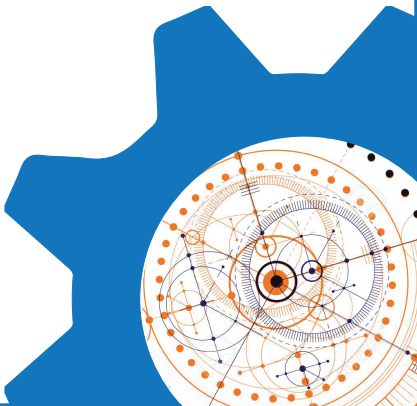


GAZI
JOURNAL OF
ENGINEERING
SCIENCES



EDİTÖR / EDITOR - IN – CHIEF

İsmail ŞAHİN

Gazi University, Ankara, Turkey
e-mail: editorgjes@gmail.com

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Harun GÖKÇE

TÜBİTAK
e-mail: harungokce@yahoo.ca

Murat DÖRTERLER

Gazi University
e-mail: murat@4erler.net

Cemal YILMAZ

Gazi Üniversitesi
e-mail: cemal@gazi.edu.tr

EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

Alper BÜYÜKKARAGÖZ

Gazi University
e-mail: karagoz@gazi.edu.tr

Halil KARAKOÇ

Hacettepe University
e-mail: halil.karakoc@hacettepe.edu.tr

M. Hanefi CALP

Karadeniz Teknik University
e-mail: hcalp25@hotmail.com

Mustafa GÜNAY

Karabük University
e-mail: mgunay@karabuk.edu.tr

Tayfun MENLİK

Gazi University
e-mail: tmelik@gazi.edu.tr

YAYIN DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Adnan SÖZEN

Gazi University, Turkey

Herbert M. REYNOLDS

Michigan State University, ABD

Bekir Sami YILBAŞ

King Fahd University, Sudia Arabia

Hossam KISHAWY

University of Ontario Technology, Canada

Farzollah MIRZAPOUR

University of Zanjan, Iran

Mustafa KURT

Gazi University, Turkey

John KINUTHIA

University of South Wales, England

Tahsin Tecelli ÖPÖZ

John Moores University, England

Majid MEGHDADI

University of Zanjan, Iran

Kürşad SEZER

Gazi University, Turkey

Salman NISAR

National University of Sci. and Tech., Pakistan

Reza Negarastani

RIETEX, England

Jamal KHATIB

University of Wolverhampton, England

Nowruz ALLAHVERDİ

Karatay University, Türkiye

Shahin JALILI
TebriZ University, Iran

Andrew PINKERTON
Lancaster University, İngiltere

Yasir JOYA
GIK Institute, Pakistan

Şakir TAŞDEMİR
Selçuk University, Turkey

DİL EDİTORLERİ / LANGUAGE EDITORS

Türkçe/Turkish: V. Savaş YELOK (Hacı Bayram Veli University)
İngilizce/English: H. Kürşad SEZER (Gazi University)

TEKNİK SORUMLU / TECHNICAL RESPONSIBLE

Neslihan TOP
Gazi University, Ankara, Turkey
e-mail: editorgjes@gmail.com

BU SAYININ HAKEMLERİ / REVIEWER OF THIS ISSUE

Murat DÖRTERLER	Adem TEKEREK (2)
Gürcan ÇETİN	Sinan AKISKA
Özer TAGA	Kenan TOKLU
Murat ŞAHİN	Gökhan DURMUŞ (2)
Hayri YAMAN,	Erdem DOĞAN
Hüseyin Kürşat SEZER	Ali GUNERİ
Harun GÖKÇE	Ozalp VAYVAY
Nursel ALTAN ÖZBEK	Ali Hakan ışık
M. Hanefi CALP	Ümit Atila

Gazi Journal of Engineering Sciences has been published three issues per year by Gazi Publishing

CORRESPONDENCE ADDRESS :

Gazi Akademik Yayıncılık
Mebusevleri Mah. Önder Cad. 14/6 Çankaya – Ankara / TURKEY
Tel: +90-312-9113311 Fax: +90-312-9113312
e-mail: editorgjes@gmail.com

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

<i>Pilot Yakıt Olarak Dizel/n-Heptan, Dizel/Toluen Kullanan Dizel Bir Motorda CNG İlavesinin Etkileri</i> <i>Effects of CNG addition in a diesel engine using diesel/n-heptane, diesel/toluene as pilot fuel</i>	
Salih ÖZER, Erdinç VURAL	1-15
<i>Ortalama Hız Tespit Sistemlerinin Doğrulama Metodolojisi</i> <i>A Verification Methodology for Average Speed Detection</i>	
Banihan GÜNAY, Kadir AKGÖL	16-31
<i>Sıradan Sıraya LSTM Modeli ile Telegram Bot Uygulaması</i> <i>Telegram Bot Application with Sequence to Sequence LSTM Model</i>	
Ali Hakan IŞIK, Ayşenur YAĞCI	32-39
<i>Bir Kanatçık Tahrik Sistemi Yapısal Özelliklerinin Sistem Performansına Etkilerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi</i> <i>Experimental and Numerical Investigation on the Effect of the Structural Characteristics of a Fin Actuation System on System Performance</i>	
Murat KELEŞ, Cengiz BAYKASOĞLU	40-53
<i>Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Yükseklik Modellemesi (Samsun-Mert Irmağı Havzası Örneği)</i> <i>Height Modeling with Artificial Neural Networks (Samsun-Mert River Basin)</i>	
Vahdettin DEMİR, Aslı ÜLKE KESKİN	54-61
<i>Araç Lastiklerinin Sirt Desen Tasarımında Üç Boyutlu Baskı Teknolojilerinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma</i> <i>An Experimental Study on Examination of the Usability of Three Dimensional Printing Technologies in Tread Pattern Design of Vehicle Tires</i>	
Derviş EROL, Battal DOĞAN, Mustafa BOZDEMİR	62-69
<i>Veri Madenciliği Birliktelik Kuralları ile Binaların Risk Durumlarının Analizi: Kaynaşlı, Düzce Örneği</i> <i>Analysis of Risk Situations of Buildings with Data Mining Association Rules: Kaynaşlı, Düzce Example</i>	
Levent SABAH, Hüseyin BAYRAKTAR	70-78
<i>Mühendislik Yönetiminde Çevik Ölçeklendirmenin Önemi Ve Oecd Ülkelerinde Yüksek Teknoloji İhracatına Olan Katkısına Yönelik Bir Çalışma</i> <i>A Study On The Importance Of Agile Scalability In Engineering Management And Its Effect On High-Tech Exports In OECD</i>	
Akif ONUR, İsmail EKMEKÇİ	79-94

Pilot Yakıt Olarak Dizel/n-Heptan, Dizel/Toluen Kullanan Dizel Bir Motorda CNG İlavesinin Etkileri

Salih ÖZER^{*,a}, Erdiñç VURAL^b

^{a,*} Muş Alparslan Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-6968-8734, MUŞ 49100, TÜRKİYE

^b Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mülkiyet ve Koruma Bölümü, ORCID: 0000-0002-8018-2064, AYDIN 090100, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 20.02.2020
Kabul: 21.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Dizel motor, CNG, n-heptan, toluen, motor performansı, egzoz emisyonu

^{*}Sorumlu Yazar:

e-posta:
s.ozer@alparslan.edu.t

r

ÖZET

Dünyada var olan emisyon kısıtlamaları nedeniyle dizel motorlarının üretim süreçleri sekteye uğramıştır. Çünkü dizel motorlarının diğer motor çeşitlerine göre çevreyi daha çok kirlettiği yapılan çalışmalar ile ispatlanmıştır. Bu nedenle dizel motorlarının emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmaların başında ise alternatif yakıtların kullanımı gelmektedir. Bu alternatif yakıtlardan ticari olarak kullanılabilen en önemli yakıtlar gaz yakıtlarıdır. Gaz yakıtları içerisinde ise sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) önemli bir yere sahiptir. Dizel motorlarında CNG kullanımında bazı kısıtlamaların olduğu bilinen bir gerçektir. Bu çalışma hem çevreci hem de ekonomik bir yakıt olan CNG'nin dizel motorlarında kullanımındaki olumsuzlukların ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla pilot yakıt olarak kullanılan dizel yakıtına hacimce %2,5, %5 ve %10 oranında toluen ve n-heptan ilave edilerek her bir pilot yakıt karışımına da tüketilen sıvı yakıtın %20 ve %40 oranına denk CNG emme manifoldundan verilmiştir. Tüm yakıt karışımları ile motor deneyleri 1 kW, 2 kW, 3 kW ve 4 kW motor yüklerinde 3000 d/dak motor hızında tekrarlanmıştır. N-heptan katkılı pilot yakıtta CNG ilavesi ile birlikte fren özgül yakıt tüketiminde ve egzoz gazı sıcaklığında artış görülürken toluenli yakıt karışımı ile yakıt tüketiminde artış, egzoz gazı sıcaklığında ise azalma görülmüştür. Bunun yanında CNG ilavesi ile birlikte hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarında artış azotoksitler (NOx) ve is emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. n-heptan katkılı yakıtta CNG ilavesi ile birlikte tüm motor emisyon değerlerinde iyileşmenin olduğu görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.01>

Effects of CNG addition in a diesel engine using diesel/n-heptane, diesel/toluene as pilot fuel

ARTICLE INFO

Received: 20.02.2020
Accepted: 21.04.2020

Keywords:

Diesel engine, CNG, n-heptane, toluene, engine performance, exhaust emissions

^{*}Corresponding

Authors

e-mail:
s.ozer@alparslan.edu.tr

ABSTRACT

The production processes of diesel engines have been interrupted due to the emissions restrictions that exist in the world. Because diesel engines have been proven to pollute the environment more than other types of engines. Therefore, efforts to reduce the emissions of diesel engines have gained momentum. At the beginning of these studies is the use of alternative fuels. Of these alternative fuels, the most important commercially available fuels are gas fuels. In gas fuels, liquefied petroleum gas (LPG) and compressed natural gas CNG have an important place. It is a known fact that there are some restrictions on the use of CNG in diesel engines. This study aimed to eliminate the negative effects of CNG, which is both an environmental and economical fuel, on the use of diesel engines. For this purpose, toluene and n-heptane were added to the diesel fuel used as pilot fuel by 2.5%, 5% and 10% by volume and given to each pilot fuel mixture from the CNG intake manifold equivalent to 20% and 40% of the liquid fuel consumed. Engine experiments with all fuel mixtures were repeated at 3000 rpm with 1 kW, 2 kW, 3 kW and 4 kW engine loads. With the addition of CNG to the N-heptane-doped pilot fuel, the brake specific fuel consumption and exhaust gas temperature increased, while the toluene fuel mixture increased fuel consumption and

the exhaust gas temperature decreased. In addition, increase in hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) emissions along with CNG addition were found to decrease in azotoxits (NO_x) and soot emissions. with the addition of CNG to n-heptan added fuel, it was observed that there was an improvement in all engine emission values

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.01>

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hava kirliliği, çevreye ve insanlara zarar veren etkenlerin başında kabul edilmektedir. Bu nedenle çevre kirliliğine neden olan etmenlerin azaltılması ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artış göstermektedir. Hatta ülkeler bazında antlaşmalar yapılmakta ve bu kirliliği sınırlandıracak kurallar ve kısıtlamalar üzerinde durulmaktadır [1]. Çağımızda şehirlerde hava kirliliğine neden olan en önemli kaynakların başında motorlu araçlar gelmektedir. Bu nedenle motorlu araçlara getirilen emisyon kısıtlamaları her geçen gün daha da zorlaştırılmaktadır. Fakat halen motor üreticileri klasik yakıtlarla (benzin, mazot, LPG) çalışan motorların üretimine ise devam etmektedir. Çünkü hali hazırda geliştirilmiş üretim yöntemleri ve standartlaşmış üretim teknikleri ile motor ve bu sektöre bağlı motorlu araçların üretimi devam etmektedir. Tüm bunlar yaşanırken insanlık bir çıkmaza girmektedir. Bir yanda içten yanmalı motorların çevre kirliliği yaydığı ve bazı sınırlandırmalara rağmen istenilen aşamaya gelemediği bilinmekte diğer tarafta ise insanoğlunun bu motorları birçok yerde kullanmasının zorunluluk haline geldiği aşikârdır. Özellikle dizel motorlardaki emisyonların bazı parametrelerinin sınırlandırılmaması nedeniyle birçok firma dizel motor üretiminden en azından binek taşıt araçları için vazgeçmeye başlamaktadır. Fakat üretimin durdurulmasının bir çözüm olmadığı bunun yerine benzer ve alternatif arayışların olduğu da bilinmektedir. Burada hali hazırda yapılacak çalışmaların başında dizel motorlarının emisyonlarının azaltılması gelmelidir. Günümüz şartlarında ise emisyonları azaltmanın en kolay yolu alternatif yakıtların kullanımı ile gerçekleşebilir. Bu nedenle yapılması gereken en önemli faaliyet bu motorların rektifiye edilmesi ve alternatif yakıtların kullanılarak hem çevreci hem ekonomik olmasının sağlanmasıdır.

