models, tools, metrics and experimental evidences. One of them was developed by Haque (2016) for web server vulnerability analysis in he context of transport layer security (TLS). Web penetration tests detect vulnerabilities using different attack types. Among these types injections and XSS are very common.

Ruse (2013) has handled injection and XSS attack techniques which are among the most common attack types and protection methods in details and mentioned detection methods.

Jnena (2013) compared a tool which he created himself concerning SQL injection and XSS with other tools in his study about web applications weakness analysis. Huang et al. (2016) analyzed the current situation of Chinese websites sing 57,122 web spoofing events from 2012 to 2015 presented by researchers. According to the authors, the data were collected in four groups including companies listed in the stock exchange, government agencies, educational institutions and new companies. They have created an automatic classifier model for web security vulnerabilities and examined the most common 15 security vulnerabilities and their distribution. In 2015, the number of SQL injections 5,742 (44.87%), XSS 283 (2.21%), Logic error 202 (1.58%), Sensitive data exposure 1,403 (10.96%), Broken access control 515 (4.02%) Command injection 564 (4.41%), Misconfiguration 354 (2.77%), Hack event 1,734 (13.55%), Weak password 733 (5.73%), File upload 117 (0.91%), Path traversal 64 (0.5%), Invalidated redirects 34 (0.27%), CSRF 16 (0.13%), File include 111 (0.87%), Other 924 (7.22%).

They reported that the startup companies had serious security vulnerabilities while government and educational institutions showed more interest to this area.

Yalçınkaya (2012) has made an analysis study on Turkey's 50 public institutions' web site with the basis of web standards broadcasted by Türksat Company. Arsoy (2014) has evaluated e-state web sites according to convenience to international standards and concluded that they have general usability problems. Reducing web security threats is another subject of web security study (Hassan, 2013). It is

important for web security to detect most common attack types and approach different techniques to lower the menaces of web security.

One of the most comprehensive studies about web security is The Open Web Application Security Project (OWASP) founded in 2001 and presents free tools, standards and forms etc. and relevant services to increase application security and awareness. The common threats against web applications are broadcasted up-to-date as top 10 lists by OWASP. OWASP 2017 Top 10 list is below (OWASP, 2017):

- 1- SQL, OS, XXE and LDAP injection
- 2- False Identity Authentication and Login Management
- 3- Cross-Site Scripting (XSS)
- 4- False Access Control
- 5- False Security Configuration
- 6- Obtaining Valuable Information
- 7- Insufficient Attack Prevention
- 8- Cross-Site Request Forgery (CSRF)
- 9- Using Components with Known Security Breaches
- 10- Defenseless APIs

In this study, determined web sites were scanned using web penetration test methods via statistical sites and open source programs and some information were collected about the technologies and infrastructure they use.

MATERIAL AND METHOD

Penetration tests are the so critical for evaluation of web sites in aspects of structure and security. Thus this study explains penetration test methods and using them.

Penetration Tests in Web Applications Security

Penetration tests are test group which procures the mischiefs beforehand to information technologies infrastructure and institution's data flow by an attacker (Hacker, former employee, Script Kiddie etc.) or malware (worm, virus, Trojan horse, spyware etc.) (Muharremoglu, 2013). Web security penetration tests and the methods used are shown in Table 1.

The purpose of the penetration tests is determining the weaknesses and eliminates them to prevent malevolent people's unauthorized access (Vural, 2007). Method example used also in Web penetration tests is shown below in Figure 1.

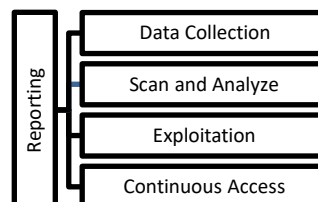


Figure 1. Method used in penetration tests

Table 1. Security test used in penetration tests (Yaşar, 2014).

PENETRATION TESTS	METHODS
Authentication	Brute Force Insufficient Authentication Password Saving Control
Authorization	Guessing Login Info Insufficient Authorization Insufficient Logout Login stabilizing
User based	Cross-site scripting
	Content Forgery
Command Executing	Buffer overflow Typesetting Format LD Injection Operating System Command Injection SQL Injection SSI Injection XPath Injection
Information Exposal	Index listing Information Leak Following Conjecturable Source Location
Logical	Functionality Malfeasance Service Damp Automation Insufficient Supervising

Penetration tests consists of 5 phases as data collection, weakness scan and analyze, exploitation, continuous access and reporting.

a. Data Collection: Data collection can be divided into two as active and passive. Collecting via connection to the source is called active (Fierce, Dig, theHarvester, SubBrute, CeWL like softwares) and collecting without connection to the source, via internet and web sites (Shodan, Google Hack Database, Netcraft like sites) is called passive. Whereas active data collection has the advantage of more and effective data collection, it has the disadvantage of possibility of being detected by the source. The reason for data collection can be summarized as collecting information and finding documents via determining running system and software, IP address, determining running services, social engineering (Muniz and Lakhani, 2015). From the web perspective, collected data like used web host applications and versions, http version, http method, index structure, folder types, used Web Application Firewall and proxy server will be very useful on test stage.

b. Vulnerability Scan and Analysis: Errors or lacks which can be used for exploiting are found with the help of gathered information, then open ports are determined. Patch deficiency of operating system or any program used, is the most important weakness for a system (Polat, 2016). Simple or default password usage, faulty system politics, problems sourced from design of the application or software, gaining applications or software free, can be exemplified as potential menaces which can direct weaknesses. Weakness scan for web applications can be manual (Code examination, command line etc.) or can be done via popular automatic weakness scan tools (Metasploit, nmap commands, Nessus, Acunetix etc.)

c. Exploitation: Exploitation is the most important stage of the process where control over target system is established. Instead of weakness scan tools, here exploitation oriented tools (password cracking programs, Metasploit application etc.) and exploit named exploitation commands are used. Websites like <https://www.exploit-db.com> which includes exploitation codes to use potential weakness for exploitation purposes, can be collimator. Exploitation is using errors of programs installed in target system by providing the attacker infiltration to the target and executing malicious code in there (Engebretson, 2013).

d. Continuous Access: This is the stage where after accessing the target, erasing the trails as much as possible and having continuous multi-pronged access with methods like backdoors, rootkits, new user or meterpreter shell, tunnel, new network access channel.

e. Reporting: Documents include solutions and suggestions where the data obtained via tests done in previous stages are exegetically written, the test results are analyzed (risk levels, effects on system, order of importance etc.), can be generated at “Reporting” stage (Vural, 2017).

In the study information gathering from penetration tests methods, weakness scanning and analyzing operation steps were taken as basis. Followed method is shown in Figure 2.

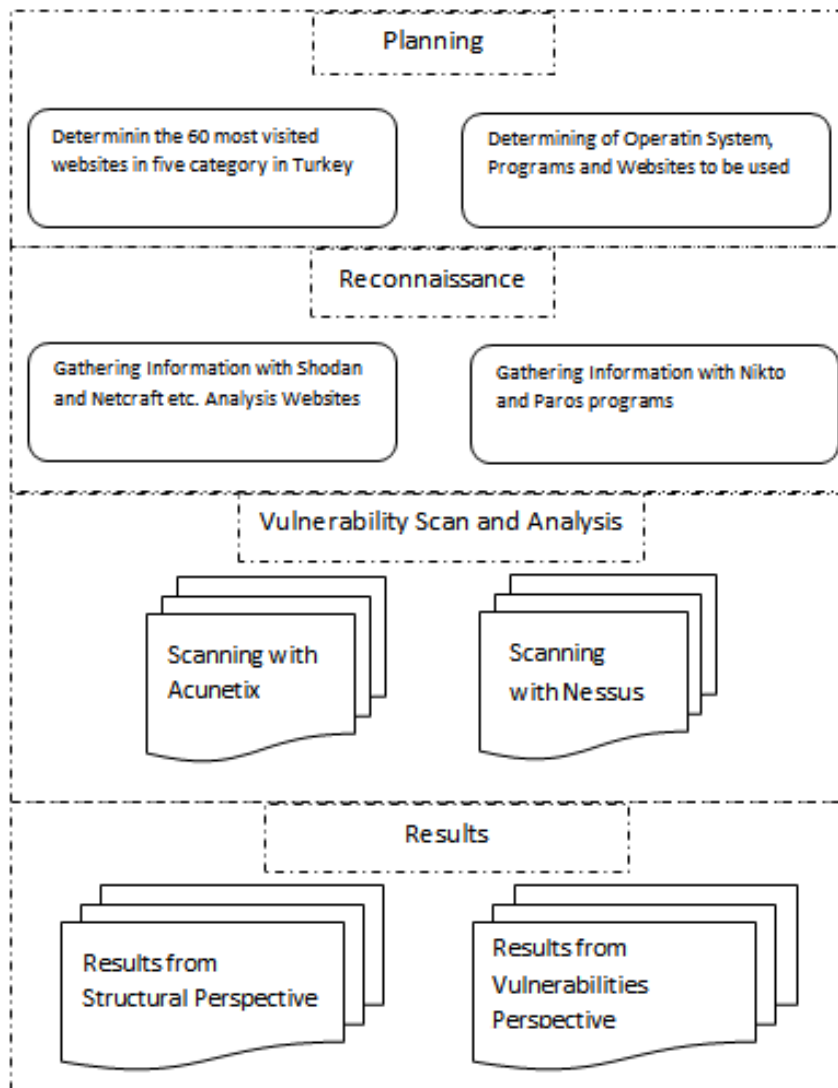


Figure 2. Method followed

For working material from most visited sites as five different groups and for each group 12 sites in university, news, e-commerce, government and other categories are determined based on <https://www.alexa.com> website statistics. Examined news websites are named as "Group-1", e-commerce websites are named as "Group-2" government websites are named as "Group-3", university websites are named as "Group-4" and the other websites are named as "Group-5". As university group state universities have been examined whereas in news e-commerce and other group websites private websites are examined. Others group includes private websites in different categories like portal, entertainment.

In the process Kali Linux and Microsoft Windows 8 operating systems are used. In order to gather information about websites, Shodan and Netcraft analysis websites and open source coded Nikto and Paros applications under Kali Linux were used. For weakness scan popular Acunetix v10 (<https://www.acunetix.com> trial version) program which works on Microsoft Windows platform and Nessus program's trial version 6.10.5 (<https://www.tenable.com>) were used.

In the study information gathering from penetration tests methods, weakness scanning and analyzing operation steps were taken as basis. Followed method is shown in Fig 2. In the light of followed method; first determined websites' information about infrastructure and technology is gathered and then comparisons were made via weakness scan.

a. Information to be gathered from the perspective of structure and technology they use are shown in Table 2.

Table 2.Gathering information

Information to be collected about the websites	
1.	Host's operating system for determined websites
2.	Their choosing as web server
3.	The platform they work on
4.	Security equipment used
5.	Web Tracers

In order to gather and evaluate the information about websites, firstly determined websites were scanned at Shodan and Netcraft websites which are analysis websites. Then necessary information about websites were gathered using Niktos and Paros applications which are information gathering purposed scanner programs in Kali Linux.

According to the method followed; second step is vulnerability scan.

b. Determined websites are scanned first with Acunetix program and then with commercial Nessus programs trail version for weakness detection and found weaknesses' detailing.

Information to be gathered for vulnerability analysis:

- Weakness level of websites,
- On which category which weaknesses are encountered,
- Weakness evaluation.

RESULTS AND SUGGESTIONS

Information about websites analyzed, gathered in the perspective of structure and technology they use and information gathered in the perspective of weakness analysis are tested for each three groups individually. Results below are obtained at the end of the studies:

Structural Results

The information of operating system used, web host software, platform they work on, Security equipment they used, location and web trackers in the 60 websites which are chosen from the Turkey’s top visited websites, is below in Tables 3, 4, 5, 6, and 7. It is the known fact that finding out the operating system used in server and web server software can be helpful to information gathering which is the first step of attack. Thus, Web Application Firewall (WAF) software hinders the information gathering procedures called footprint. Hence, no information was gathered about some websites’ operating system and web hosts.

Table 3. Operating systems of hosts

	Win 2003	Win 2008	Win 2012	Linux	Undetected
Group-1	-	2	-	7	3
Group-2	1	4	-	3	4
Group-3	-	-	1	2	9
Group-4	-	1	1	8	2
Group-5	-	3	1	3	5
Total	1	10	3	23	23

As seen on Table 3 web server use Linux as operating system with the percentage of 62, and it has been preferred by universities the most as 67%. There has been a website detected which is using Windows 2003 server on which Microsoft has no support since July 14, 2015 and it will not have security patch anymore.

Table 4. Web servers of websites

	IIS 7.0	IIS 7.5	IIS 8.5	Nginx	Apache	PWS	Undetected
Group-1	-	2	1	4	-	5	-
Group-2	-	3	2	2	2	-	3
Group-3	-	2	2	3	1	-	4
Group-4	1	-	2	3	5	-	1
Group-5	-	2	3	5	1	1	-
Total	1	9	10	17	9	6	8

As seen on Table 4 the percentage of IIS (last version 10.0) choosers as web host software is 33% and all of them are using old version. When websites provides exploit support scanned, exploit codes (like overriding the authorization) were detected especially on IIS 7.5 and older versions. On examined websites it has been seen that web host Nginx (latest version 1.13) software has being used with 28%. The older versions of Nginx software could be reason to some weaknesses like remote exploit. There also has been some websites using PWS software with 10%.

Table 5. Working platforms

	.net	PHP	Undetected
Group-1	3	9	-
Group-2	7	4	1
Group-3	8	3	1
Group-4	3	8	1
Group-5	6	6	-
Total	27	30	3

According to Table 5, PHP is the most using platform with 50%. Especially it has been preferred by websites of news and university.

Table 6. Security equipment

	F5 BigIp	Citrix Netscaler	Undetected
Group-1	2	2	8
Group-2	2	2	8
Group-3	6	3	3
Group-4	-	3	9
Group-5	2	4	6
Total	12	14	34

As shown as Table 6, 26 (43%) websites uses security equipment. It has been seen that 14 websites uses Citrix Netascaler and 12 websites uses F5 BIGIP network product devices as WAF which can distribute traffic between the determined hosts as distributor and is a protector against especially injection and XSS attacks.

Table 7. Web trackers

	Analysis	CDN	Widget	Ad
Group -1	12	7	11	8
Group -2	10	7	3	12
Group -3	4	4	3	-
Group -4	4	8	1	-
Group -5	10	8	7	5
Total	40	34	25	25

Web tracker which share demographic information, buying habits, area of interests and more information with third parties, implementation is 22% at university websites whereas the all the other websites are using them and they are used for statistic/analysis, CDN (Content Distribution Network), widget and advertising. Websites are most using analysis web trackers with 67%.

Results from Weaknesses Perspective

Acunetix and Nessus programs find vulnerabilities in four level categories. These categories are high, medium, low and information. Information level can be ignored. While high level is critical and must be taken prevent immediately. In this study determined Websites were scanned in the computer laboratory by Acunetix and Nessus programs on 14th, 15th and 16th June 2017.

a. Evaluation of the scan results with Acunetix:

A total of 60 websites, each of which lasted an hour, were scanned with Acunetix program. Degrees of vulnerability information found in the results of scanning with the Acunetix program are shown in Table 8.

As shown in Table 8, no site has high risk vulnerability. Medium vulnerability is found most in the Group-5. Low-grade vulnerability quantities are found in close proximity to each other on groups. It is detected that all the websites have weaknesses when we examine Table 8. All found vulnerabilities are detailed in Table 9.

Table 8.Degrees of vulnerabilities found by Acunetix v10

	Low	Medium	High
Group -1	23	17	-
Group -2	31	9	-
Group -3	17	8	-
Group -4	21	13	-
Group -5	14	24	-
Total	106	71	0

Table 9.Acunetix v10 results

	Risk Degree	ACUNETIX	
		Vulnerability	Q
Group-1	High	-	0
	Medium	<ul style="list-style-type: none"> ·HTML Form Without CSRF Protection ·Insecure crossdomain.xml file ·User Credentialsare Sent in ClearText ·elmaH.axd Information Discloser ·Slow HTTP Denial of Service Attack 	11 2 1 1
	Low	<ul style="list-style-type: none"> ·Clickjacking:X-Frame-Option Header Missing ·Cookie Without HttpOnly Flag Set ·Option Method is Enabled ·ASP.NET version Discloser ·Possible virtual host found 	9 6 3 2 3
Group-2	High	-	0
	Medium	<ul style="list-style-type: none"> ·HTML Form Without CSRF Protection ·ASP.NET error message ·HTTPS Connection with weak key length 	6 1 2
	Low	<ul style="list-style-type: none"> ·Clickjacking:X-Frame-Option Header Missing ·Cookie Without HttpOnly Flag Set ·Option Method is Enabled ·ASP.NET version Discloser ·Possible virtualhost found 	10 10 6 4 1
Group-3	High	-	0
	Medium	<ul style="list-style-type: none"> ·HTML Form Without CSRF Protection ·Slow HTTP Denial of Service Attack 	6 2
	Low	<ul style="list-style-type: none"> ·Clickjacking:X-Frame-Option Header Missing ·Cookie Without HttpOnly Flag Set ·Sesion cookies coped to parent domain ·Login page password-guessing attack ·Possible virtual host found 	9 3 1 1 2 1

		·File Upload	
Group-4	High	-	0
	Medium	·HTML Form Without CSRF Protection ·Insecure crossdomain.xml file ·Slow HTTP Denial of Service Attack ·Same site scripting ·ASP.NET error message ·User Credentialsare Sent in ClearText ·Apache httpOnly cookie disclosure	5 1 3 1 1 1 1
	Low	·Clickjacking:X-Frame-Option Header Missing ·Cookie Without HttpOnly Flag Set ·Possible sensitive directories ·ASP.NET version Discloser ·Option Method is Enabled ·File Upload ·Trace Method is Enabled	10 5 1 1 2 1 1
Group-5	High	-	0
	Medium	·HTML Form Without CSRF Protection ·User Credentialsare Sent in ClearText ·Insecure crossdomain.xml file ·Same Site Scripting	8 2 3 1
	Low	·Clickjacking:X-Frame-Option Header Missing ·Cookie Without HttpOnly Flag Set ·Option Method is Enabled ·Possible virtual host found ·Sesion cookies coped to parent domain ·File Upload ·Trace Method is Enabled ·ASP.NET version Discloser	10 5 2 2 1 2 1 1

According to Acunetix scanning;

- No high level thread has been detected in all groups.
- At medium level "HTML Form without CSRF Protection" weakness which can cause CSRF exploit especially in forms, is highest at 92% in Group-1 and almost 50% in the other groups. To get rid of this weakness CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) or "I am not a robot" usage along with CSRF token usage might be the most secure solution.
- At low level when Table 9 is scrutinized, we can see that 76% of the all risks are generated from usage of "Header, Cookie, and Method" and using "Same-Origin" method is the most common way to prevent these weaknesses. Missing of "Clickjacking: X-Frame-Option Header Missing" which causes unwanted direction sourced by usage of Iframe/frame, is at 80% at all groups.

b. Evaluation of the scan results with Nessus:

Determined websites were scanned with Nessus program. Each of them lasted an hour. Degrees of

vulnerability information found in the results of scanning with the Nessus program are shown in Table 10.