Son yıllarda dizel motorlarındaki emisyonların azaltılması ile ilgili olarak gaz yakıtlarla ilgili yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Özellikle doğalgaz [2-4] ve türevleri ile hidrojenin [5-7] gelecekte önemli bir alternatif yakıt olacağı üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Ayrıca içten yanmalı motorlarda (İYM) biyokütle ile ilgili (biyodizel, alkol) çalışmalarında

arttığı bir gerçektir [8-9]. Dizel yakıtına alternatif olarak sunulan yakıtlardan biyodizel ve gaz yakıtlar ticari olarak da pazarlanabilir aşamalara gelmiştir. Bunların arasında LPG ve türevleri ise dünya üzerinde ticari olarak yaygın bir satış ağına sahip olan gaz yakıt türüdür. Birçok firmanın benzinli araçlarda LPG kullanımını sağlayan sistemleri ticari olarak satışa sunuyor olmasında LPG'nin yaygınlaşmasında önemli bir aşamadır. Hatta bazı firmaların (Audi, Fiat, Mercedes, Opel, Seat, Skoda, Volkswagen, Temsa, Honda, Iveco, Man, Renault, Scania, Solaris vs.) artık sıfır araçlarını bile fabrikadan LPG montajlı satışı LPG ve türevlerinin geldiği ticari boyutu göstermektedir [10]. Benzinli motora sahip araçlarda LPG ve türevleri ekstra bir ilave gerektirmeden çalışabilmektedir. Buji ile ateşlenen LPG silindir içerisinde tutuşmakta ve yanma gerçekleşmektedir. Fakat bu durum dizel araçlarda biraz farklıdır. Bilindiği gibi dizel motorlarında sıkıştırılan havanın üzerine püskürtülen dizel yakıtı ile yanma gerçekleşmektedir. Bu nedenle %100 gaz yakıtların motor üzerinde bir değişiklik yapılmadan kullanılmasının bazı olumsuzlukları mevcuttur. Bu tür gaz yakıtlarının (LPG, CNG, LNG ve hidrojen) dizel araçlarında düzenlemeler yapılmadan kullanılmasında bazı sınırlandırmalar mevcuttur. Son yıllarda ise bu sınırlandırmalara yönelik yapılan araştırmalar hız kazanmaktadır.

Motorlu araçlarda gaz yakıtlar arasında en yaygın kullanılanı her ne kadar LPG ise de son yıllarda LPG'nin bir türü de olan CNG'de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu gaz türü sıkıştırılmış doğalgaz ismi ile anılmaktadır. 200 – 250 bar basınç aralığında depolanma kabiliyetine sahip olan bu gaz türü ısıtma, otomotiv ve ulaşım sektöründe yaygınca kullanılmaktadır. Son dönemlerde birçok araç üreticisi firma bu konu üzerinde çalışmalarına hız vermiştir. Genel olarak “doğalgaz yakıtlı motor” üretimi üzerindeki çalışmaların 2025 yılında sonuçlandırılacağı ve ticari olarak artık doğalgazlı motorların hayatımıza gireceği düşünülmektedir. Bunun içinde CNG dağıtım istasyonlarının sayısının artırılması için firmalar teşvik edilmektedir. Dünya her ne kadar elektrikli araç üretimine odaklanmış olsa da büyük iş makineleri başta olmak üzere kamyonlar ve otobüsler gibi güç ve tork isteyen araçlarda dizel

motor kullanımı zorunludur. Bunun içinde dizel motorlarının olumsuzluklarını azaltacak olan CNG kullanımı önemli bir yere sahiptir. Çünkü bu tür motorlara sahip taşıtlarda CNG hem çevreci hem de ekonomik boyutu ile teşvik edici bir yere sahiptir [11-12].

Senthilraja et al., [13] tek silindirli dört zamanlı bir motorda pamuk yağı biyodizeli etanol karışımına doğalgaz ilavesinin performans ve emisyonlar açısından etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada CNG'yi emme manifoldundan hava ile birlikte motora ilave etmişlerdir. Elde ettikleri bulgular biyodizel etanol karışımı ile kullanılan bir motorda CNG ilavesinin NO_x ve CO₂ emisyonlarında azalmaya, CO ve HC emisyonlarının ise artışına neden olmuştur.

Zhang et al., [14] son yıllarda deniz taşımacılığında kullanılan gemilerin motorlarında kullanılan sıvılaştırılmış doğalgazın (LNG) çevreye bıraktığı etkileri incelemişlerdir. Bu amaçla bu tip motorlardaki en önemli emisyon olarak görülen partikül miktarının etkileri üzerinde durmuşlardır. Partikül emisyonları dizel motorlarında istenmeyen fakat yakıtın tam yanamaması sonucunda çevriyi fiziksel olarak da kirleten önemli bir emisyondur. Yaptıkları çalışmada dizel yakıtına LNG ilavesi ile birlikte partikül emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca laboratuvar koşullarında yapılan yanma incelemesinde de LNG'nin dizel yakıtına göre partikül emisyonları miktarı oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Jinwen et al., [15] 6 silindirli turbo şarjlı bir motorda dizel yakıtına kütlece değişik oranlarda doğalgaz ilavesinin motor performansına ve emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla doğalgazı emme manifolduna bir kendi yaptıkları gaz enjektörü aparatı ile ilave etmişlerdir. Bu çalışmada türbülanslı bir ilavenin silindir içerisindeki yanmaya etkilerini de araştırmışlardır. Bu amaçla imal ettikleri aparatın yönünü değiştirerek etkilerini de incelemişlerdir. Ayrıca doğalgazın silindir içerisine püskürme avansının yanma üzerindeki değişimlerini gözlemek için doğalgazın değişik püskürtme avanslarında silindir içerisine gönderilmesini sağlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar göstermiştir ki, dizel yakıtına doğalgaz ilavesi ile birlikte enjeksiyon zamanlamasının değiştirilmesi yanma süresini ve silindir içi basıncı değiştirerek emisyon değerlerini etkilemektedir. Ayrıca emme manifolduna bağlanan doğalgaz enjektörünün yönü de yanmada etkilidir.

Amin et al. [16] yaptıkları bu çalışmada karma olarak dizel/doğalgaz yakıt karışımı ile çalışan bir

motorun termik veriminin yükseltilmesi için doğalgaz basınç değerlerinin silindir içerisindeki yanmaya etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla çalışmalarını teorik hesaplama ve uygulamalı olarak gerçekleştirmişlerdir. Teorik olarak hesaplamalarını uygulamaya dökerek sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çift yakıt ile çalışan bu sistemde pilot yakıt olarak kullanılan dizel yakıtının püskürtme basıncının aşırı artırılmasının termal verimi düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bunun yanında doğalgaz basıncının değiştirilmesinin yanmayı etkilediğini bildirmişlerdir.

Zhongshu et al., [17] pilot yakıt olarak motorin kullana bir motorda maksimum ne kadarlık bir doğalgaz ilavesi yapabileceğini araştırmışlardır. Bu amaçla altı silindirli turbo şarjlı bir motor kullanmışlardır. Deneyler sırasında motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerini de ölçerek doğalgaz miktarının etkilerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda dizel yakıtına %75 oranına kadar doğalgaz ilave edilebileceğini görmüşlerdir. Ayrıca doğalgazın ilavesinin zamanlamasının önemine de vurgu yapmışlardır

Wang et al., [18] doğalgazlı bir motorda enjeksiyon ve ateşleme avanslarının etkilerini teorik olarak incelemişlerdir. Ateşleme avansının doğalgazla çalışan motorlarda yanma parametreleri açısından etkili bir mekanizma olduğunu bildirmişlerdir. Motorun birebir modeli üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada ayrıca motorun her bir avans değişimi sırasında silindir içi yanma ve ısı yayılımı grafiklerini de karşılaştırma imkanı bulmuşlardır. Yaptıkları çalışmada doğalgazın avansının yanma parametrelerini doğrudan etkilediğini ve önemli bir değişken olduğunu bildirmişlerdir.

Distaso et al., [19] dizel yakıtı ile çalışan bir iş makinasında 800 ila 3500 dev/dak arasındaki motor hızlarında ve 5 farklı motor yük değerlerinde CNG ilavesinin motor performansı ve partikül emisyonları açısından etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak ise partiküllerin boyutları ve miktarını da incelemişlerdir. Dizel yakıtına doğalgaz ilavesi ile birlikte motor gücünün ve motor torkunun düştüğünü, partikül miktarının ise azaldığını belirtmişlerdir. Bunun yanında ise motor yükünün ve motor hızının partikül miktarı üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada en yüksek partikül miktarının ise %80 motor yükünde oluştuğunu bildirmişlerdir.

Sezgin [20] yaptığı yüksek lisans tezinde bir dizel motoru CNG motoruna dönüştürerek %100 CNG ile

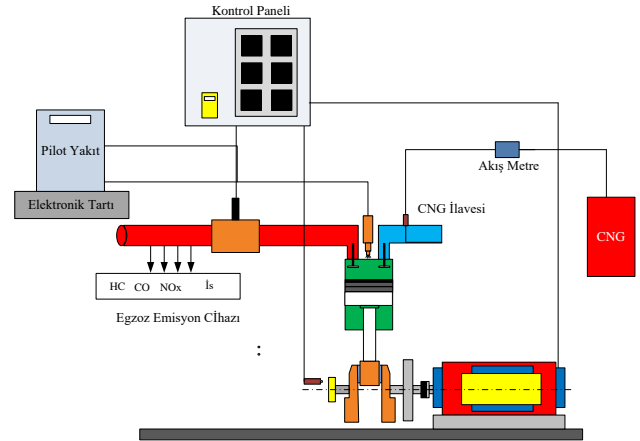
çalıştırılmasını sağlamıştır. Bu amaçla motor üzerindeki pistonu değiştirmiş ve enjektör yerine de buji takarak motorun fiziksel özellikleri üzerinde oynama yapmıştır. Elde ettiği sonuçlar motor üzerindeki bu değişikliklerle motorun CNG ile çalıştırılabileceği göstermiştir.

CNG giderek artan bir talep ile motorlu araçlarda kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle ağır iş makinelerinin emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak gelecekte çok kullanılacak bir alternatif yakıt olarak görülmektedir. Öyle ki gerek ticari firmalar gerekse araştırmacılar CNG'nin motorlu araçlarda kullanımı ile ilgili araştırmalarına hız vermiştir. Bu amaçla kurulmuş birçok CNG istasyonu bulunmaktadır ve sayısı dünya üzerinde de hızla artmaktadır. Benzinli motora sahip araçların CNG dönüşümü rahatlıkla yapılmaktadır. Fakat dizel araçlarla ilgili motorlarının çalışma sisteminden kaynaklanan sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle dizel araçların %100 CNG ile çalıştırılması için mekanik sistemlerinde köklü değişiklikler gerekmektedir. Bu tür değişim işlemleri hem maliyetli hem de zaman aldığı için birçok ticari firma CNG ilavesini dizel yakıtı ile belirli miktarlarda kullanmanın önermektedir.

Literatür bölümünde de belirttiğimiz gibi CNG ile yapılan çalışmalarda motor avansının değiştirilmesinin motor performansı ve emisyonlar açısından olumlu yada olumsuz sonuçlar oluşturduğu bildirilmiştir. Motor avansının değiştirilmesi günümüz taşıtlarında elektronik kontrol ünitesinden gerçekleştirilmektedir. Fakat yakıt içerisine bazı kimyasallar katılarak da değiştirilebileceğini ifade eden çalışmalarda mevcuttur. n-heptan ve toluen bu tür kimyasallardan bir kaçıdır. Yapılan çalışmalar n-heptan ve toluenin dizel yakıtının içerisine karıştırılması ile motor avansını etkilediği bildirmektedir [21]. Bu çalışma tek silindirli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda CNG ilavesinin pilot yakıtı ilave edilen n-heptan ve toluenin kullanımı ile nasıl değiştiğini amaçlamıştır. Bu sebeple öncelikle pilot yakıt içerisine hacimce %2,5, %5 ve %10 oranında n-heptan ve toluen ilave edilmiştir. Sonrasında pilot yakıt ile çalıştırılan bu motorda emme manifoldundan bir akış metre ile %20 ve %40 oranında CNG ilave edilerek etkileri incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan deney düzeneğindeki motor 3000 d/dak motor hızında 1 kW, 2 kW, 3 kW ve 4 kW motor yüklerinde çalıştırılarak her bir yakıt karışımı için yakıt tüketim değeri, egzoz gaz sıcaklık ve egzoz emisyon (HC, CO, NOx ve is) değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

2. MATERYAL METOT (MATERIAL METHOD)

Motor deneyleri tek silindirli sıkıştırılmalı ile ateşlemeli dört zamanlı Genpower marka jeneratörün GDG 7000 modelinde gerçekleştirilmiştir. Dizel motor direk enjeksiyon sistemine sahiptir. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 1'de verilmektedir. Deneylerde kullanılan yakıtların teknik özellikleri Tablo 1'de, jeneratörün teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Deney Düzeneğinin Şematik Resmi. (Schematic Picture Of The Experimental Assembly)

Tablo 1. Deney Yakıtlarının Teknik Özellikleri. (Technical Properties Of Experimental Fuels)

Özellik	Dizel	CNG (%90 CH ₄)	n- heptan	Tolun
Kimyasal Formül	C ₄ -C ₁₂	CH ₄ - C ₂ H ₆ - C ₃ H ₈	C ₇ H ₁₆	C ₇ H ₈
Karbon/hidrojen Oranı (m/m)	-	0.73	0.840	0.913
Setan Sayısı	47	-	56	7.4
Yoğunluk (g/cm ³)	0.824	0.71	0.684	0.866
Stoichiometric hava/yakıt oranı	14.7	16.79	15.30	9.8
Alt ısı Değer (Mj/kg)	43.5	47.17	44.9	40
Burharlaşma Isısı (Mj/kg)	0.41	0.508	0.317	0.351
Parlama Noktası (°C)	483	540	-40	4

Tablo 2. Jeneratörün Teknik Özellikleri. (Technical Specifications Of The Generator)

Motor	
Model	186 FAG
Tip	Hava Soğutmalı- 4 Zamanlı
Silindir Hacmi	418 cm ³
Maksimum Çıkış gücü	5.7 kW

Sıkıştırma Oranı	19:1
Çalıştırma Şekli	Marşlı
Jeneratör	
Maksimum Çıkış Gücü	7 kVA
Sürekli Çalışma Gücü	6 kVA
Frekans	50 Hz

Motorun yükleme işlemi kontrol paneli üzerinde bulunan yükler sayesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında çekilen gücün değişip değişmediği kablo üstü bir ampermetre ve voltmeter ile düzenli olarak kontrol edilmiştir. Her bir test aşamasında da motor devri düzenli olarak ölçülerek bilgisayar ile kayıt altına alınmıştır. Egzoz emisyon ölçümleri için mobidyc 5000 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tablo 3'de deney araçlarının ölçüm doğruluğu ve hesaplanan belirsizlikler verilmektedir.