Table 10. Degrees of vulnerabilities found by Nessus v6.10.5

	Low	Medium	High
Group -1	3	26	1
Group -2	2	10	-
Group -3	1	12	-
Group -4	1	13	2
Group -5	3	27	-
Total	10	88	3

As shown in Table 10, two university sites and one news site have high risk vulnerability. Medium vulnerability is found most in the Group-5 and Group-1.

Table 11. Nessus v6.10.5 Results

	Risk Degree	NESSUS	
		Vulnerability	Q
Group-1	High	·PHP 7.0.x < 7.0.12 Multiple Vulnerabilities	1
	Medium	·Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking	10
		·bash_history Files Disclosed via Web Server	1
		·PHP expose_php Information Disclosure	5
·CGI Generic XSS		5	
·CGI Generic HTML Injections CGI Generic Cookie Injection Scripting IIS Detailed Error Information Disclosure		3	
Low	Web Server Transmits Cleartext Credentials	2	
	Web Server PROPFIND Method Internal IP Disclosure	1	
Group-2	High		-
	Medium	Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking	8
		·CGI Generic HTML Injections	1
		·CGI Generic XSS	1
Low	Web Server HTTP Header Internal IP Disclosure	2	
	·Web Server Transmits Cleartext Credentials	1	
Group-3	High		-
	Medium	Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking	8
		CGI Generic XSS	1
		PHP expose_PHP Information Disclosure	1
		WordPress User Enumeration	1
ASP.NET DEBUG Method Enabled		1	
Low	Web Server Transmits Cleartext Credentials	1	

Group-4	High	PHP 7.0.x < 7.0.16 Multiple Vulnerabilities PHP Unsupported Version Detection	1 1
	Medium	Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking PHP expose_PHP Information Disclosure Git Repository Served by Web Server HTTP TRACE / TRACK Methods Allowed PHP expose_PHP Information Disclosure ASP.NET DEBUG Method Enabled CGI Generic XSS CGI Generic HTML Injections	6 1 1 1 1 1 1 1
	Low	·Web Server Transmits Cleartext Credentials	1
Group-5	High		-
	Medium	Web App. Potentially Vulnerable - Clickjacking CGI Generic XSS CGI Generic Path Traversal ASP.NET DEBUG Method Enabled PHP expose PHP Information Disclosure CGI Generic HTML Injections CGI Generic Cookie Injection Scripting Backup Files Disclosure HTTP TRACE / TRACK Methods Allowed PHP expose PHPPHP Information Disclosure	7 5 2 1 1 5 1 1 2 2 1 1 2 2
	Low	·Web Server HTTP Header Internal IP Disclosure ·Web Server Transmits Cleartext Credentials	1 2

Low-grade vulnerability quantities are found in close proximity to each other on groups. According to Nessus program all the websites have weaknesses. Vulnerability details are shown in Table 11

There has been a critic level weakness detected because of PHP version being old which is used in Group-1 and Group-4

- As an average level weakness, “*Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking*” weakness which is seen as low level threat and causes unwanted directions, is seen in Group-1 with 83 % and in Group-2 and Group-3 websites with 67% .

- “*Web Server Transmits Cleartext Credentials*” weakness which is sending low level user information without cryptography, is seen all groups and total of 8 sites.

- “*Header, Cookie, Method*” usage sourced low level weakness which were found by Acunetix program, are given as information in Nessus program instead of thread.

Suggestions

This research generates a template for Turkey's top visited websites both in the perspective of technology they use and in the perspective of their weaknesses, and sets an example to see structure and deficiencies. It has been shown what kind of information can be collected on a public website and what kind of vulnerability scanning can be done by an ordinary user.

Web applications constitute the great part of security flaws since they are both open to public and they are time and place independent. This study shows that the most of visited web sites in Turkey has considerable number of vulnerabilities. Especially average level weaknesses cannot be ignored.

As a result of the study:

- Unix or Unix derivative operating system is the most preferred with 38%.
- As the web server, 28% is preferred to nginx software.
- When it comes to the platform used PHP is the most preferred with 50%.
- Determined websites are using security equipment with 43%.
- Within the first Alexa 500 companies have security departments.
- At the end of the Acunetix software scans "HTML Form without CSRF Protection" is the most common weakness in medium level risks with %60.
- According to Acunetix program "Clickjacking: X-Frame-Option Header Missing" is the most common weakness in low level risks with %80.
- According to Nessus program "Web Application Potentially Vulnerable to Clickjacking" is the most common weakness in medium level risks with %65 are founded.
- For the considerable number of vulnerabilities, web applications should be tested for penetration in determined periods to determine possible attacks or threats beforehand, to see deficiencies and take precautions against them.
- The most visited sites are used firewall which is managed by specialists. There are small amount of vulnerability in such sites and the information that can be available by hackers is less than the sites without firewall.
- The reason for the inadequacy of security of universities and government corporations are the frequently relocation or leave of employment of information processing staff.
- The reason for the differences in the security of the group is a result of the different business policies.
- People with low knowledge-level websites are increasing their weaknesses.
- Using ready codes increases weaknesses.
- In examined websites, using up-to-date software issue must be concerned since it is the reason they have high level risky weaknesses.
- It has been determined that collecting information from sites which uses WAF is difficult. Using of WAF is recommended to avoid gathering the information required for attackers.
- To check websites against weaknesses of OSWAP Top 10 list manually or with a program is necessary to have precautions against common weaknesses.
- Group-1 websites should take precautions against information gathering which is the first step of attacks.
- Weaknesses sourced by using "Header, Cookie, and Method" is common in all groups and precautions should be taken against them.
- Against the CSRF exploit threat which is seen in Group-2 and Group-3 as high as 80%, CAPTCHA usage or 'I am not a robot' using is suggested.

REFERENCES

- Anonymous, 2016, <https://www.symantec.com/content/dam/symantec/docs/reports/istr-21-2016-en.pdf>, 2016.
- Anonymous, 2017, https://www.owasp.org/index.php/Top_10_2017-Top_10,
- Arsoy, S., 2014, "e-Devlet Web Sitelerinin Kullanılabilirlik Yönünden Standartlara ve Rehberlere Göre Değerlendirilmesi," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Barbara, S., 2014, *Advanced Automated Web Application Vulnerability Analysis*, Ph.D. Dissertation, University of California.
- Boşal, S., 2017, *Kamuda Bilgi Güvenliği ve İller Bankası A.Ş. Örneği*, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi Ankara.
- Canbek, G., Sağiroğlu Ş., 2006, "Bilgi, Bilgi Güvenliği ve Süreçleri Üzerine Bir İnceleme," *Politeknik Dergisi*, Vol 9(3), pp. 165-174.
- Çetinkaya, M., 2008, *Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi Altyapısının Değerlendirilmesi İçin Bir Test Aracı Geliştirilmesi*, M.S. Thesis, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Doğan, S., 2013, *Web Application Testing: A Systematic Literature Review*, M.S. Thesis, The Middle East Technical University, Ankara.
- Engelbreton, P., 2013, *The Basics of Hacking and Penetration Testing*, Second Edition, Elsevier Inc Syngress, Waltham,
- Fung, P.H.A., 2014, *Mitigations of Web Application Security Risks*, Ph.D. Dissertation, Information Engineering The Chinese University, Hong Kong
- Haque, S., 2016, Web Server Vulnerability Analysis in the Context of Transport Layer Security (TLS)", *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol.13(5), pp.11-19.
- Hassan, M., 2013, *Toward Automated Discovery of Web Application Security Vulnerabilities*, M.S. Thesis, California State University, California.
- Huang, C., Liu, J.Y, Fang, Y., Zuo, Z., 2016, "A Study on Web Security Incidents in China by Analyzing Vulnerability Disclosure Platforms, *Computers & Security*, Vol.58 (May), pp. 47-62.
- Jnena, R., 2013, *Modern Approach for WEB Applications Vulnerability Analysis*, M.S. Thesis, The Islamic University of Gaza, Gaza.
- Khochare, N., Chalurkar, S., Meshram, B.B., 2013, "Web Application Vulnerabilities Detection Techniques Survey," *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.13(6)6, pp. 71-77.
- Muharremoğlu, G., 2013, *Kurumsal Bilgi Güvenliğinde Zafiyet, Saldırı ve Savunma Ögelerinin İncelenmesi*, M.S. Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Muniz, J., Lakhani, A., 2015, *Web Penetration Testing with Kali Linux*, Packt Publishing Ltd. First Edition, Birmingham.
- Polat, Ç., 2016, *Penetration Tests and Security Solutions For Corporate Networks*, M.S. Thesis Dokuz Eylül University, İzmir.
- Ruse, M.E., 2013, *Model Checking Techniques For Vulnerability Analysis of Web Applications*, Ph.D. Dissertation, Iowa State University, Iowa.
- Vural, Y., 2007, *Kurumsal Bilgi Güvenliği ve Sızma (Penetrasyon) Testleri*, M.S. Thesis, Fen Bilimler Enstitüsü Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Yalçınkaya, S., 2012, *Assessing Standard Compliance Of Public Institution Web Sites of Turkey*, M.S. Thesis, The Middle East Technical University, Ankara.
- Yaşar, H., 2014., *Kurumsal Siber Güvenliğe Yönelik Tehditler ve Mücadele Yöntemleri: Eylem Planı Örneği*, M.S. Thesis, Bilişim Enstitüsü Gazi Üniversitesi, Ankara,