Tablo 3. Ölçüm aletlerinin doğruluğu ve belirsizlikler. (Accuracy of measurement instruments and uncertainties)

	Birimi	Doğruluk	Belirsizlik
Motor Gücü	kW	-	± %0,35
Yakıt Debisi (kg/h)	kg/h	-	± %0,85
Özgül Yakıt Tüketimi (Sıvı Yakıt)	gr/kWh	-	± %2,15
Özgül Yakıt Tüketimi (CNG)	gr/kWh	-	± %2,69
Termik Verim	%	-	± %1,01
HC	ppm	0-10	± %1,6
CO	% vol.	0-20	± %2,1
O ₂	% vol.	0-2000	± %0,13
İs	%	0-21	± %2,6
NO _x	ppm	0-5000	± %2,9
Motor Devri	rpm	±1 (d/d)	-
Yakıt Tüketimi	g	± %0.001	-
Sıcaklık	(°C)	±1	-
Zaman	(s)	±1	-

CNG, motor sistemine çelik bir tüpten 200 bar basınçta sıkıştırılmış halde gönderilmiştir. Tüp 12,5 m³'lük gaz depolama kapasitesine sahiptir. CNG'nin silindir içerisinde gönderilmesi için tasarlanan sistem ana vana, gaz basıncının düşürülmesi için düşürme regülatörü, hassas gaz vanası, kütle akış kontrol valfi ve geri tepme valfinden oluşmaktadır. Bu aşamadan geçen gaz motorun emme manifolduna verilerek silindir içerisine gönderilmiştir. Dizel yakıtının tüketim miktarı ise 0,001 hassasiyetindeki bir terazi ile gazın tüketim miktarı ise akış metre üzerinden tespit edilmiştir.

Pilot ateşleyici olarak kullanılacak olan dizel yakıtının içerisine hacimce %2,5, %5 ve %10 oranında toluen ve n-heptan ilave edilerek sıvı yakıt karışımları oluşturulmuştur. Bu karışımlardan sadece dizel yakıt

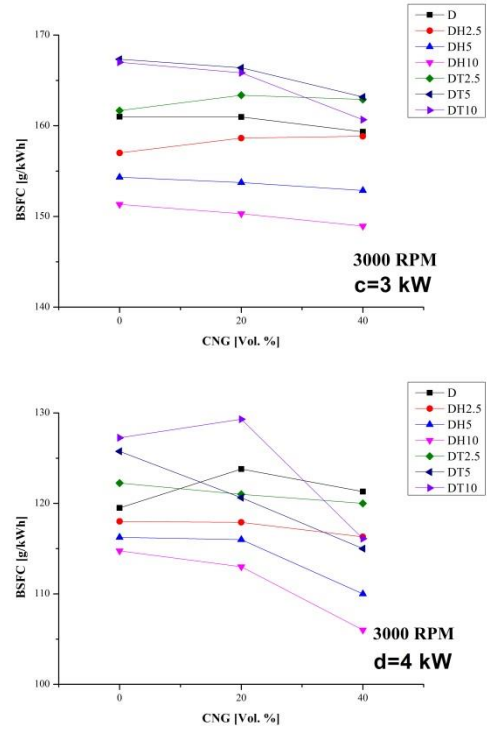
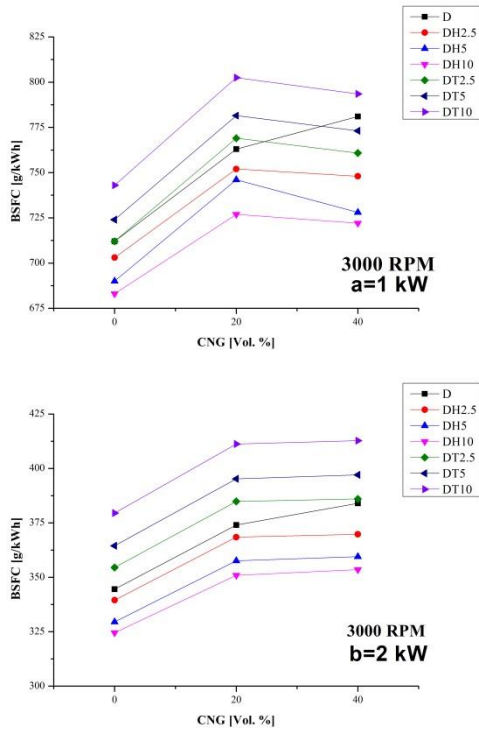
olanlarına D, toluenle oluşturulanlara DT2.5, DT5 ve DT10, n-heptan ile oluşturulanlara da DH2.5, DH5 ve DH10 kısaltmaları verilmiştir. Motor deneyleri sabit motor hızında (3000 d/dak) yapılmıştır. Bu amaçla jeneratör öncelikle D, DT2,5 DT5, DT10, DH2.5, DH5 ve DH10 yakıtı ile 1 kW, 2 kW, 3 kW ve 4 kW güç üretecek şekilde yüklenmiştir. Bu aşamada emisyon değerleri (CO, NO_x, HC ve is) ve yakıt tüketim değerleri kayıt altına alınmıştır. Yapılan bu ön çalışmaların sonrasında ise motorun saatlik yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler baz alınarak emme manifoldundan kütlece %20 ve %40 oranında CNG gazı akış metre üzerinden kontrol edilerek ilave edilmiştir. Tüm bu aşamalarda motorun kararlı hale geçmesi beklenmiş, motorun emisyon değerleri ile yakıt tüketim değerleri tekrar ölçülerek yeniden kayıt altına alınmıştır. CNG her defasında akış metre üzerinden kontrol edilerek silindir içerisinde kg/h olarak ilave edilmiştir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Fren Özgül Yakıt Tüketimi (Brake Specific Fuel Consumption)

Şekil 2'de değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin fren özgül yakıt tüketim değerine etkisini gösteren grafikler verilmektedir. Dizel yakıtına toluen ilavesi ile birlikte tüm motor yüklerinde yakıt tüketim değerlerinde dizel yakıtına göre artış n-heptan ilavesi ile birlikteyse azalma görülmektedir. Dizel yakıtına ilave edilen n-heptanın ısı değeri ve setan sayısının yüksek olması kısmen yanmayı olumlu etkilemiş ve yanmanın iyileşmesi ile birlikte yakıtın tamamından verim elde edilmesini sağlamıştır. Öbür taraftan toluen ilavesi ile birlikte yakıt tüketim değeri artmaktadır. Bu durumu yakıt karışımlarının düşen ısı değeri ve setan sayısı ile açıklamak mümkündür. Her iki yakıt karışımının pilot ateşleyici olarak kullanıldığı durumda CNG ilavesi ile birlikte 1 kW ve 2 kW motor yüklerinde yakıt tüketim değerleri artarken 3 kW ve 4 kW motor yüklerinde CNG ilavesi ile birlikte yakıt tüketim değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. En yüksek azalma miktarı DH10 yakıt karışımının pilot yakıt olarak kullanıldığı karışımda gerçekleşmiştir. Düşük motor yüklerinde emme manifoldundan ilave edilen doğalgazın miktarının az olması emme manifoldu içerisinde hava ile oluşan karışımın akışkanlığını da etkilemektedir. Böylelikle silindir içerisinde oluşan hava+gaz yakıt karışımı daha yavaş bir şekilde teşkil etmektedir. Bu durumda silindir içerisinde yakıtın tamamından faydalanılmasına mani olmaktadır. Çünkü silindir

içerisine alınan yakıt tam olarak yanmadan egzoz supapları açılarak yakıt karışımının egzozdan atıldığı düşünülmektedir. Bu durum silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığı da etkilenmektedir. Fakat motor yükünün 3 kW ve 4 kW'ya çıkartılması ile birlikte silindir içerisine gönderilen doğalgazın miktarı artmaktadır. Böylelikle emme manifoldundan alınan doğalgazlı kütle yoğunluğu artmakta ve silindir içerisinde daha iyi bir karışım sağlanmaktadır. Ayrıca silindir içerisine alınan tüm yakıt karışımlarının setan sayısı artmaktadır. Artan setan sayısının dizel motorlarında performansın artırılmasında etkili olduğunu bildiren bir çok çalışma mevcuttur [22]. Artan yakıt miktarı ve setan sayısı ile birlikte her bir çevrimde silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığı artmakta ve her bir çevrim için CNG ilavesi ile birlikte yanma verimi artış göstermektedir. Artan yanma verimi ise yakıt tüketim değerini azalmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki [23,24] çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

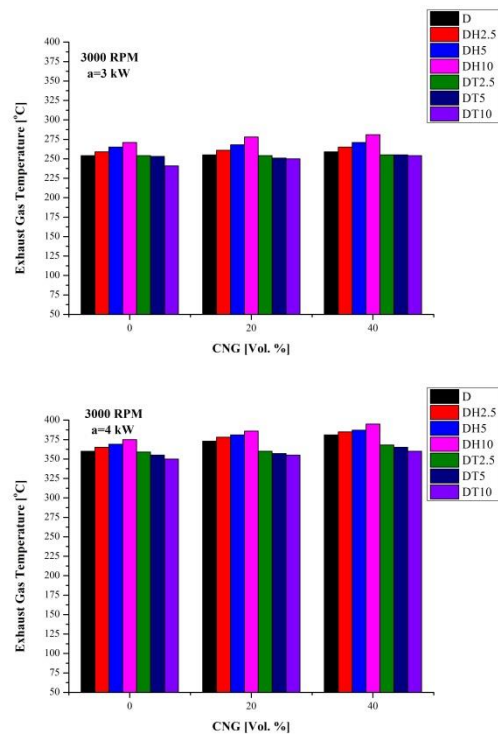


Şekil 2. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin fren özgül yakıt tüketimine etkisi. (The effect of CNG addition on brake specific fuel consumption in an engine powered by different pilot fuels)

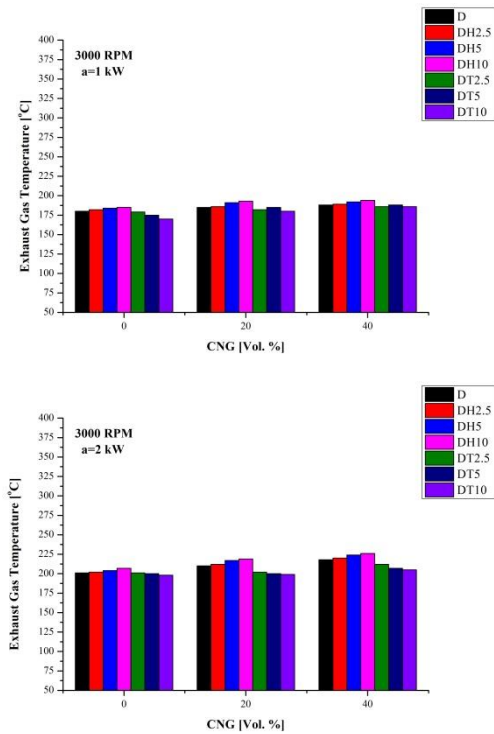
3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı (Exhaust Gas Temperature)

Şekil 3'te değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin egzoz gaz sıcaklığına etkisini gösteren grafikler verilmektedir. Egzoz gazı sıcaklığı silindir içerisindeki yanmanın bir fonksiyonu olarak görülebilir. Yani silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığı fazlaştığında egzoz gaz sıcaklığı artmaktadır. Fakat bunun yanında silindir içerisinde yanmayan yakıt karışımının egzoz borusunda yanması ile birlikte de egzoz gazı sıcaklığının arttığı durumlardan bahsedilmektedir [25]. Bu nedenle egzoz gazı sıcaklığının yanmanın bir işlevsel durumu gibi düşünmekte fayda vardır. Dizel yakıtına n-heptan ilavesi ile birlikte egzoz gaz sıcaklığı artarken, toluen ilavesi ile birlikte ise azalma eğilimi göstermektedir. n-heptan ilavesi ile birlikte yakıt karışımlarının ısı değeri ve setan sayısı artmaktadır. Artan setan sayısı ve ısı değeri dizel motorlarında yanma verimini etkileyen önemli parametrelerinin başında gelmektedir [23]. Yakıt karışımlarının özelliklerinin iyileşmesi ile birlikte ise silindir içerisinde yanma kısmen iyileşmekte ve böylelikle egzoz gaz sıcaklığının artması beklenen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır [26]. Bunun yanında

toluen ilavesi ile birlikte azalan ısı değer, toluenin buharlaşma ısısının yüksek olması, tutuşma sıcaklığı ve karışımın setan sayısının azalması kısmen yanmayı kötüleştirmektedir. Bu durumda egzoz gaz sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Motor yükünün artırılması ile birlikte tüm yakıt karışımlarında egzoz gaz sıcaklığı artış göstermektedir. Çünkü dizel motorlarında motor yükünün artması demek silindir içerisine alınan yakıt miktarının artırılması ile mümkündür. Böylelikle silindir içerisine alınan daha fazla yakıtın yanması ile yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. CNG ilavesi ile birlikteyse egzoz gaz sıcaklığında tüm yakıt karışımlarında ve motor yüklerinde artış görülmüştür. Çünkü CNG'nin ısı değeri pilot yakıt karışımlarına göre yüksektir. Dolayısı ile silindir içerisine ilave edilen CNG miktarının artması ile birlikte yakıt karışımlarının ısı değeri artmakta ve yanma sonu sıcaklığında artış görülmesi beklenen bir durumdur. Egzoz gaz sıcaklığındaki en yüksek değer DH10 pilot yakıt kullanımı ile %40 CNG ilavesinde 4 kW motor yükünde 395 °C olarak tespit edilmiştir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı ise 1 kW motor yükünde %0 CNG ilavesi ile DT10 yakıt karışımının kullanılması ile 170 °C olarak ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalar [27] ile benzerlik göstermektedir.