BETON KAZIKLI AÇIK DENİZ YAPISININ ANALİZİ

¹Engin GÜCÜYEN, ²Recep Tuğrul ERDEM

^{1,2}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

¹engin.gucuyen@cbu.edu.tr, ²tugrul.erdem@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 15.02.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 04.05.2018)

ÖZ: Bu çalışma kapsamında, alt yapısı kazıklar ile modellenen açık deniz platformunun yapısal davranışı farklı akışkan-yapı etkileşim analiz yöntemlerine göre belirlenmiştir. Yapılan analizlerde, öncelikle çift yönlü akışkan-yapı etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Yapı çevresindeki akım, nonlinear dalga teorilerinden Stokes 5 dalga teorisi ile modellenmiştir. Çift yönlü akışkan yapı etkileşiminde Stokes 5 dalga teorisine ait hız profili Abaqus/CFD çözücüsü kullanılarak modellenmiştir. Akışkanı oluşturan deniz ortamı, Abaqus/CFD çözücüsünde modellenirken, platform Abaqus/Explicit çözücüsünde modellenmiştir. Akışkan-yapı etkileşim (FSI) modülü ile iki çözücünün etkileşimi sağlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde kullanılacak eleman sayısını belirleyen hassaslık analizi modal analiz üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizi ile yapının modal davranışının yanında, deplasman ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Çift yönlü etkileşim analizi ile akışkana ait çıktılar sayısal ve görsel olarak elde edilmiş ve yapı etrafındaki akış yapısı gözlemlenmiştir. Çalışmada ikincil olarak, tek yönlü akışkan yapı etkileşim analizi yapılmıştır. Bu analizde yapı, yarı analitik çok serbestlik dereceli (MDOF) sistem olarak modellenmiştir. Dalga hızları, ilk yöntemde olduğu gibi Stokes 5 dalga teorisi ile hesaplanmıştır. Dalga kuvvetleri Morrison denklemi üzerinden sayısal olarak elde edilmiştir. Bu kuvvetler hareket denkleminde dış kuvveti oluşturmuştur. Hareket denklemi ile yapının deplasman ve doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Her iki analizden elde edilen sonuçların uyumu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık deniz yapısı, Sonlu elemanlar analizi, Stokes 5, Yarı analitik analiz

Analysis of Offshore Structure with Concrete Piles

ABSTRACT: In the scope of this study, structural behavior of the offshore platform whose substructure is modeled by piles is determined according to different fluid-structure interaction analysis methods. Bilateral fluid-structure interaction is primarily performed in the analyses. Flow around the structure is modeled by Stokes 5 wave theory which is an example of nonlinear wave theories. Velocity profile of Stokes 5 wave theory is modeled by using Abaqus/CFD solver in the bilateral fluid-structure interaction. While the marine environment of the fluid is modeled by Abaqus/CFD solver, the platform is modeled by Abaqus/Explicit solver. Fluid-structure interaction (FSI) is provided by the interaction of two solvers. Sensitivity analysis that determines number of nodes and elements in the finite elements model is performed through modal analysis. Displacement and stress values are obtained as well as the modal behavior of the structure by finite elements analysis. Wave velocity profiles are determined by both numerically and visually by bilateral interaction analysis and flow structure around the structure is observed. Secondly, unidirectional fluid-structure interaction analysis is performed in the study. In this analysis, the structure is modeled as semi analytical multi degree of freedom (MDOF) system. Wave velocities are calculated by Stokes 5 wave theory same as in the case of the first method. Wave forces are numerically determined by Morrison equation. These forces constitute the external force in the equation of motion. Displacement and natural frequency

values of the structure are determined by the equation of motion. The compatibility between the results of both analyses is observed.

Key Words: *Offshore structure, Finite element analysis, Stokes 5, Semi analytical analysis*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen inşaat teknolojileriyle beraber, özel yapıların inşası hız kazanmıştır. Bu özel yapı tiplerinden biri de açık deniz yapılarıdır. Boru hatları ve platformlar, açık denizlerde en yaygın kullanılan yapılarıdır. Açık deniz platformları; petrol arama-çıkarma, rüzgar ve güneş enerjisi tesisleri, gemi yanaşma yapısı, uçak ve helikopter pisti gibi geniş ve yaygın kullanım alanına sahiptir (Lamas-Pardo ve diğ., 2015; Yan ve diğ., 2018). Üstyapıyı taşıyan platform, platformu taşıyan altyapı ve temelden oluşan yapıların altyapıları, tekil kazık, çoklu kazık ya da kafes sistem şeklinde tasarlanabilmektedir (Farrugia ve diğ., 2014; Shi ve diğ., 2015). Kafes sistem tipi yapılar çelik, diğer iki tip ise çelik ya da beton olabilmektedir. Beton ve çelik kadar yaygın olmamakla beraber, ahşap ve alüminyum açık deniz yapılarında kullanılmaktadır. Platform altyapısı gerek platformdan gelen, gerekse kendisine etki eden yükleri güvenli bir şekilde temele aktaracak şekilde tasarlanmaktadır. Yapının toplam maliyetinin 30-40 % arasını oluşturması maliyet bakımından, kuvvetleri temele aktarması ise yapısal bakımdan altyapıyı önemli hale getirmektedir (Halder ve diğ., 2018).

Açık deniz yapılarının kullanılmasına başlandığı ilk yıllarda çeliğin üretiminin az olması nedeniyle, beton kullanımı çeliğe göre daha yaygındır. Çelik endüstrisinde meydana gelen gelişmelerle beraber artan üretim, açık deniz yapılarında çelik kullanımını arttırırken, beton kullanımını azaltmıştır. Ancak, son yıllarda yüksek dayanımlı ve ön gerilmeli beton teknolojilerindeki gelişmelerle beraber, açık deniz yapılarında betona yönelim tekrar başlamıştır. Yorulma ömrünün uzun olması, buzlanma, korozyon gibi dış etkilere karşı daha dayanıklı olması ve gövde bakım maliyetinin çelik ile kıyaslandığında daha az olması, betonun avantajları olarak sayılabilir. Bununla birlikte, çelik gövde ile karşılaştırıldığında beton gövdedeki hareket kabiliyeti kaybı, betonun sağladığı avantajlar ile dengelenebilir (Yee, 2007; Fernandez ve Pardo, 2013).

Deniz yapıları, faydalı ömürleri boyunca dalga, rüzgâr, akıntı, deprem gibi çeşitli çevresel yüklerin etkisi altında kalırlar. Bu yüklerin yanında yıkıcı etkiye sahip gemi çarpması, korozyon, buzlanma ve şiddetli fırtına gibi olumsuz çevresel şartlara da maruz kalabilirler (Li ve diğ., 2017; Zhang ve diğ., 2017a). Sayılan yükler arasında tasarımda en etkili olanı, dalga kuvvetleridir. Bunun nedeni, dalga kuvvetlerinin yapı üzerinde dinamik, uzun süreli ve kararsız etki yapmasıdır (Li ve diğ., 2011). Denizle temas etmeyen kısım yüksekliğinin artmasıyla beraber, dalga kuvvetlerinin yanında rüzgâr kuvveti de yapı üzerinde etkili olmaya başlar. (Hall ve diğ., 2014). Yapı bulunduğu bölgeye göre, deprem kuvvetlerinin etkisi altında kalabilir. Depremin kazık tipi deniz yapısı üzerinde yaptığı etkinin yanında, zemin sıvılaşmasına neden olmasıyla birlikte oluşturduğu hasar daha yıkıcıdır (Wang ve diğ., 2017).

Dalga kuvvetlerinin hesaplanmasında, yapının konumuna göre belirlenen dalga teorileri kullanılır. Bu teoriler en genel olarak; Lineer, Stokes ve Cnoidal dalga teorileridir. Cnoidal dalga teorisi sığ suda, Stokes dalga teorisi derin suda, Lineer dalga teorisi ise her bölgede geçerlidir. Belirlenen teoriye ait hız profilleri kullanılarak, dalga kuvvetleri hesaplanır. Hesaplamalarda Morrison ya da Difraksiyon teorisi denklemleriyle, analizlerde kullanılacak dalga kuvvetleri elde edilir.