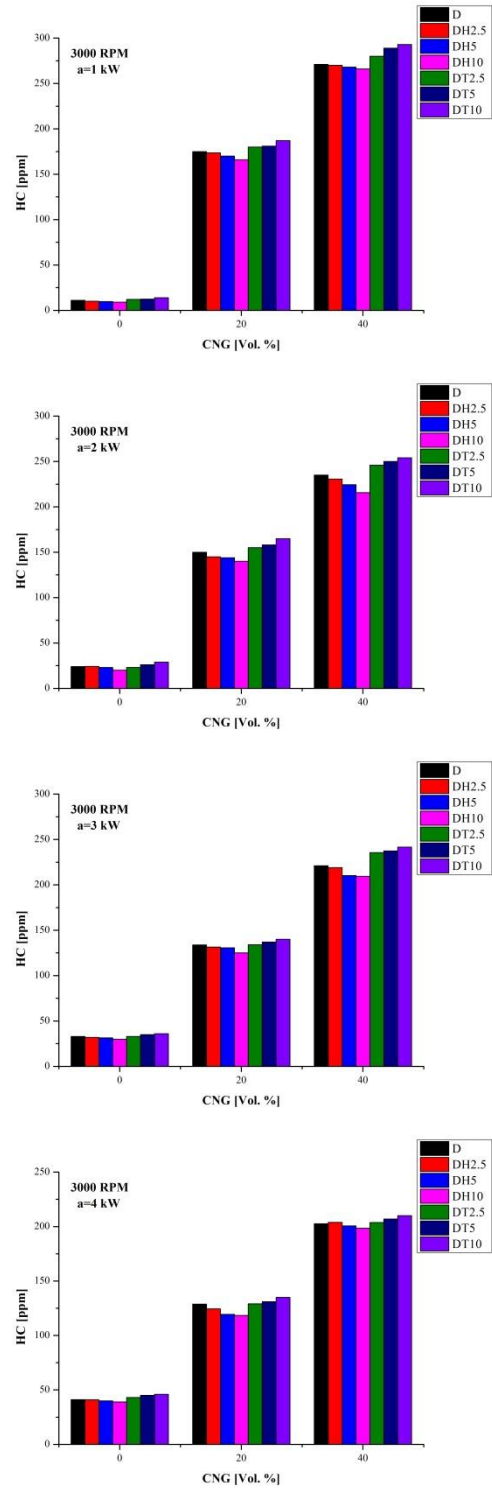
Şekil 3. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin egzoz gaz sıcaklığına etkisi. (Effect of CNG addition on exhaust gas temperature in an engine powered by different pilot fuels)



3.3. Hidrokarbon (HC) emisyonları (Hydrocarbon (HC) emissions)

Şekil 4'te değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin HC emisyonlarına etkisini gösteren grafikler verilmektedir. Dizel yakıtına n-heptan ilavesi ile birlikte tüm motor yüklerinde HC emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Bu durumu dizel yakıtına ilave edilen n-heptanın miktarı ile de değiştiği görülmüştür. Bilindiği gibi n-heptan ilavesi ile birlikte yakıt karışımlarının ısı değeri ve setan sayısı artmaktadır. Artan ısı değeri ve setan sayısının ise yanmayı kısmen iyileştirerek HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir. Öbür taraftan dizel yakıtına toluen ilavesi ile birlikte ise HC emisyonlarında artış görülmektedir. Toluenin düşük setan sayısı, ısı değeri ve buharlaşma gizli ısısı değerlerinin dizel yakıtına ilave edilmesi ile birlikte yakıt karışımının yakıt özelliklerini de kötüleştirdiği düşünülmektedir. Bu durumda toluen ilavesinin silindir içerisinden yanmayı kısmen kötüleştirdiği düşünülmektedir. Çünkü içten yanmalı motorlarında HC emisyonlarının oluşumunu tetikleyen önemli bir etken yakıt karışımının kısmen soğuk karışım bölgesi ile karşılaşması ve soğuk

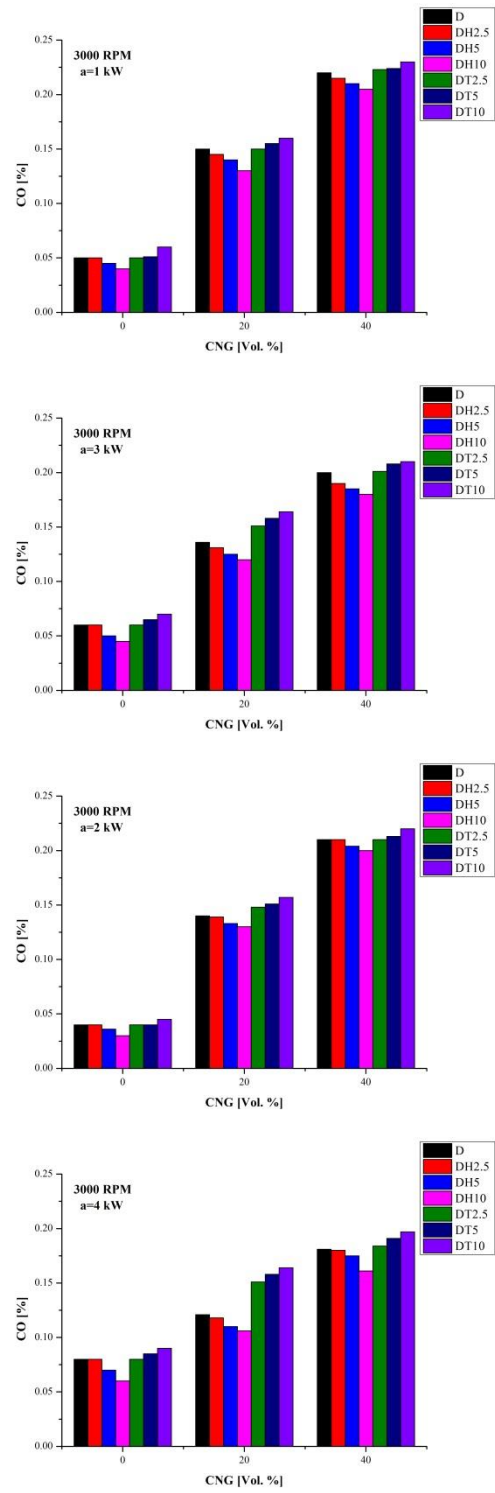
silindir cidarlarına çarpmasıdır. Yüksek uçuculuğu ve gizli buharlaşma ısıları yüksek olan yakıtların silindir içerisinde kısmen soğuk karışım bölgelerinin oluşmasında etkili olduğunu ifade eden çalışmalarda [28, 29] mevcuttur. Bu nedenle toluenin düşük setan sayısı ve ısı değeri ile birleşen buharlaşma gizli ısının kısmen yanmayı kötüleştirdiği ve HC emisyonlarını arttırdığı düşünülmektedir. CNG ilavesi ile birlikteyse tüm motor yüklerinde ve tüm pilot yakıt karışımlarında HC emisyonları artmıştır. Silindir içerisinde CNG'nin kısmen yanmadan atıldığı bu nedenle HC emisyonlarının artış gösterdiği düşünülmektedir. Çünkü silindir içerisine alınan yakıt karışımının tam manasıyla yanmadan egzoz sübapının açılması yanmamış yakıt karışımının egzozdan atılmasına neden olacaktır. Bu nedenle çift yakıtlı çalışan dizel motorun emme manifoldundan gönderilen CNG'nin silindir içerisine alınması ve tam manasıyla yanması için gereken sürenin tam olarak yetmediği düşünülmektedir. Bu nedenle genel olarak CNG ile yapılan çalışmalarda CNG'nin zamanlamasının ayarlanmasına yöneliktir. Pilot yakıt olarak kullanılan karışıma n-heptan ilavesi ile birlikte HC emisyonları azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumu n-heptanın ısı değeri, setan sayısı ve çabuk alev almasının etkili olduğu düşünülmektedir. Fakat toluenin aynı etkiyi vermediği pilot yakıtı ilave edilen toluen ile HC emisyonların arttığı görülmektedir. Toluen kullanımı ile meydana gelen artışı ise toluenin düşük ısı değeri ve buharlaşma gizli ısı ile açıklamak mümkündür. Çünkü toluen karışımı ile silindir içerisinde kısmen soğuk bölgeler oluşmakta ve bu da HC emisyonlarını artırmaktadır. Tüm yakıt karışımlarında ve CNG ilavesi ile birlikteyse motor yükünün artması ile hafif bir azalış eğilimi görülmektedir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki [30] çalışması ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin HC emisyonuna etkisi. (Effect of CNG addition on HC emission in an engine powered by different pilot fuels)

3.4. Karbon monoksit (CO) Emisyonları (*Carbon monoxide (CO) emissions*)

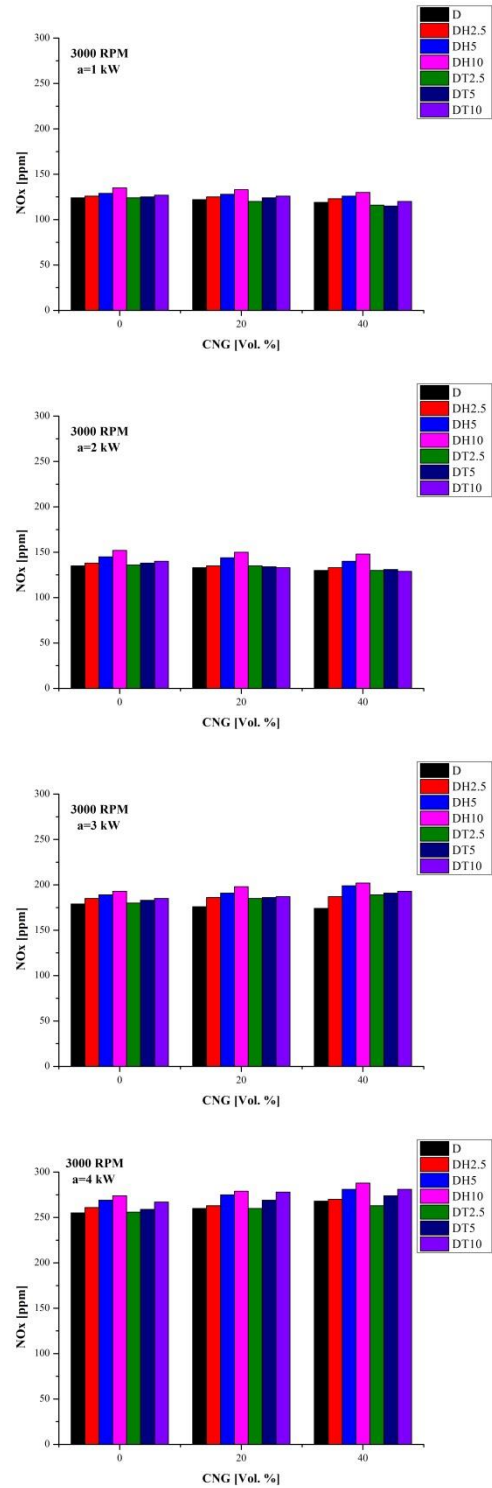
Şekil 5’de değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin CO emisyonlarına etkisini gösteren grafikler verilmektedir. CO emisyonları yanmamış karbon (C) atomlarının egzozdan atılması ile oluşmaktadır. Dizel motorlarında CO emisyonları yok denilecek kadar az oluşmaktadır. Çünkü dizel motorlar hava fazlalığı ile çalışmaktadır. Bu nedenle sürekli yanabilecek miktardan fazla silindir içerisine hava alınmaktadır. Saf dizel yakıtı ile yapılan çalışmada motor yükünün artmasına bağlı olarak CO emisyonunun arttığı görülmektedir. Dizel yakıtının içerisine n-heptan ilavesi ile birlikte ise tüm motor yüklerinde CO emisyonlarının düştüğü görülmektedir. Toluen ilavesi ile ise CO emisyonları artmaktadır. Tüm yakıt karışımlarında pilot yakıt ile çalışan motorda CNG ilavesi ile birlikte CO emisyonlarında artış görülmektedir. Düşük ve orta devirlerde hızla artan CO emisyonları motor yükünün artması ile birlikte azalma eğilimi göstermektedir. Çünkü motor yükünün artması ile birlikte silindir içerisine alınan sıvı+gaz yakıt kütlesi artış göstermektedir. Bu artış ise silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığını artırmakta ve böylelikle yanmanın kısmen iyileşmesini sağlamaktadır. Bunun yanında n-heptan katkılı pilot yakıtta CNG ilavesi ile birlikte CO emisyonlarında azalma görülmektedir. Bu durumu n-heptanın yüksek ısı değeri ve yakıt karışımının setan sayısı ile ifade etmek mümkündür. Çünkü n-heptanlı pilot yakıt ile pilot tutuşturma evresi CNG’nin yanabilmesi için daha ideal bir ortamın oluşmasını sağlamaktadır [30]. Böylelikle CO emisyonlar azalmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda CNG ilavesi ile benzer sonuçların oluştuğundan bahsedilmektedir [31, 32].