Bu çalışmada, dalga kuvvetlerinin etkisi altındaki bir açık deniz platformunun dinamik analizi yapılmıştır. Yarı analitik analiz yöntemleri ve nümerik analiz yöntemleri açık deniz yapılarının dinamik analizinde sıklıkla uygulanmaktadır. Akışkan yapı etkileşimine ait görsel sonuçlara ve yapı etrafındaki akış yapısının belirlenmesine ihtiyaç olmayan durumlarda, yarı analitik çözümler kullanılmaktadır. Bu çözümler içinde en sık kullanılan tek serbestlik dereceli sistem ve çok serbestlik dereceli sistem yöntemleridir (Park ve Kim, 2013). Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojileriyle beraber, yarı analitik

yöntemlerin yanında, yüksek bilgisayar kapasitesi gerektiren nümerik analiz yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapılar buldukları konum nedeniyle, akışkan ile etkileşim halindedir. Bu nedenle, yarı analitik ya da nümerik yöntemlerde akışkan yapı etkileşim analizleri kullanılır. Akışkan-yapı etkileşim analizleri, tek yönlü ve çift yönlü olmak üzere iki tiptedir. Yarı analitik analiz yöntemleri tek yönlü, nümerik analiz yöntemleri ise tek ya da çift yönlü olabilmektedir. (Gücüyen ve Erdem, 2014; Gücüyen ve Erdem, 2016) tarafından belirtildiği gibi tek yönlü analizde, akışkandan yapıya kuvvet aktarılır, yapıdan akışkana tepki aktarılmaz. Çift yönlü analizde ise akışkandan yapıya kuvvet, yapıdan da akışkana kuvvetlerin oluşturduğu deplasmanlar aktarılır.

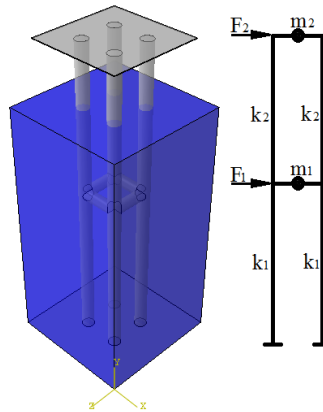
Beton kazıklar ile modellenmiş bir açık deniz platformunun akışkan-yapı etkileşim analizi, bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, tek yönlü ve çift yönlü etkileşim kullanılmıştır. Tek yönlü etkileşimde yapı (Hartnett ve Mitchell, 2000) tarafından modellendiği gibi çerçeve sistem olarak modellenmiştir. Bu çerçeve sistem, iki serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Dalga kuvvetlerinin eklendiği çerçeve sistemin hareket denkleminin, nümerik çözümü yapılmıştır. (Froehle ve Persson, 2014). Denklemin bilinmeyen olan, deplasman değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kütle ve rijitlik ifadeleri yardımıyla, doğal frekanslar bulunmuştur. Çift yönlü analizde, Abaqus (Abaqus, 2010) sonlu elemanlar programı kullanılarak, yapının deplasman ve doğal frekans değerleri ile yapı etrafındaki hız profilleri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda iki farklı etkileşim tipi arasındaki benzerlikler ya da farklılıklar analiz sonuçları üzerinden belirlenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, farklı akışkan-yapı etkileşim analizleri kullanılarak, çoklu kazıklarla modellenmiş açık deniz platformunun yapısal davranışı incelenmiştir. Analizlerde, tek yönlü ve çift yönlü etkileşim yöntemleri kullanılarak, akışkan-yapı etkileşiminin yapısal davranış üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır. Tek yönlü etkileşimde Runge-Kutta yöntemiyle, iki serbestlik dereceli sisteminin hareketi elde edilmiştir. Dalga kuvvetleri sayısal olarak Morrison denklemleri ile elde edilmiştir. Bu değerler, hareket denklemleri üzerinden yapıya aktarılmıştır. Çift yönlü etkileşim analizinde, Abaqus sonlu elemanlar analiz programı kullanılmıştır. Çift yönlü etkileşim analizi, Abaqus/CFD-Abaqus/Explicit çözücülerinin eş zamanlı etkileşimi ile gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, deplasman ve doğal frekans değerlerini içeren yapısal davranış belirlenmiştir.

Yapı Modeli (Structural Model)

Çalışmada, (Zhang ve diğ., 2017b) tarafından analiz edilen modele benzer bir model kullanılmıştır.



Şekil 1. Çift yönlü ve tek yönlü analiz modelleri

Figure 1. Bilateral and unidirectional analysis models

Modellenen yapı ve çevresi Şekil 1'in solunda görülmektedir. Modelde 60 m boyunda dört adet beton kazık kullanılmıştır. Kazık çapı 2.00 m'dir. Kazıklar arası yatay uzaklık 6.00 m'dir. Kazıklar 30 m'de yatay elemanlar ile birbirlerine bağlanmışlardır. Beton bağlantı elemanlarının çapı 2.00 m'dir. Kazıklar, toplam kütlesi 2.25×10^4 kg olan üst yapıyı taşımaktadır. Modellemede kullanılan betonun birim hacim ağırlığı 2400 kg/m^3 , Elastisite modülü $3.4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ve Poisson oranı 0.20'dir.

Deniz Ortamı Modeli (Wave Environmental Model)

Şekil 1'de görülen ve mavi renk ile verilen, yüksekliği 50 m olan bölge deniz ortamıdır. Yapının bu bölgesine hidrodinamik dalga kuvvetleri etki etmektedir. Zamanla değişen dalga kuvvetlerinin hesaplanmasında etkin parametreler, dalga hızı (u) ve ivmesidir (\dot{u}). Bu parametreler, yapının bulunduğu su derinliği (d), dalga yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) ile tespit edilen dalga teorileri ile belirlenir. Bu çalışmada, $d=50$ m, $H=9$ m ve $T=9$ s verilerine bağlı olarak, deniz ortamı Stokes 5 dalga teorisi ile modellenmiştir. Dalga verilerine ve teorisine göre, dalga boyu (L_w) 130.5623 m'dir. Dalga boyunun elde edilmesinin ardından, Denklem (1)-(2) ile hız ve ivme değerleri elde edilir (Barltrop vd., 1991). Denklem (1), sonlu elemanlar programında giriş hızı sınır şartıdır. Denklem (1)-(2) iki serbestlik dereceli sistemde dış kuvvetlerin hesabında kullanılır.

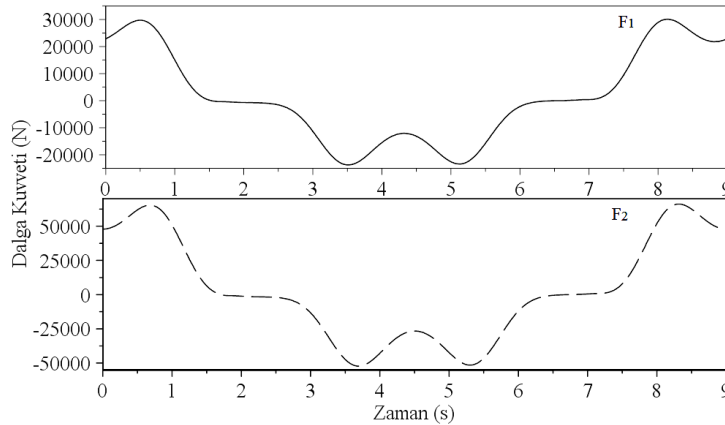
$$u = c \left(\sum_{n=1}^5 n \phi'_n \cosh \left(n \frac{2\pi}{L} (d+y) \right) \cos \left(n \left(\frac{2\pi}{L} y - \frac{2\pi}{T} t \right) \right) \right) \quad (1)$$

$$\dot{u} = \frac{2\pi}{T} c \left(\sum_{n=1}^5 n^2 \phi'_n \cosh \left(n \frac{2\pi}{L} (d+y) \right) \sin \left(n \left(\frac{2\pi}{L} y - \frac{2\pi}{T} t \right) \right) \right) \quad (2)$$

Denklemlerde kullanılan c dalga yayılma hızı, ϕ'_n dalga potansiyel katsayısı olarak (Dean ve Dalrymple, 1991) tarafından açıklanmıştır. Yapıya etki eden dalga kuvveti, Denklem (3) ile verilen sürüklenme ve atalet terimlerini içeren, Morrison denklemleri ile hesaplanır.

$$F = \int_{-d}^{\eta} \frac{1}{2} \rho C_D D u_{(y,t)} |u_{(y,t)}| dy + \int_{-d}^{\eta} \rho C_I \frac{\pi D^2}{4} \dot{u}_{(y,t)} dy \quad (3)$$

Denklemden, η serbest su yüzeyi yüksekliği, ρ tuzlu su yoğunluğu, C_D sürüklenme katsayısı, D çap, C_I atalet katsayısı olarak açıklanır. $C_D=0.7$ ve $C_I=2.0$ değerleri için, Denklem (3) ile hesaplanan dalga kuvvetleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Dalga kuvvetleri

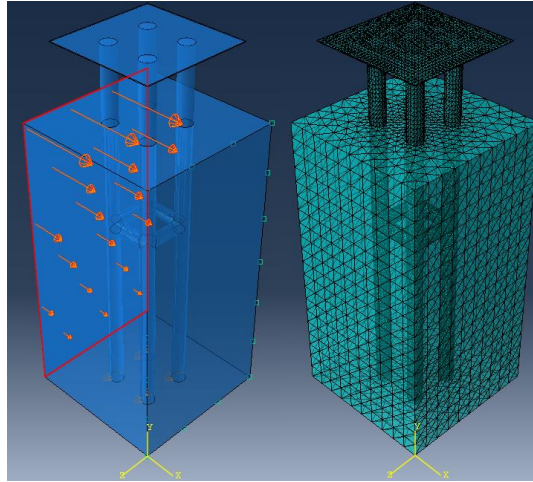
Figure 2. Wave forces

Yapı iki katlı olduğundan F₁ birinci kata, F₂ ikinci kata gelen toplam dalga kuvvetleridir ve etki noktaları Şekil 1’de görülmektedir. Böylece tek yönlü etkileşim analizinde kullanılacak zamanla değişen dalga kuvvetleri elde edilmiştir.

Akışkan-Yapı Etkileşim Analizleri (Fluid-Structure Interaction Analyses)

Çift yönlü akışkan-yapı etkileşim analizi (Bilateral fluid-structure interaction analysis)

Akışkan yapı etkileşiminin çift yönlü olabilmesi için akışkandan yapıya kuvvet, yapıdan da akışkana kuvvetlerin oluşturduğu deplasmanların aktarılması gerekmektedir. Yapıda meydana gelen deplasmanlar ve deformasyonlar, yapı etrafındaki akım çizgilerinde farklılaşmaya sebep olmaktadır. Akışkanda meydana gelen davranış değişimleri, yapıdaki davranışı da etkilemektedir. Karşılıklı etkileşimin ve değişimin göz önünde bulundurulduğu etkileşime, çift yönlü akışkan yapı etkileşimi denmektedir. Bu etkileşim, analiz boyunca karşılıklı veri alışverişi şeklinde devam etmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, altyapısı kazıklar ile modellenmiş açık deniz yapısının, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çift yönlü akışkan yapı etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Abaqus programı ile yapı ve akışkan modellenerek etkileşimler gerçekleştirilmiştir. Yapı Abaqus/Explicit çözücüsünde, temas ettiği akışkan ise Abaqus/CFD çözücüsünde analiz edilmiştir. İki farklı çözücünün kullanıldığı analizde etkileşim modülü kullanılarak, temas yüzeyleri üzerinden veri alışverişi analiz süresince sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan yapı ve çevresinin sonlu elemanlar modeli, önceki bölümde yer alan Şekil 1’de verilmiştir. Bu modele ait sınır şartları ve ağ yapısı ise, Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Sonlu elemanlar modeline ait sınır şartları ve ağ yapısı

Figure 3. Boundary conditions and mesh structure of the finite elements model

Sonlu elemanlar analiz programı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çözücüsünü kullanarak akışkandan yapıya aktarılacak kuvvetleri hesaplar. Program, hesaplamalarda sıkıştırılmayan akışkanlar için yazılan, Denklem (4)-(6) ile verilen Navier-Stokes denklemlerini kullanır.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

Denklemlerde; u, v ve w x, y, z doğrultularındaki hız bileşenleri, gx, gy ve gz ise aynı doğrultulardaki yer çekimi bileşenleridir. ρ, P ve μ sırasıyla yoğunluk, basınç ve dinamik viskozitedir. Çözücü, denklemlerde yer alan basınç değerlerini hesaplayarak yapıya aktarır. Böylece, akışkandan yapıya veri aktarımı sağlanır. Akışkan modelinde tuzlu su, EOS malzeme olarak modellenmiştir. Akışkan modelinde kullanılan sınır şartları ve malzeme özellikleri Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Akışkan sınır şartları ve malzeme özellikleri

Table 1. Boundary conditions and material properties of fluid

Sınır şartları		Malzeme özellikleri	
Giriş	u	Yoğunluk (kg/m ³)	1025
Çıkış	P=0	Dinamik viskozite (Ns/m ²)	1.5×10 ⁻³
Uzak yüzey	u	Sesin tuzlu sudaki hızı (m/s)	1560
Geçirimsiz taban	u=v=w=0	Sabitler	K=Γ ₀ =0

Tablo 1’de verilen giriş sınır şartı, Şekil 3’te oklar ile temsil edilmiştir. Girişin karşı yüzeyi, çıkış olarak tanımlanmıştır. Tabana oturan yüzey, geçirimsiz tanımlanmıştır. Diğer yüzeyler ise uzak yüzeylerdir. Yapının akışkanla temas yüzeylerinden, yapıya dış kuvvetler (P) aktarılır. Yapı modelinin analizinde kullanılan Explicit çözücüsünün kullandığı hareket denklemi, aşağıda verilmiştir.

$$m^{NJ} \ddot{X}^N |_t = (P^J - I^J) |_t \quad (7)$$

Denklem (7)’de; m^{NJ} kütleyi, \ddot{X}^N ivmeyi, t zamanı, P^J CFD çözücüsünden gelen dış kuvveti, I^J yapıda meydana gelen gerilmelerin oluşturduğu iç kuvveti temsil eder. Sonlu elemanlar programı, hareket denkleminin çözümlenmesinde Explicit çözücüsünün sistematiğini kullanarak, yapıdan akışkana aktarılan deplasmanları elde eder. Bu çalışmada, elde edilecek diğer yapısal çıktı doğal frekans değeridir. Sonlu elemanlar programı doğal frekansları hesaplarken Denklem (8)’i kullanır. Akışkan-yapı etkileşim analiziyle beraber modal analiz gerçekleştirilerek, yapının doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programı, Lanczos Metodu’nu Denklem (8)’e uygulayarak doğal frekans (ω) değerlerini hesaplar. (Reddy, 2004). Denklemden k ve m matrisleri sırasıyla rijitlik ve kütle matrisleridir.

$$[k] \{X\} - \omega^2 [m] \{X\} = 0 \quad (8)$$

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan nokta ve eleman sayılarının, sonuçları etkilediği bilinmektedir. Bunun için, farklı nokta ve eleman sayıları için çözümlenmeler gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılır. Bu yapılan işleme hassaslık analizi denir. Bu çalışmada hassaslık analizi, doğal frekans değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Artan nokta sayısına karşılık gelen doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Frekans değerlerinin değişmediği nokta sayısı, ideal nokta sayısıdır. Çizelge 2’de, değişen nokta ve eleman sayılarına karşılık gelen doğal frekans değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Hassaslık analizi ile elde edilen sonuçlar

Table 2. Obtained results by sensitivity analysis

Noktalar arası uzaklık (m)	Nokta sayısı	Eleman sayısı	Doğal frekans (rad/s)
0.25	405997	387873	2.1823
0.20	670988	440146	3.3634
0.15	1405673	942543	4.3442
0.10	2450504	1387979	4.3919

Tablo 2’de verilen sonuçlara göre, noktalar arası uzaklık 0.15’ten, 0.10’a azalırken nokta ve eleman sayılarında belirgin bir artış olmuştur. Ancak, çıktı olarak elde edilen doğal frekans değerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu çalışmada noktalar arası uzaklık 0.15 m seçilerek, çift yönlü analiz gerçekleştirilmiştir. Belirlenen eleman boyutları için, yapı modelinde 1405673 nokta ve 942543 eleman kullanılmıştır. Akışkan modeli için ise, temas noktalarında yapı ile aynı nokta uzaklığı 0.15 m, diğer kısımlarında ise uzaklık 0.75 m olarak belirlenmiştir. Akışkan modeli bu boyutlardaki, 714998 nokta ve 379935 elemandan oluşmuştur. Yapı modelinde C3D10M tipinde, akışkan modelinde ise FC3D4 tipinde etkileşime uygun elemanlar kullanılmıştır. Belirlenen nokta, eleman sayısı ve tipine ait analiz çıktılarına, sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.

Tek yönlü akışkan-yapı etkileşim analizi (Unidirectional fluid structure interaction analysis)

Çalışmada çift yönlü analiz ile tek yönlü analiz eş zamanlı olarak sürdürülmüştür. Çift yönlü analizde yapı ve akışkan için üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri kullanılırken, tek yönlü analizde yapı iki katlı, iki serbestlik dereceli çerçeve sisteme indirgenmiştir. Bu analizde akışkan modeline yer verilmeden, sadece yapıya uyguladığı kuvvetler çerçeve sisteme etki ettirilir. Kullanılan model ve kuvvetlerin etki noktaları Şekil 1’de görülmektedir. Katlardaki toplam kütleler, buldukları katlara toplanmış kütle olarak yerleştirilmiştir. İki serbestlik dereceli, çerçeve sistemin dalga kuvvetleri etkisi altındaki analizinde, Denklem (9)’ da verilen bağıntı kullanılır.

$$m\ddot{X} + kX = F \tag{9}$$

Bu denkleme, koordinat dönüşümü yapılarak Denklem (11) elde edilir. Bu denklem, tek yönlü analizin çözümlemesinde kullanılacak hareket denklemdir ve çözümleme ile deplasmanlar elde edilir. Denklem (10) ile verilen koordinat dönüşümü, modal matris $[\phi]$ kullanılarak yapılır.

$$\{X\} = [\phi] \{\xi\} \tag{10}$$

$$[\phi]^T [m][\phi] \{\ddot{\xi}\} + [\phi]^T [k][\phi] \{\xi\} = [\phi]^T \{F\} \tag{11}$$

Hareket denkleminde başlangıç şartı olarak, Denklem (12) kullanılır (Barltrop ve Adams, 1991).

$$\xi_{10} = \xi_{z0} = \dot{\xi}_{10} = \dot{\xi}_{z0} = 0 \tag{12}$$

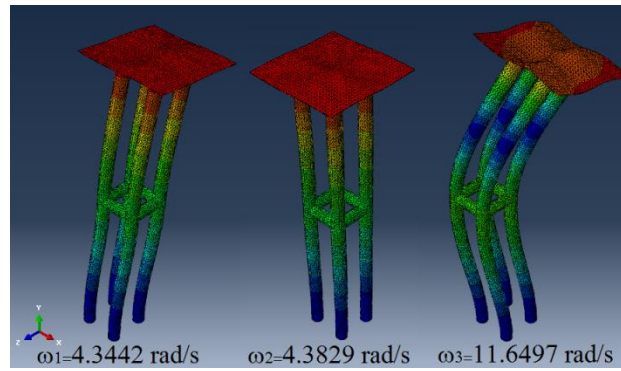
Deplasmanların hesaplanmasının ardından doğal frekanslar (ω) Denklem (13) ile hesaplanır.

$$[k] - \omega^2 [m] = 0 \tag{13}$$

Kütle ve rijitlik matrislerinin oluşturulmasında kullanılan birinci kat kütlesi $m_1=1.04 \times 10^6$ kg, rijitliği $k_1=4.76 \times 10^5$ N/m, ikinci kat kütlesi ve rijitliği ise sırasıyla, $m_2=9.00 \times 10^5$ kg, $k_2=2.83 \times 10^5$ N/m olarak hesaplanmıştır. Ardından, hareket denklemi başlangıç şartları ile çözümlenerek noktasal deplasmanlar elde edilir. Tek yönlü ve çift yönlü akışkan-yapı etkileşim analizlerinden elde edilen deplasman ve doğal frekans çıktıları, bir sonraki bölümde yer almaktadır.