Şekil 5. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin CO emisyonuna etkisi. (*The effect of CNG addition on CO emission in an engine powered by different pilot fuels*)

3.5. Azot oksit (NO_x) Emisyonları (Nitrogen oxide (NO_x) emissions)

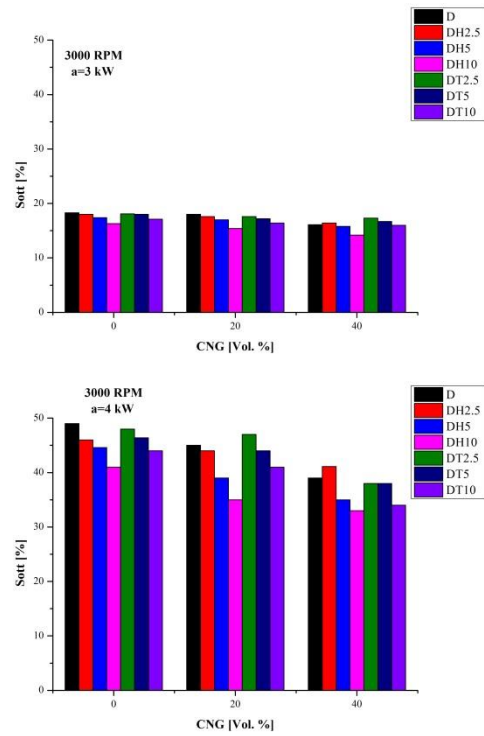
Şekil 6'da değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisini gösteren grafikler verilmektedir. Azot oksitler, silindir içerisinde hava ile giren azot (N) gazlarının yüksek sıcaklık altında reaksiyona girerek NO ve bileşenlerine dönüştüğü durumlarda meydana gelmektedir. Yapılan çalışmalarda NO_x emisyonlarının oluşumunda silindir içi sıcaklık, tutuşma gecikmesi ve hava/yakıt oranının öneminden bahsedilmektedir [33]. Grafikler incelendiğinde NO_x emisyonlarının motor yükünün artması ile arttığı görülmektedir. Dizel motorlarında motor yükünün artması silindir içerisine alınan yakıt miktarının artırılması ile olmaktadır. Bu nedenle motor yükünün artmasına bağlı olarak silindir içerisine alınan yakıt miktarı artmakta buda NO_x emisyonlarının artışına neden olmaktadır. Dizel yakıtına n-heptan ve toluen ilavesi ile tüm motor yüklerinde ve yakıt karışımlarında NO_x emisyonları artış göstermiştir. Fakat n-heptan ile yapılan çalışmalarda artışın, toluenli yakıtlarla yapılandır daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumu ilave edilen kimyasalların ısı değerleri, buharlaşma ısıları ve setan sayılarının farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konuda literatürde farklı sonuçlardan bahsedilmektedir. Özellikle bu tür ilave yakıtların dizel yakıtına katılması ile NO_x emisyonlarını azalttığını [34] ifade eden çalışmalar mevcut ise de NO_x emisyonlarını arttırdığı bildiren çalışmalarda [35] mevcuttur. Bunun yanında CNG ilavesi ile birlikteyse NO_x emisyonlarında motor yüküne göre değişik durumların oluştuğu görülmüştür. CNG ilavesi ile birlikte ise düşük motor yüklerinde (1 kW ve 2 kW) azalma eğilimi gösteriyorken, yüksek motor yüklerinde (3 kW, 4 kW) artış eğilimi göstermektedir. CNG ilavesi ile birlikte silindir içine alınan yakıt kütlesinin ısı değeri artış göstermekte, buda her bir çevrim için yanma sonu sıcaklığını kısmen arttırmaktadır. Bu durumda NO_x emisyonları artış göstermiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları literatürdeki [36, 37] çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 6. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin NO_x emisyonuna etkisi. (Effect of CNG addition on NO_x emission in an engine powered by different pilot fuels)

3.6. İS Emisyonu (Smoke Emissions)

Şekil 7’de değişik motor yüklerinde farklı pilot yakıt karışımlarına CNG ilavesinin is emisyonlarına etkisini gösteren grafikler verilmektedir. Dizel motorlarında is emisyonları silindir içerisinde yanmayan yakıt zerreciklerinin egzozdan atılması ile oluşmaktadır. Dizel motorlarında is emisyonları silindir içerisinde yakıtların yanması için yeterli havanın olmaması, ve yakıt/hava karışımının ideal şekilde oluşmaması sonucu oluşmaktadır[38]. Motor yükünün artması ile birlikte tüm motor yüklerinde ve yakıt karışımlarında is emisyonlarında artma görülmektedir. Pilot yakıtta CNG ilavesi ile birlikte ise is emisyonlarında azalma eğilimi görülmektedir. Yakıt karışımına ilave edilen CNG miktarının artması ile birlikte ise emisyonlarındaki azalma eğilimi artış göstermeye devam etmektedir. Bu durumu silindir içerisine alınan yakıt karışımlarının ısı değerinin ve setan sayısının artmasının neden olduğu düşünülmektedir. Belirli bir yük için ihtiyaç duyulan yakıt içinde CNG miktarı arttıkça, is oluşumuna daha çok sebep olan, hava ile daha zor karışan, daha zor buharlaşan dizel yakıtı azaldığı için is emisyonu önemli miktarda düşmektedir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki CNG/pilot yakıt sistemlerle yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla [39, 40] benzerlik göstermektedir.



Şekil 7. Farklı pilot yakıtlarla çalışan bir motorda CNG ilavesinin İS emisyonuna etkisi. (The effect of CNG addition on Is emission in an engine powered by different pilot fuels)

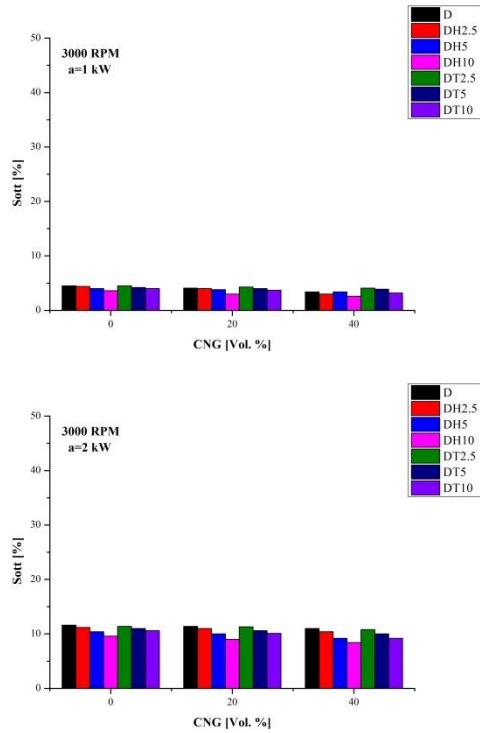
4. SONUÇLAR (RESULT)

Çalışmada dizel bir motorda pilot ateşleyici olarak kullanılan yakıtların miktarlarının etkileri ile kütlece CNG ilavesinin sonuçları irdelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre;

- En düşük FÖYT, 4 kW motor yükünde DH10 yakıt karışımının kullanılması ile %40 CNG ilavesinde 106 gr/kWh olarak tespit edilirken, aynı şartlar altında DT10 yakıt karışımının kullanılması sonucu yakıt tüketim değeri 116 gr/kWh yükselmiştir. Yine en yüksek FÖYT değerinin 802,5 gr/kWh ile 1 kW motor yükünde, %20 CNG ilavesinde DT10 pilot yakıtının kullanılması ile oluştuğu tespit edilmiştir.

- En yüksek egzoz gazı sıcaklığı DH10 pilot yakıt kullanımı ile %40 CNG ilavesinde 4 kW motor yükünde 395 oC olarak tespit edilirken en düşük sıcaklık değeri ise 1 kW motor yükünde %0 CNG ilavesi ile DT10 yakıt karışımı kullanılması sonucu 170 oC olarak ölçülmüştür.

- CO emisyonları 1 kW motor yükünde DT10 yakıt karışımı ile % 40 CNG ilavesinde 293 ppm değeri ile en yüksek değer ölçülürken aynı şartlarda DH10 yakıt karışımı ile 266 ppm değerine düşmüştür.



Tüm motor yüklerinde ve yakıt karışım değerlerinde en düşük HC emisyonu 1 kW motor yükünde %0 CNG ilavesi ile 9 ppm değerinde DH10 yakıt karışımının kullanılması ile oluşmuştur.

- Genel olarak bakıldığında n-heptanlı yakıt karışımının en düşük CO emisyonlarının oluşmasında etkili olduğu görülmektedir. En düşük CO emisyonu 2 kW motor yükünde %0,03 değeri ile %0 CNG ilavesinde oluşmuştur. Aynı şartlar altında %40 CNG ilavesi ile birlikteyse CO değerinin %0,2'ye çıktığı görülmüştür. Çalışmanın tümünde en yüksek CO emisyon değeri %40 CNG ilavesi ile birlikte DT10 pilot yakıt karışımının kullanımı ile %0,23 değeri ile oluşmuştur.

- Pilot yakıtı karıştırılan toluen ve n-heptan ilavesi ile birlikte tüm motor yüklerinde NOx emisyonları artış eğilimi göstermiştir. En düşük NOx emisyon değeri DT5 yakıt karışımı ile %40 CNG ilavesinde 115 ppm değeri ile elde edilirken, en yüksek NOx emisyon değeri DH10 yakıt karışımının kullanılması 288 ppm olarak ölçülmüştür.

- En düşük is değeri 1 kW motor yükünde DH10 pilot yakıtına %40 CNG ilavesi ile birlikte %2,6 olarak tespit edilirken, en yüksek is değeri 4 kW motor yükünde %0 CNG ilavesi ile D yakıtında 549 olarak tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları pilot yakıt/CNG ile çalışan bir motorda -heptan ve toluen ilavesinin motor performansı ve emisyonlar açısından olumlu sonuçları olduğunu göstermektedir. Fakat çalışmanın ticari bir boyut kazanması adına motor malzemelerine etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (References)

- [1] M. Akçay and S. Özer, “Experimental investigation on performance and emission characteristics of a CI diesel engine fueled with fusel oil/diesel fuel blends”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Published Online, 1-16 June 2019. Doi:10.1080/15567036.2019.1689317,
- [2] M. Y. E. Selim, M. S. Radwan and H. E. Saleh, “Improving the performance of dual fuel engines

running on natural gas/LPG by using pilot fuel derived from jojoba seeds”, *Renewable Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 1173-1185, October 2008. Doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.07.015

- [3] G. S. Fritz and I. E. Ralph, “Emissions from heavy-duty trucks converted to compressed natural gas”, *SAE Transactions Journal of Commercial Vehicles*, vol. 102, no. 2, pp. 538-552, 1993.
- [4] R. V. Basshuysen, *Natural gas and renewable methane for powertrains: Future strategies for a climate-neutral mobility*, Switzerland: Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- [5] Der Volkswagen Deutschland, “TGI Golf”, https://www.volkswagen.de/de/models/golf-tgi.html#vw_m246_m532_jump_id, *Der Volkswagen Deutschland* 2017, [Erişim Tarihi: 19/02/2020].
- [6] Ö. Can, “Bir DI dizel motorda etanol ön karışimli kısmi-HCCI uygulamasının yanma ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [7] H. Zhao, *HCCI and CAI Engines for the Automotive Industry*, England: Woodhead Publishing Limited, 19-509, 2007.
- [8] R. G. Papagiannakis and D. T. Hountalas, “Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas”, *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 18-19, pp. 2971-2987, June 2004. Doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.01.013
- [9] V. Pirouzpanah, R. K. Saray, A. Sohrabi and A. Niaei, “Comparison of thermal and radical effects of EGR gases on combustion process in dual fuel engines at part loads”, *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 1909-1918, May 2007. Doi:doi.org/10.1016/j.enconman.2007.01.031.
- [10] A. Brozat, “Volkswagen Group expedites joint extension of gas mobility”, <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.volkswagen-media-services.com%2Fen%2Fdetailpage%2F%2Fdetail%2FVolkswagen-Group-expeditesjoint-extension-of-gas-mobility%2Fview%2F4948078%2F&date=2017-12-21>, 2017, [Erişim Tarihi: 19/02/2020].
- [11] M. Karabektas, G. Ergen and M. Hoşöz, “The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine

- fuelled with CNG”, *Fuel*, vol. 115, pp. 855-860, June 2014. Doi:doi.org/10.1016/j.fuel.2012.12.062.
- [12] R. Singh and S. Maji, “Performance and exhaust gas emissions analysis of direct injection CNG-diesel dual fuel engine”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol.4, no.3, pp. 837-838, March 2012. Doi:https://pdfs.semanticscholar.org/3f7f/f9bfc7590e351ae485ac6148aa360b68efca.pdf
- [13] R. Senthilraja, V. Sivakumar, K. Thirugnanasambandham and N. Nedunchezian, “Performance, emission and combustion characteristics of a dual fuel engine with Diesel Ethanol e Cotton seed oil Methyl ester blends and Compressed Natural Gas (CNG) as fuel”, *Energy*, vol. 112, no.2016, pp. 899-907, Oct 2016. Doi:https://doi.org/10.1007/s11356-018-3681-8
https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.114
- [14] C. Zhang, A. Zhou, Y. Shen, Y. Li and Q. Shi, “Effects of combustion duration characteristic on the brake thermal efficiency and NOx emission of a turbocharged diesel engine fueled with diesel-LNG dual-fuel”, *Applied Thermal Engineering*, vol.127, no.2017, pp. 312-318, March 2017. Doi:https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.034
- [15] J. You, Z. Liu, Z. Wang, D. Wang and Y. Xu, “Impact of natural gas injection strategies on combustion and emissions of a dual fuel natural gas engine ignited with diesel at low loads”, *Fuel*, vol. 260, no.2020, pp. 116414, May 2020, Doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116414.
- [16] A. Yousefi, H. Guob, M. Birouka and B. Likob, “On greenhouse gas emissions and thermal efficiency of natural gas/diesel dual-fuel engine at low load conditions: Coupled effect of injector rail pressure and split injection”, *Applied Energy*, vol. 242, no.2019, pp. 216-231, September 2019. Doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.093
- [17] Z. Wang, G. Du, D. Wang, Y. Xu and M. Shao, “Combustion process decoupling of a diesel/natural gas dual-fuel engine at low loads”, *Fuel*, vol. 232, no.2018, pp. 550-561, May 2018. Doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.152
- [18] Wang, T., Zhang, X., Zhang, J. and Hou, X. “Numerical analysis of the influence of the fuel injection timing and ignition position in a direct-injection natural gas engine”, *Energy Conversion Management*, vol. 149, no.2017, pp. 748–759, June 2017. Doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.004
- [19] E. Distaso, R. Amirante and P. R. D. Tamburrano, “Steady-state Characterization of Particle number Emissions from a Heavy-Duty Euro VI engine Fueled with Compressed Naturel Gas”, *Energy Procedia*, vol. 148, no.2018, pp. 671-678, January 2018. Doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.156
- [20] O. Sezgin, “Bir dizel motorda CNG dönüşümü”, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Ocak 2019.
- [21] F. Zhang, H.F. Liu, J. Yu and M. Yao. “Direct numerical simulation of n-heptane/air auto-ignition with thermal and charge stratifications under partially-premixed charge compression ignition (PCCI) engine related conditions”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 104, no. 5, pp. 516-526, February 2016. Doi:https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.100
- [22] V.E. Geo, G. Nagarajan and B. Nagalingam, “Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection”, *Fuel*, vol. 89, no.2010, pp. 3559-3567, June 2010. Doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.05.036
- [23] K. Murat, E. Gökhan and H. Murat, “The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG”, *Fuel*, vol. 115, no.2014, pp. 855-860, October 2014. Doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.12.062
- [24] Oğuz, K. Demirci and C. Çınar, “HCCI-DI Bir Motorda Doğal Gaz Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, vol. 7, no. 2, pp. 317-330, June 2019. Doi: 10.29109/gujsc.521668
- [25] A. Aktaş and O. Doğan, “Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda LPG Yüzdesinin Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol.25, no. 1, pp. 171-178, Nisan 2010.
- [26] B. Aydoğan, “An experimental examination of the effects of n-hexane and nheptane fuel blends on combustion, performance and emissions characteristics in a HCCI engine”, *Energy*, vol. 192, no. 1, pp. 116600, September 2020. Doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116600

- [27] X. Lü, J. Ma, L. Ji and Z. Huang, “Performance of a diesel engine run on diesel and natural gas in dual fuel mode of operation”, *Energy Procedia*, vol. 160, no.2019, pp. 215-222, August 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.139>
- [28] M. Yao, Z. Chen, Z. Zheng, B. Zhang and Y. Xing, “Study on the controlling strategies of homogeneous charge compression ignition combustion with fuel of dimethyl ether and methanol”, *Fuel*, vol. 85, no.2006, pp. 2046-2056, Oct 2006. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.03.016>
- [29] D. Blasio, G. Belgiorno and C. Beatrice. “Parametric analysis of compression ratio variation effects on thermodynamic, gaseous pollutant and particle emissions of a dual-fuel CH₄-diesel light duty engine”. *SAE International Journal of Engines*, vol.8, no.5, pp.2253-2267 November 2015, Doi:<https://doi.org/10.4271/2017-01-0764>.
- [30] J.C. Corbin, W. Peng, J. Yang, D.E. Sommer, U. Trivanovic, P. Kirchen, J.W. Miller, S. Rogak, D.R. Cocker, G.J. Smallwood and P.L., Stephani, “Characterization of particulate matter emitted by a marine engine operated with liquefied natural gas and diesel fuels”, *Atmospheric Environment*, vol. 220, no. 1, pp. 117030, October 2020. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117030>
- [31] W. Chen, J. Pan, Y. Liu, B. Fan and H.L. Peter, “Otchere Numerical investigation of direct injection stratified charge combustion in a natural gas-diesel rotary engine”, *Applied Energy*, vol. 233–234, no. 1, pp. 453-467, August 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.038>
- [32] İ. Sezer, “Dietil eter–motorin karışımlarının motor performansına etkilerinin deneysel incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 27, no. 1, pp. 117-124, Mayıs 2012.
- [33] R. Dhanasekaran and S. Ganesan, B. Rajesh Kumar, S. Saravanan, “Utilization of waste cooking oil in a light-duty DI diesel engine for cleaner emissions using bio-derived propanol”, *Fuel*, vol. 235, no.2019, pp. 832-837, June 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.093>
- [34] M.A. Asokan, S.S. Prabu, P.K.K. Bade, V.M. Nekkanti and S.S.G. Gutta, “Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine”, *Energy*, vol. 173, no.2019, pp. 883-893, August 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.075>
- [35] H. Huang, Z. Zhu, Y. Chen, Y. Chen, D.L. Jizhen and Z.T Ouyang, “Experimental and numerical study of multiple injection effects on combustion and emission characteristics of natural gas–diesel dual-fuel engine”, *Energy Conversion and Management*, vol. 183, no.2019, pp. 84-96, September 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.110>
- [36] E. Ansari, T. Menucci, M. Shahbakhti and J. Naber, “Experimental investigation into effects of high reactive fuel on combustion and emission characteristics of the Diesel-Natural gas Reactivity Controlled Compression Ignition engine”, *Applied Energy*, vol. 239, no.2019, pp. 948-956, October 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.256>
- [37] A.A. Abdel-Rahman, “On The Emissions From Internal-Combustion Engines: A Review”, *International Journal Of Energy Research*, vol. 22, no. 6, pp. 483-513, December 1998.
- [38] J. Dong, X. Gao, G. Li and X. Zhang, “Study on Diesel-LPG Dual-Fuel Engines”, *SAE paper no: 2001-01-3679*, pp.1-10, September 2001. Doi:<https://doi.org/10.4271/2001-01-3679>
- [39] J. Zheng, J. Wang, Z. Zhao, D. Wang and Z. Huang, “Effect of equivalence ratio on combustion and emissions of a dual-fuel natural gas engine ignited with diesel” *Applied Thermal Engineering*, vol. 146, no. 5, pp. 738-751, August 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.045>

Salih ÖZER

Salih ÖZER Aydın doğumludur. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde başladığı doktorasını 2015 yılında bitirmiştir. 2010 yılında Muş Alparslan Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak başlamıştır. İçten yanmalı motorlarda yanma ve biyoyakıt konularında çalışmaları mevcuttur. Halen Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliğinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Erdoğan VURAL

Erdoğan VURAL Aydın doğumludur. 2014 yılında Karabük Üniversitesi imalat mühendisliğinde doktorasını tamamlamıştır. 2009 yılında Bitlis Eren Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak başlamıştır. İçten yanmalı motorlarda performans ve kaplama konularında çalışmaları mevcuttur. 2018 yılından itibaren Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Germencik Meslek Yüksek okulunda Dr. öğretim görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır.

Ortalama Hız Tespit Sistemlerinin Doğrulama Metodolojisi

Banihan GÜNAY^a, Kadir AKGÖL^{*,b}

^a Gençlik Mah. 1326 Sok. 10/1, ORCID: 0000-0002-4640-417X, ANTALYA 07100, TÜRKİYE

^b * Giresun Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-1939-6717, GİRESUN 28000, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 24.08.2019
Kabul: 14.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Ortalama hız koridoru
Elektronik denetleme
sistemi
Plaka tanıma sistemi

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
kadir.akgol@giresun.edu.tr

ÖZET

Karayollarında hız kontrolleri uzun yıllardan beri (polis radarı gibi) noktasal hız ölçümleriyle yapılmakta olup, bu yöntemin bazı dezavantajları nedeniyle artık birçok kentte Ortalama Hız İhlal Tespit sistemleri tercih edilmeye başlamıştır. Genellikle yol üstü ‘tak’lara monte edilen plaka okuyucu sabit kameralar ile yapılan bu uygulama sayesinde yalnız bir nokta değil tüm koridor kontrol altına alınabilmektedir. Ancak, anlık hız ölçümlerinde, sadece kullanılan radar cihazının bakım ve kalibrasyonu yeterli olurken, ortalama hız ihlal tespiti uygulamalarının ise bir sistem olarak doğrulamasının yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde sürücülerin kendilerine tevdi edilen cezalara itiraz etmeleri durumunda idarenin yasal yükümlülüklerine maruz kalması söz konusudur. Konusunda uzman bağımsız trafik mühendislerce yapılması gereken bu doğrulama işlemi için bilimsel bir metodolojinin acilen literatüre kazandırılmasına gereksinim vardır. Bu teknik not ile söz konusu bu boşluk doldurulmuş olacaktır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.02>

A Verification Methodology for Average Speed Detection

ARTICLE INFO

Received: 24.08.2019
Accepted: 14.04.2020

Keywords:

Average speed corridor
Electronic traffic control
systems
Automatic number plate
recognition

***Corresponding Authors**

e-mail:
kadir.akgol@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Speed controls on roads have been carried out by spot speed measurements (like the police radar) for many years, but due to some of the disadvantages, Average Speed Limit Infringement Detection systems are becoming widely accepted in many places. By means of a series of automatic number plate recognition (ANPR) cameras, usually mounted on a square arch above the roadway, a corridor, rather than a point, can be surveilled. However, whereas the maintenance and calibration of a radar device is sufficient for spot speed measurements, for average speed limit applications the whole system needs to be verified. Without such verification documents, authorities may face legal cases by drivers who object to the speeding penalties issued against. An academic methodology needs to be promptly introduced to the literature for this verification procedure to be undertaken by independent and expert traffic engineers in countries where such audits have become compulsory by law. This technical note will therefore fill in this gap as a guidance document.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.02>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Konu ve Kapsam (Scale and Scope)

Trafik kazalarının başlıca sebeplerinden birisi de yüksek hızda araç kullanmak olup yüklü para cezalarının kesildiği bir kural ihlalidir. Birçok ülkede sürücü hatalarından kaynaklanan kazalar toplam kazaların çok yüksek bir kısmını oluşturmaktadır. Yüksek hız kazaları ise toplam kazaların yaklaşık üçte birini teşkil etmektedir. Hız arttıkça kaza ihtimali artmakta ve kazanın şiddeti de büyümektedir [1-5].

Trafikte yüksek hız problemine karşı her ülkede çeşitli hız denetim sistemleri uygulanmakta olup son yıllara kadar en yaygın olanı polis radarıyla anlık hız tespitleridir. Ancak eğer sürücü, polis radar kontrol yerini biliyorsa, o noktaya yaklaştığında hızını düşürüp cezadan kurtulabilmektedir. Hatta bu noktaları sürücüyü hatırlatan elektronik cihazlar bile mevcuttur. Dolayısıyla aşırı hız konusunda bu kısmi iyileşme sadece radarın bulunduğu nokta ve civarında olmakta, uzun mesafeler boyunca etkili olamamaktadır. Bir başka dezavantaj da büyük miktarlarda polis sayısına, zamanına ve kaynaklarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için son yıllarda, diğer kullanım alanlarına [6] ilave olarak, otomatik plaka okuyan teknolojiler kullanarak ortalama hız limiti uygulamaları birçok gelişmiş ülkede ve özellikle de büyük şehirlerde (sürdürülebilirlikle paralel) yaygınlaşmaktadır [7-11]. Her ne kadar ilk kurulum masrafları yüksek olsa da ileriye yönelik trafik kazaları ile ilişkili sosyoekonomik maliyetlerin düşük oluşu gibi nedenlerden dolayı Ortalama Hız Tespit sistemleri

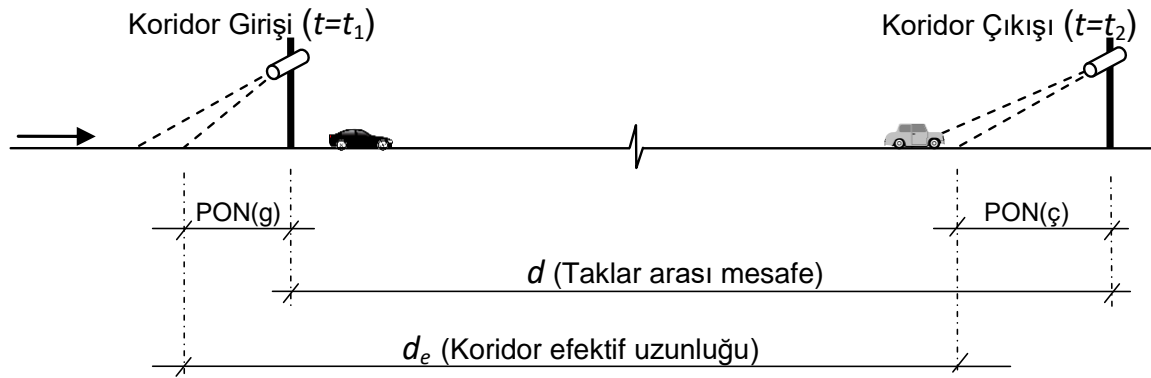
literatürde son derece etkili ve güvenilir bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

İtalya otoyollarında 2005 yılında başlayan ve geniş çapta uygulanan Ortalama Hız Tespit Sistemlerinin trafik kazaları üzerindeki etkisi uzun yıllar boyunca gözlemlenmiş ve oldukça tatmin edici oranlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. Örneğin kapsamının %10 artmasıyla kazalarda %3,9 azalma sağlanmış olması gibi dikkat çekici bulgular elde edilmiştir [12]. Sistemin uzun yıllar boyunca uygulandığı diğer ülkeler olan İngiltere, Hollanda ve Avusturya'da da benzer yararlar gözlemlenmiştir [13].

Ancak bu tür sistemlerin kurulum aşamasında bazı doğrulamaların yapılmamış ya da eksik yapılmış olması hukuki sorunlar doğurmaktadır. Ülkemizde bu sistemlerin kalibrasyonu / doğrulanması amaçlı ve genel kabul görmüş bir standart henüz olmamakla birlikte, Emniyet Genel Müdürlüğü'nün şartnameleri ve TÜBİTAK raporlarında [14] konu ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Ancak literatürde akademik bir yaklaşım (bir takım teknik raporlar haricinde (Örn. [15, 16]) henüz oluşmamıştır ve buna ciddi anlamda gereksinim vardır.