ANALİZ SONUÇLARI (ANALYSIS RESULTS)

Çift yönlü ve tek yönlü analizler, bir dalga periyodu süresi için (9 s), $\Delta t=0.01$ s zaman adımıyla tamamlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinin ağ yapısını oluşturmak için gerçekleştirilen hassaslık analizi, modal davranış üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ilk üç mod şekli ve ilgili doğal frekans değerleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Yapının mod şekilleri ve ilgili doğal frekansları
Figure 4. Mode shapes and corresponding natural frequencies of the structure

Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen doğal frekans değerleri, eş zamanlı olarak Denklem (13) kullanılarak bulunur. İki serbestlik dereceli sistemin birinci doğal frekansı 3.8753 rad/s, ikinci doğal frekansı ise 3.8937 rad/s olarak hesaplanmıştır. Mod şekillerine ait doğal frekans değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

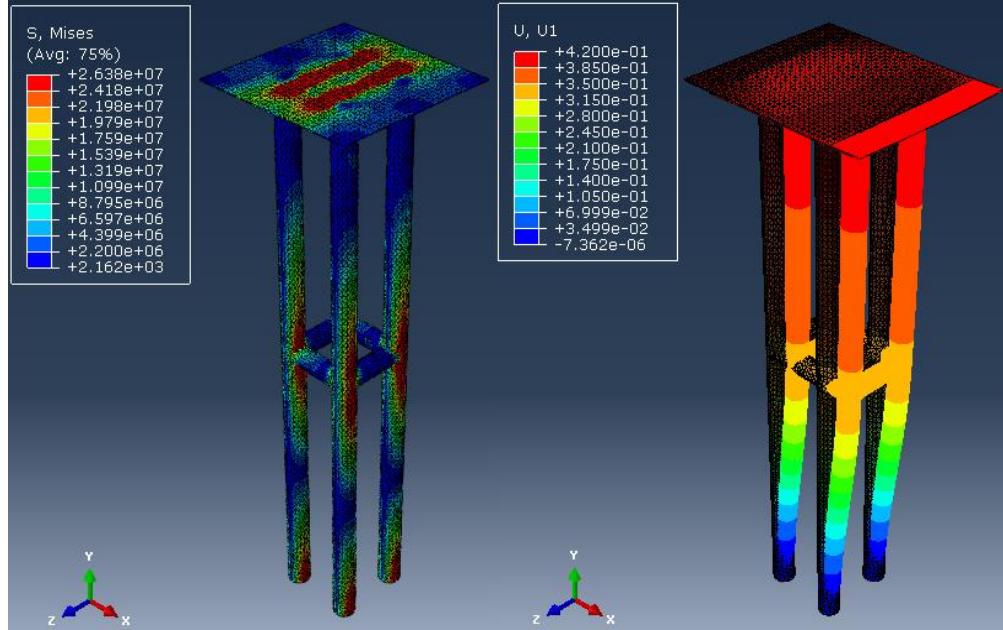
Çizelge 3. Doğal frekans ve deplasman değerleri

Table 3. Natural frequency and displacement values

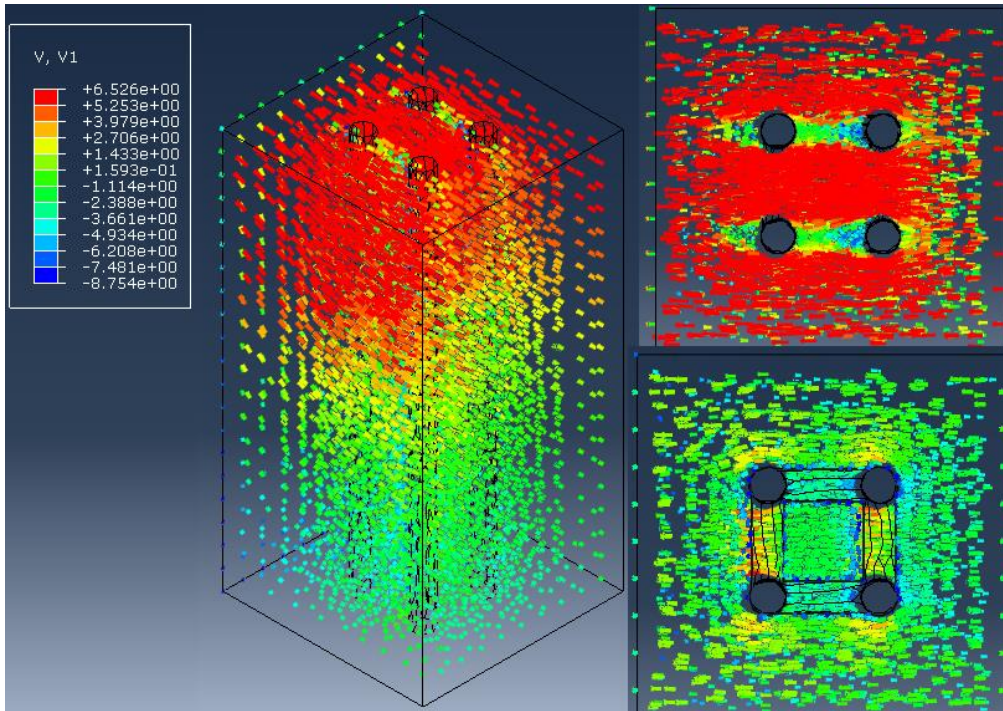
Analizler	Doğal frekans (rad/s)		Maksimum deplasman (m)	
	ω_1	ω_2	X_1	X_2
Nümerik	4.3442	4.3829	0.2849	0.4292
Yarı analitik	3.8753	3.8937	0.2619	0.3878

İki katlı çerçeve sistem olarak modellenen yapının, Denklem (11) ile verilen hareket denkleminin Runge-Kutta metodu ile yarı analitik çözümüyle bulunan maksimum deplasmanlar, yukarıda sunulmuştur. İlk kattaki maksimum deplasman değeri $X_1=0.2619$ m, ikinci kattaki maksimum deplasman değeri ise $X_2=0.3878$ m olarak elde edilmiştir. Tabloda çift yönlü (nümerik) analize ait deplasman değerleri de verilmiştir. Sonlu elemanlar modeli üzerindeki deplasman ve gerilme dağılımı Şekil 5'te sunulmuştur.

Yapı çevresindeki akım hız vektörleri Şekil 6'da görülmektedir. Yapı çevresindeki bu akım, Stokes 5 dalga teorisine ait hız profilinin, sonlu elemanlar analiz programına tanıtılması ile elde edilmiştir. Şekil 6'nın solunda üç boyutlu akım modeli görülmektedir. Şeklin sağ üstünde dalga su yüzündeki akım vektörleri, sağ altında ise kat birleşimindeki akım vektörleri görülmektedir.



Şekil 5. Modelin gerilme ve deplasman dağılımı
 Figure 5. Stress and displacement distribution of the model



Şekil 6. Yapı çevresindeki akım vektörleri
 Figure 6. Velocity vectors around the structure

TARTIŞMA VE ÖNERİLER (DISCUSSION AND SUGGESTIONS)

Akışkan-yapı etkileşimi modellemesinde en sık kullanılan yöntem, tek yönlü akışkan-yapı etkileşim modelidir. Bu yöntemin yanında, çift yönlü etkileşim modeli de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bu iki yöntem bir açık deniz yapısına uygulanarak, yapının davranışı incelenmiştir. Tek yönlü etkileşim modelinde, yapı modeli ya da hareket denklemi oluşturularak analiz gerçekleştirilir. Akışkan modeli oluşturulmadan, sadece yapıya etki eden akışkan kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler, yapı modeline ya da hareket denklemine dış kuvvet olarak aktarılır. Sadece akışkandan yapıya kuvvet aktarımı sağlanır. Ancak bilinmektedir ki, hareket sırasında yapıda oluşan deplasmanlar, akış yapısında değişimlere yol açar. Tek yönlü analizde bu durum göz ardı edilir.