1.2. Ortalama Hız Koridoru Elemanları (Elements of An Average Speed Corridor)

Ortalama hız ihlal tespit sistemleri prensip olarak aralarındaki d mesafesinin bilindiği plaka tanıma özelliği olan iki adet kameradan geçen araçların sırasıyla t_1 ve t_2 olan geçiş zamanlarının bir yazılım tarafından kaydedildiği bir sistem mimarisine sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Sistem mimarisi - ön plaka okuma (System architecture – front number plate reading)

Burada araçların ortalama hızları

$$v_{ort} = \frac{d}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır. Bu iki nokta arasında iken araçların (anlık) hızlarının dalgalanması mümkündür, ancak ortalama hız sınırı konseptinde bu dikkate alınmaz.

Plaka okuyan kameralar koridordaki trafiği önden ya da arkadan görecektir şekilde konumlandırılabilirler. Her iki tür de pratikte kullanılmaktadır. Giriş ve çıkış taklarına monte edilen kameraların yola bakış açılarını birbiri ile aynı tutmak zorunluluğu olmadığı gibi bunu ayarlamak da kolay değildir. Önemli olan (bir takta birden fazla kamera varsa) bunların açılarının birbirleri ile aynı olmasıdır. Genelde o noktanın ışık vs. özelliklerine göre plakaları en iyi okuyabildikleri açıya göre montaj yapılır. Bu da her tak için ayrı bir Plaka Okuma Noktası (PON) tanımlamasını gerekli kılar. Şekil 1’de gösterilen bu PON uzunlukları pratikte genellikle 20-40 m civarındadır. Dolayısıyla artık (1)’deki formülde d (taklar arası mesafe) yerine d_e (koridor efektif uzunluğu) kullanılır:

$$v_{ort} = \frac{d_e}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Bu sistemler görüntü işleme (image processing) yazılımları ile plaka tanıma işini ya kamera içerisindeki küçük bir bilgisayar devresi ile, ya yol kenarındaki bir kabin içerisindeki endüstriyel bilgisayar ile, ya da çekilen resimleri ve zaman bilgilerini merkeze göndererek oradaki ana bilgisayar üzerinden gerçekleştirmektedirler. Bunlardan hangisi kullanılırsa kullanılsın, sistemin doğru bir şekilde çalışıyor olabilmesi aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

(a) Her bir kameranın yaptığı okumaya ait gerçek zamanın bütün sistemde aynı (senkronize) olması; ve

(b) (2) numaralı formülde kullanılacak olan koridor efektif uzunluğunun doğru bir şekilde ölçülmüş olması.

Bölüm 3’te anlatılacağı üzere, bu maddelerden sadece ikincisi detaylı ve kritik bir doğrulama çalışmasını gerektirmekte olup bu makalenin de konusunu teşkil etmektedir. İlk madde için, incelemesi yapılan sistemden sorumlu kurumun senkronizasyon hakkındaki beyanları doğrultusunda karar verilir.

Yukarıdaki (a) ve (b) maddelerinden hariç ayrıca bir de yazılım tarafından görüntü işleme teknolojisiyle okunan plakaların doğru okunmuş olması gerekmektedir. Plaka doğru okuma oranı kaç bildirilmiş ise ihlal tespitinin bu doğru okunan plakalar üzerinden yapıldığı, yanlış okunan plakaların ise hesaba katılmadığının kabul ve peşinen beyanı ile hareket edilir.

Doğrulama analizlerine geçmeden önce, bir sonraki bölümde pratikte kullanılan uzunluk ölçüm teknikleri hakkında kısaca bilgi verilecektir, çünkü bir doğrulama çalışmasında yapılması gereken en önemli iş kalemi d , PON(g) ve PON(ç) uzunluklarının doğru bir şekilde ölçülmesi olmalıdır.

2. UZUNLUK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ (DISTANCE MEASUREMENT TECHNIQUES)

2.1. Yolun Dijital Bir Projesi Varsa (Where A Digitised of The Road Is Available)

Piyasada mevcut dijital çizim yazılımları ortamında, doğrulaması yapılacak koridorun bulunduğu yola ait ölçekli çizilmiş bir projenin olması durumunda o çizimde işaretli herhangi bir noktadan hem proje üzerinde hem de sahada referans olarak giriş ve çıkış taklarının yerleri çizim üzerine işaretlenir. Daha sonra bu iki nokta arasındaki mesafe, yazılımın sanal cetvel özelliği kullanılarak ölçülür. Eğer taklara ait hassas GPS koordinatları alınmış ise bu koordinatlar bu dijital proje üzerine işaretlenerek tak konumları belirlenebilir.

2.2. Yolun Kağıt Ortamında Ölçekli Bir Projesi Varsa (Where A Paper Copy of The Drawing of The Road -To Scale- Is Available)

Bu durumda da yukarıdaki gibi ortak bir referans noktası vasıtasıyla tak konumları proje üzerine işaretlenir ve çizimin ölçeği kullanılarak iki tak arası mesafe fiziki bir cetvel yardımıyla gerek doğrusal gerekse poligon olarak okunur.

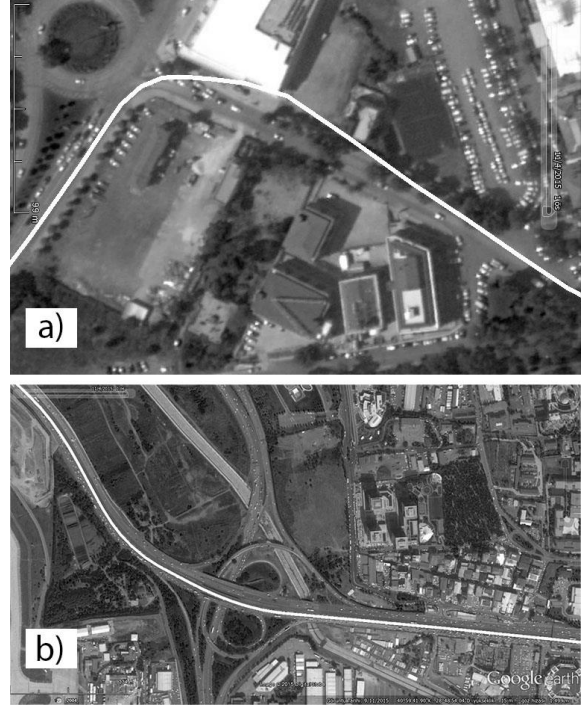
2.3. Dijital Harita Yöntemi (Using a Digital Map)

Yola ait ne dijital ne de kağıt ortamında bir proje mevcut değil ama hassas bir GPS cihazı kullanılarak tak koordinatları alınmış ise piyasada mevcut ticari bir dijital harita yazılım programına bu koordinatlar aktarılarak ve bu programın poligon uzunluğu ölçme özelliği kullanılarak iki tak arası mesafe okunur. Eğer koridor bir alıyman parçası ise iki tak arası kuş uçuşu mesafe $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ bağıntısını ya

da daha uzun mesafeler için Haversine [17] formülü kullanılarak da kolaylıkla hesaplanabilir. Burada (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) sırasıyla giriş ve çıkış taklarının (ya da daha doğru bir ifadeyle taklardaki kameraların) koordinatlarıdır. Yöntem, takım tünel içi gibi uydu bağlantısının kopduğu bir yere dek gelmesi veya tünel boyunca güzergâhın yatay düzlemdeki kuş bakışı planının kullanılan dijital haritada gözükmemesi gibi dezavantajlara sahiptir.

2.4. GPS Kaydı (Using GPS Logging)

Yukarıdaki gibi yine bir el GPS'i kullanarak ve cihazın iz kayıt (tracking) özelliğini açarak kat edilen yol boyunca sürekli ve otomatik olarak konum alımı yapılabilir. Bu tür cihazlar ya belirli bir zaman ya da mesafe aralığı sıklığında konum alırlar. Örneğin 'her iki saniyede bir' ya da 'her 20 metrede bir' gibi. Dolayısı ile çok sık konum alındığından dolayı her bir kaydın barındırdığı hatalar birbirini nötrleştireceğinden iz kayıt özelliği hareket halindeki bir aracın izlediği yolu (araç aşırı hızlı hareket etmediği ya da araç keskin kurpları dönmediği müddetçe) oldukça iyi bir şekilde gösterebilmektedir (Şekil 2). Daha sonra, cihazın kaydettiği bu *tracking log*'a ait toplam uzunluk doğrudan okunabilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, ayarlama sırasında konum alma sıklığını 'zaman' değil de 'mesafe' üzerinden verilmesi gerektiğidir. Çünkü test aracı eğer iz kayıt sırasında duraklama yapmış ise cihaz bu sırada da konum almaya devam edecek ve toplam iz uzunluğunu yanlış yere arttıracaktır (Şekil 3). Ama mesafe üzerinden sıklık ayarı yapıldı ise araç durduğunda (yer değiştirme olmadığından) cihaz konum ataması yapmayacaktır. Bu çok önemli bir husustur. Ayrıca, mesafe sıklığı cihazın hassaslığından daha küçük olmamalıdır. Özellikle bulutlu hava şartlarında el GPS cihazlarının hassaslığı düşeceğinden çok kısa seçilen mesafe sıklığında araç hareket etmiyorken bile cihazın sehven konum okumasına yol açılabilir. Cihazın uydu ile olan bağlantısının araç dışındaki gibi iyi olması için test süresince mümkünse araç içerisinde yan camın açılıp cihazın dışarıda tutulması ya da harici anten bağlantısı ile desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca aynı test için birden fazla cihaz kullanarak her bir cihazın ürettiği iz, harita yazılımında üst üste getirilerek ortalama bir uzunluk da okunabilir.



Şekil 2. (a) Keskin kurpların hızlı geçilmesi sırasında artan iz kayıt hatası ve (b) alıyanda ve büyük yarıçaplı kurplarda iyileşen hassaslık ((a) Increased tracking error when travelled fast along sharp curves and (b) improved sensitivity along straight sections, or curves with large radii)



Şekil 3. Konum alma sıklığının 'zaman' biriminde seçilmesi halinde test aracının duraklaması sonucu oluşan gerçek dışı ilave mesafe (additional unrealistic tracking distance occurred, as a result of stopped test vehicle, when 'time-based' tracking option is selected)

2.5. Araç Kilometre Gösterge Yöntemi (Using Test Vehicle's Odometer)

Çok uzun koridorlarda, aracın kilometre sayacı sıfırlandıktan sonra, hep aynı şeritte kalmak kaydıyla bir taktan diğerine araç sürülür ve taklar arası mesafe okunur ancak bu tür sayaçlar genelde kilometrenin 1/10'unu gösterebilirler. Dolayısı ile yöntem 0 ila 100

metre arasında bir hata içerir. Ancak eğer giriş takında sıfırlanan sayacın son hanesi tesadüfen tam da çıkış takına gelindiğinde yeni bir rakama atmış ise o zaman tam değer okunmuş olur, ama bu düşük bir ihtimaldir. Yöntemin bu hassaslık sorununu gidermek adına pratikte şöyle bir taktik izlenmektedir: Giriş takının altında sayaç sıfırlanarak koridor boyunca test aracı sürülür ve çıkış takının altına gelindiğinde sayacın son hanesindeki rakam değişinceye kadar biraz daha sürüşe devam edilir ve tam yeni bir değere attığı noktada test aracı durdurulur. Daha sonra araçtan inerek geriye (çıkış takına) doğru tekerlekli mesafe ölçer vb. bir metot kullanılarak bu ilave uzunluk geriye doğru ölçülür. Bu ilave değer araç kilometre göstergesinin okuduğu toplam uzunluktan çıkartılır. Uydu bağlantısı gerektiren yöntemlerin kullanılmadığı tünel içi gibi yerlerde bu metot avantajlı olabilir.

2.6. Tekerlekli Mesafe Ölçer Yöntemi (Using a Road Measuring Wheel)

Çok uzun olmayan koridorlarda ya tekerlekli mesafe ölçerin el ile banket üzerinde sürülmesi ya da trafiğin çok az olduğu bir zamanda araç içerisinde yolcu tarafında oturan bir kişinin aracın kapısını açıp tekerleği dışarıda tutarak aracın da yavaş bir hızda bankette veya bankete yakın şeritte sürülmesi ile yapılan bir okumadır. Her ne kadar bu ikinci uygulama (kaza riski taşınması, yol yüzeyi bozukluklarından etkilenmesi ve bu cihazın sadece yürüyüş hızında kullanılmak üzere üretilmiş olması gibi nedenlerden dolayı) tavsiye edilemese de pratik oluşu nedeniyle uygulamada kullanılmaktadır. Tekerlek yöntemi ile uzunluk okumalarında tekerleğin ilerlerken sinüzoidal bir hareket yapıyor olması ölçülen uzunluğun gerçektekinden bir miktar fazla okunmasına yol açmaktadır.

2.7. Lazermetre (Using a Laser Distance Meter)

Elektronik ve optik uzunluk ölçerlerden olan lazermetreler oldukça hassas cihazlardır. 350 metreye kadar olan uzunluklar için kullanılan el tipi cihazlarda hassaslık 1-3 mm civarındadır [18]. Karşı uçta reflektör prizma kullanılması halinde doğrusal ölçüm mesafesi birkaç kilometre mertebelerine kadar çıkabilmektedir.

2.8. Çelik Şerit Metre (Using a Type Measure)

Gergin tutulmak şartıyla şerit metreler de kısa mesafelerin ölçümünde kullanılabilir. Şerit metrenin

yaptığı sehim hesaplanarak okunan uzunlukta (Bölüm 2.6'dakine benzer) bir düzeltmeye gidilebilir [19].