Alt yapısı dört adet kazıktan oluşan açık deniz yapısı modellenmiştir. Analizlerde ilk olarak çift yönlü akışkan-yapı etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, Abaqus sonlu elemanlar analiz programı kullanılmıştır. Çift yönlü akışkan yapı etkileşiminde Stokes 5 dalga teorisine ait hız profili sonlu elemanlar programına aktarılmıştır. Deniz ortamı Abaqus/CFD çözücüsünde modellenirken, platform Abaqus/Explicit çözücüsünde modellenmiştir. Akışkan-yapı temas yüzeyleri ile iki çözücünün etkileşimi sağlanmıştır. Analiz sonuçlarında doğal frekans, deplasman ve gerilme değerleri ile mod şekilleri elde edilmiştir. Doğal frekans ve deplasman değerleri, tek yönlü etkileşim analizi ile de elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çift yönlü etkileşim analizinde, uygun ağ yapısının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle hassaslık analizleri yapılır. Değişen nokta ve eleman sayıları için belirlenen bir çıktının sonuçları değerlendirilir. Artan nokta ve eleman sayılarına karşı sonuçlardaki yakınsama, analiz için gerekli uygun nokta ve eleman sayısını verir. Bu çalışmada, hassaslık analizi modal davranış üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de sunulan, farklı nokta ve eleman sayısına karşılık gelen doğal frekans değerleri yardımıyla, uygun nokta ve eleman sayısı elde edilmiştir. Noktalar arası uzaklığın 0.15 m’den aşağı düştüğü durumda doğal frekans değerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu nedenle noktalar arası uzaklık 0.15 m seçilerek analizler sürdürülmüştür.

Modelin ağ yapısı belirlendikten sonra, ilk modun yanında, ikinci ve üçüncü modlar ile ilgili doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Yapının modal davranışı Şekil 4’te görülmektedir. İlgili mod şekillerine ait doğal frekans değerleri, her iki analiz için elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 3’te sunulmuştur. İki analiz tipi için elde edilen doğal frekans değerlerinin 11.76 % ile 12.56 % arasında farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3’te doğal frekans değerlerinin yanında, dalga kuvvetleri etkisindeki yapının deplasman değerleri de verilmiştir. Birinci katta analizlerden elde edilen deplasman değerleri arasındaki fark 8.78 % iken, ikinci katta bu fark 10.67 %’ye yükselmiştir. Şekil 5’in sağında, yapıda meydana gelen deplasman dağılımı yer almaktadır. Maksimum deplasman değerine, yapının son katında ulaşılmıştır. Analizler arasında doğal frekansın ve deplasmanların uyumu gözlemlendikten sonra Şekil 5’te görülen, yapı üzerindeki gerilme dağılımı elde edilmiştir. Bu gerilme değerleri Von-Mises kriterine göre elde edilmiştir. Gerilme dağılımından görüldüğü gibi, bu değerler mesnetlerde maksimum değeri olan 2.638×10^7 N/m²’ye ulaşmıştır. Ayrıca, kat birleşimlerinde ve platform kazık birleşimlerinde gerilme değerleri artış göstermiştir.

Çift yönlü analiz ile yapı etrafındaki dalga hız vektörleri elde edilmiştir. Hız vektörleri Şekil 6’da görülmektedir. Çift yönlü analiz, yapısal çıktıların yanında, akışkan çıktıların da elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Yapısal davranış üzerinde en belirgin etkiye sahip akışkan çıktısı olan hız değerleri elde edilmiştir. Dalga hızı, su yüzeyinde maksimum değeri olan 6.526 m/s’ ye ulaşmıştır. Deniz ortamı modellemesinde Stokes 5 dalga teorisi kullanılmıştır. Yapının konumlandığı bölgeye en uygun olan dalga teorisi seçilerek, hassas bir analiz gerçekleştirilmiştir. Belirlenen teori yerine, Lineer dalga teorisinin kullanılmasıyla doğrusal olmayan davranış ihmal edilmiş olacaktır. Aynı şekilde, Cnoidal dalga teorisinin kullanılmasıyla da çözümü zorlaştıracak eliptik integralli ifadeler kullanılmış olacaktır. Bu durumların önüne geçilerek, yapı için en uygun dalga teorisine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, tek yönlü analiz ile çift yönlü analiz arasındaki ilişki elde edilmiştir. Uygun sonlu eleman boyutu ve doğru tespit edilen dış kuvvetler altında, iki farklı analiz tipinin uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

SEMBOLLER

C_D	Sürüklenme Katsayısı
C_M	Atalet Katsayısı
c_0	Sesin sudaki hızı
D	Çap
d	Su derinliği
E	Elastisite Modülü
F	Kuvvet
g	Yerçekimi
H	Dalga Yüksekliği
I	İç Kuvvet
k	Rijitlik
L_w	Dalga Boyu
m	Kütle
p	Basınç
T	Dalga Periyodu
t	Zaman
u	x yönündeki akım hız bileşeni
v	y yönündeki akım hız bileşeni
w	z yönündeki akım hız bileşeni
X	Yapı deplasmanı
\dot{X}	Yapı hızı
\ddot{X}	Yapı ivmesi
Γ_0	Grüneisen oranı
κ	U_s-U_p eğrisinin eğimi
ν	Poisson oranı
ω	Doğal frekans
ρ	Akışkan yoğunluğu

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abaqus User's Manual, Version 6.10, SIMULIA, Dassault Systèmes Simulia Corp., 2010.
- Barltrop, N.D.P., Adams, A.J., 1991, *Dynamics of Fixed Marine Structures*, Butterworth-Heinemann, England.
- Dean, R.G., Dalrymple, R.A., 1991, *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific Publishing Company, England.
- Farrugia, R., Sant, T., Micallef, D., 2014, "Investigating the Aerodynamic Performance of a Model Offshore Floating Wind Turbine", *Renewable Energy*, Vol. 70, pp. 24-30.
- Fernandez, R.P., Pardo, M.L., 2013, "Offshore Concrete Structures", *Ocean Engineering*, Vol. 58, pp. 304-316.
- Froehle, B., Persson P.O., 2014, "A High-Order Discontinuous Galerkin Method for fluid-Structure Interaction with Efficient Implicit-Explicit Time Stepping", *Journal of Computational Physics*, Vol. 272, pp. 455-470.

- Gücüyen, E., Erdem, R.T., 2014, "Corrosion Effects on Structural Behaviour, of Jacket Type Offshore Structures", *Gradevinar*, Vol. 66, No. 11, pp. 981-986.
- Gücüyen, E., Erdem, R.T., 2016, "Açık Deniz Uzay Kafes Sistemin Çevresel Yükler Altında Akışkan-Yapı Etkileşimli Analizi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı 3, pp. 433-444.
- Haldar, S., Sharma, J., Basu, D., 2018, "Probabilistic Analysis of Monopile-Supported Offshore Wind Turbine in Clay", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 105, pp. 171-183.
- Hall, M., Buckham, B., Crawford, C., 2014, "Hydrodynamics-Based Floating Wind Turbine Support Platform Optimization: A Basis Function Approach", *Renewable Energy*, Vol. 66, pp. 559-569.
- Hartnett, M., Mitchell, P., 2000, "An Analysis of the Effects of the Leg-Spacing on Spectral Response of Offshore Structures", *Advances in Engineering Software*, Vol. 31, pp. 991-998.
- Lamas-Pardo, M., Iglesias, G., Carral, L., 2015, "A Review of Very Large Floating Structures (VLFS) for Coastal and Offshore Uses", *Ocean Engineering*, Vol. 109, pp. 677-690.
- Li, M., Zhang, H., Guan, H., 2011, "Study of Offshore Monopile Behaviour due to Ocean Waves" *Ocean Engineering*, Vol. 38, No. 17-18, pp. 1946-1956.
- Li, W., Huang, Y., Tian, Y., 2017, "Experimental Study of the Ice Loads on Multi-Piled Oil Piers in Bohai Sea", *Marine Structures*, Vol. 56, pp. 1-23.
- Park, Y., Kim, K., 2013, "Semi-Active Vibration Control of Space Truss Structures By Friction Damper For Maximization of Modal Damping Ratio", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 332, pp. 4817-4828.
- Reddy, J.N., 2004, *An Introduction to the Finite Element Analysis*, Oxford University Press, USA.
- Shi, W., Han, J., Kim, C., Lee, D., Shin, H., Park, H., 2015, "Feasibility Study of Offshore Wind Turbine Substructures for Southwest Offshore Wind Farm Project in Korea", *Renewable Energy*, Vol. 74, pp. 406-413.
- Wang, X., Yang, X., Zeng, X., 2017, "Seismic Centrifuge Modelling of Suction Bucket Foundation for Offshore Wind Turbine", *Renewable Energy*, Vol. 114, pp. 1013-1022.
- Yan, H.K., Wang, N., Wu, N., Lin, W., 2018, "Maritime Construction Site Selection from the Perspective of Ecological Protection: the Relationship Between the Dalian Offshore Airport and Spotted Seals (*Phoca largha*) in China Based on the Noise Pollution", *Ocean and Coastal Management*, Vol. pp. 152, 145-153.
- Yee, A.A., 2007, *Precast and Prestressed Concrete*, McGraw-Hill, New York.
- Zhang, Q., Zhou, X.L., Wang, J.H., 2017a, "Numerical Investigation of Local Scour Around Three Adjacent Piles with Different Arrangements under Current", *Ocean Engineering*, Vol. 142, pp. 625-638.
- Zhang, Q., Zhou X.L., Wang, J.H., Guo, J.J., 2017b, "Wave-Induced Seabed Response around an Offshore Pile Foundation Platform", *Ocean Engineering*, Vol. 130, pp. 567-582.