2.9. Diğer Jeodezik Yöntemler (Other Surveying Techniques)

Koridor doğrulaması yapan trafik mühendisinden hariç, harita mühendisliği teknik elemanlarından yardım alınarak nivelman yoluyla da hassas koridor uzunluğu ölçümü yapmak mümkündür, ancak ekip kalabalıklaştıkça sistemin doğrulama maliyeti artacaktır.

3. DOĞRULUĞA ETKİ EDEN

PARAMETRELER (PARAMETERS AFFECTING THE VERIFICATION PROCESS)

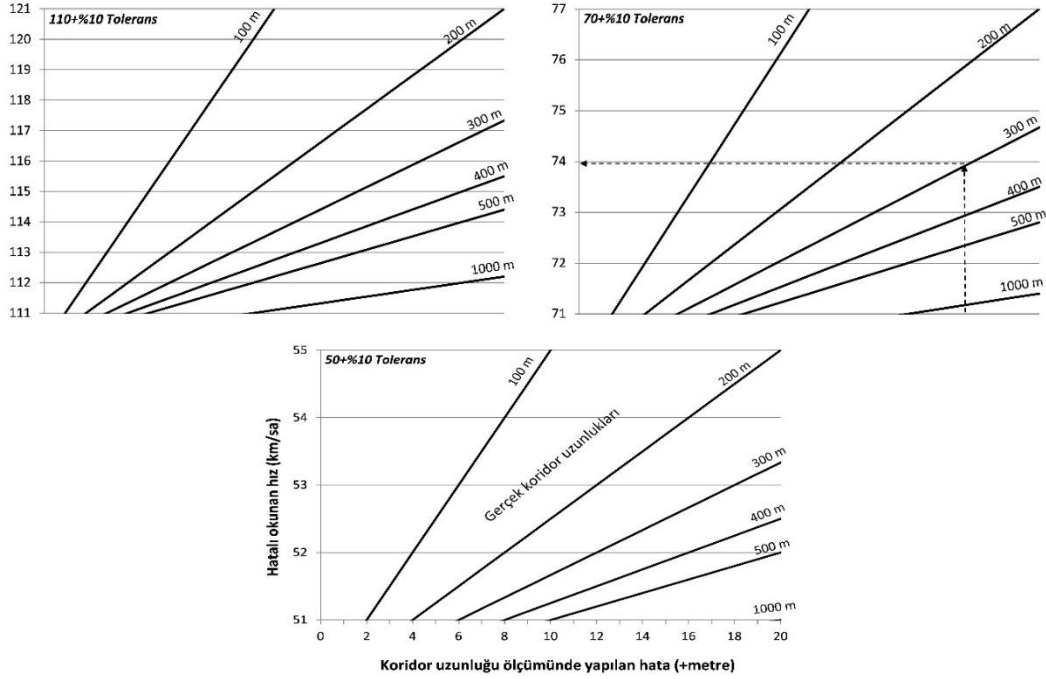
3.1. Mesafe Parametresi (Distance Parameter)

Mesafe parametresi giriş ve çıkış kameralarının arasındaki mesafenin (ve PON uzunluklarının) doğru ölçülmesine bağlıdır. PON uzunlukları belirlenirken test aracı yavaş hızlarda taka yaklaşırken kameranın plakayı hangi noktada okumaya başladığı ve sonlandırdığı, merkezdeki bir gözlemci ile koordineli bir şekilde gerçek zamanlı telefon bağlantısı ile tespit edilmektedir [16]. Bu mesafelerin sahada ölçülmesi değişik yöntemlerle olabilir (Bölüm 2). Her bir yöntem kendi içerisinde bir hata potansiyeli içerebilmektedir. Bu mesafenin yanlışlıkla fazla ölçülmesi, ortalama hızı gerçek değerinden daha yüksek gösterecek bu da sürücü aleyhine olan bir durum olarak itiraza delil teşkil edecektir. Özellikle kısa koridorlarda veya 'Emniyet Şeridi İhlal Tespit' sistemlerindeki gibi giriş ve çıkış kameraları arası mesafenin 70 metrelere kadar düştüğü uygulamalarda bu parametre çok daha kritik olmaktadır.

Mesafenin sehven az ölçülmesi durumunda $d_e / (t_2 - t_1)$ kesrinde 'payda' aynı ancak 'pay' olması gerekenden küçük olacağından, hesaplanan ortalama hız, olması gerekenden daha az zannedilecektir. Benzer şekilde, mesafenin yanlışlıkla fazla ölçülmesi durumunda $d_e / (t_2 - t_1)$ kesrinde 'payda' aynı ama 'pay' olması gerekenden büyük olacağından, hesaplanan ortalama hız, olması gerekenden daha büyük zannedilecektir. Bu noktadan hareketle, sistemin mesafe ölçümünde barındırabileceği hata oranları bilinmeli ve en kötü senaryo dikkate alınmalıdır. En kötü senaryo, bir koridordan geçen taşıt sürücüsünün aldığı cezaya itiraz etmesi durumunda, "söz konusu kesirdeki mesafenin gerçektekinden daha büyük ölçüldüğü ve bu kişinin hızının yanlışlıkla yasa ile belirlenen eşik değerinden yüksek çıktığı" iddiasıdır.

Doğrulaması yapılan bir sisteme ait gerçek zamanın tam doğru olduğunu kabul ederek, sahada ölçülen koridora ait herhangi bir uzunluğun (taklar arası mesafe veya efektif uzunluk) hata içermesi durumunda Bölüm 1.2’de verilen (2) numaralı denklemden hesaplanan ortalama hız (v_{ort}) değeri de

hatalı olacaktır. Bu denklemdeki de mesafesinin hatalı ölçülmesinin nedenleri değişik ihtimallerin birinden ya da birkaçından kaynaklanabilmektedir. Mesafenin yanlış okunması durumunda hıza yansıyan hata Şekil 4’te özetlenmektedir.



Şekil 4. Gerçekte 50, 70 ve 110 km/sa hızla giden araçların zannedilen hızları (Speeds read off in error while the real vehicular speeds are 50, 70 and 110 km/h)

Bu abaklarda ilk önce x ekseninde mesafenin ne kadar hata ile gerçektekinden fazla okunduğu işaretlenmeli, daha sonra doğrulaması yapılan koridor uzunluğuna en yakın eğri kestirilmeli ve son olarak da y ekseninden hızdaki hata okunmalıdır.

20 metreden daha büyük hatalar için veya şekilde verilen 3 farklı hız sınırından daha farklı hız sınırları için doğrulayıcı gerekirse kendi abağını kendisi üretebilir. Bunun için yapılması gereken, hız limitinde hareket etmekte olan bir aracın gerçek koridor uzunluğunu kat edeceği sürede bu aracın daha uzun bir mesafeyi kat ettiği yansısının yol açtığı gerçektekinden daha yüksek bir hızın hesaplanmasından ibarettir.

Bir sonraki bölümde, koridor içerisinde aliymandan başka bir de yatay kurp bulunması halleri incelenecek ve benzeri hata abakları üretilecektir.

3.2. Zaman Parametresi (Time Parameter)

Zaman parametresine göre sistemde kullanılan kameraların doğru çalışması ve belirli aralıklarla merkezi bir referans saatten güncelleme yapıyor olması gerekmektedir ki günümüz teknolojisi ile bu son derece hassas bir şekilde (nanosaniye mertebesinde) icra edilmektedir. Zaman eşitleme aracı olarak NTP (Network Time Server) kullanılması durumunda saha noktaları, sistemlerin bağlı bulunduğu merkezde kurulu olan NTP sunucusu ile haberleşerek sahip olduğu tarih ve zaman değeri için talepte bulunurlar. NTP sunucusuna iletilen talebe yanıt olarak, sunucunun tarih ve zaman değeri, ilgili saha noktasına gönderilir. Alınan tarih ve zaman değeri sistem zamanı olarak ayarlanır. Zaman eşitleme aracı olarak GPS kullanılması durumunda saha noktaları üzerinde bulunan GPS alıcı üzerinden sürekli olarak GPS uydusunun tarih ve zaman değerlerini alırlar. Uydudan alınan değer evrensel olduğu için ilgili bilgi yerel tarih saat bilgisine dönüştürülür. Sistem alınan tarih saat bilgisine göre kendi tarih saat bilgisini ayarlar. Koridor giriş ve çıkış

noktaları arasında eşitlenmiş zaman ile haberleşme koridoru oluşturan giriş ve çıkış noktalarının aynı eşitleme aracı ile zaman eşitlemesi yapıyor olması çok büyük önem arz ettiği için sistemi oluşturan giriş veya çıkış noktalarından birinin eşitleme aracı ile bağlantısının kopması zaman bilgisi farklılıklarına yol açacağı muhakkaktır. Bu nedenle noktaların aynı zaman bilgisine sahip olabilmesi için uygulama NTP ve GPS ile yapılan zaman eşitlemeleri için birbirinden farklı listeler tutar. Farklı olarak tutulan bu listelerde noktadan geçen araçların plaka, tarih ve saat bilgileri bulunur. Böylelikle sistemlerin arıza veya istenmeyen durumlarda kapalı kalması halinde bile eşitleme yapılan eşitleme aracı ve noktalardan geçen araçların bilgileri saklanmış olur. Herhangi bir nedenden ötürü zaman eşitleme aracı ile haberleşme koptuğunda giriş ve çıkış taklarının bağlantılarında bir sorun olmasa dahi, ilgili listelerde herhangi bir işlem gerçekleşmediğinden dolayı saha noktalarından geçen araçlar değerlendirmeye alınmaz [20].

3.3. Kamera Okumaları (Camera Readings)

Kameralarla yapılan plaka okumalarının mümkün olduğunca eksiksiz ve doğru yapılması gerekmektedir. Geçen tüm araçlar üzerinden plaka yakalama oranı en az %70, doğru plaka yakalama oranı ise en az %95'tir [21]. Bu doğrulamanın yapılabilmesi için her bir kamera noktasından yeterli miktarda geçiş yapılması ve bu geçişlerin kamera kayıtlarından elde edilen plaka okuma raporlarıyla kıyaslanarak bir yüzde belirlenmesi gerekmektedir. El ile yapılan bu kontroldeki geçiş sayısı ne kadar fazla olursa hata payı da o kadar az olacaktır. Örneklem büyüklüğü için, arzu edilen bir standart sapma ve hata değerine karşılık gelen istatistiksel bir formül de kullanılabilir.

4. YATAY KURP İÇEREN KORİDORLAR (CORRIDORS COMPRISING HORIZONTAL CURVES)

4.1. Basit ve Birleşik Kurplar (Simple and Compound Curves)

Koridor içerisinde yatay kurp olması halinde, ölçülen koridor uzunluğu platformun solunda ve sağında farklı çıkacaktır. Örneğin, tek kurp içeren bir koridorda (Şekil 5) hareket istikametine göre saat yönünün tersinde bir kurp varsa koridor banket tarafında daha uzun, refüj tarafında ise daha kısa olacaktır.

Bu durumda (sahadaki uzunluk ölçümleri eğer banket çizgisinde yapılmış ise) koridor uzunluğu, dış

(en sol) şeritten giden sürücülerin aleyhine olacak şekilde formüle girecektir. Eğer koridor uzunluğu projedeki 'eksen hattı' boyunca (refüjden) tespit edilmiş ise, bu kez de iç (en sağ) şeritten giden sürücünün aleyhine bir durum doğacaktır.

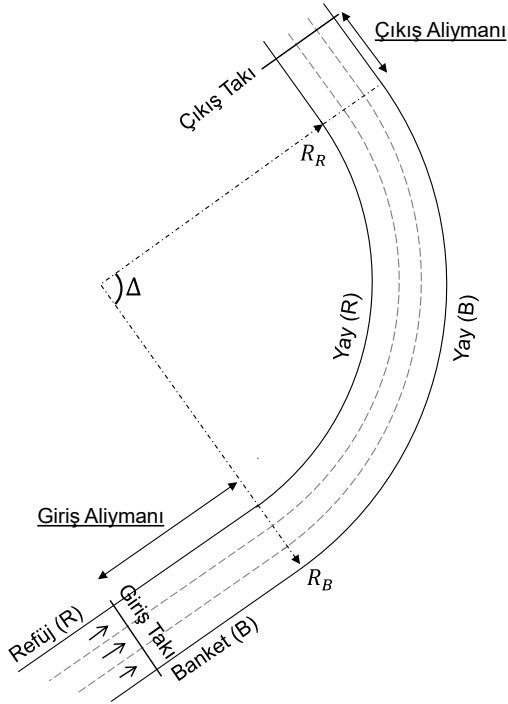
Örneğin, 3,5 m'lik şerit genişliği için banket ve refüj kenarlarına ait yarıçaplar sırasıyla $R_B = 100$ m ve $R_R = 100 - (3 \times 3,5) = 89,50$ m olsun. Bu durumda şeritleri ortalamayan bir araç dış şerit (bankete yakın olan) için $100 - 3,5 \cdot 0,5 = 98,25$ m ve iç şerit (refüje yakın olan) için $89,5 + 3,5 \cdot 0,5 = 91,25$ m yarıçapları hareketini gerçekleştirecektir. Rakordmansız bu kurbun aliyman kolları arasındaki sapma açısı da $\Delta = 90^\circ$ ise, platformun banket ve refüj kenarları arasındaki yay uzunluğu farkı:

$$\text{Yay (B) uzunluğu} = \frac{2\pi 98,25}{360} 90 = 154,3 \text{ m}$$

$$\text{Yay (R) uzunluğu} = \frac{2\pi 91,25}{360} 90 = 143,3 \text{ m}$$

yaklaşık olarak 11 m çıkacaktır ($154,3 - 143,3 = 11$ m). Toplam koridor uzunluğu da dolayısı ile banket tarafında: $\Sigma d = \text{Aliymanlar} + 154,3$ m ve refüj tarafında ise: $\Sigma d = \text{Aliymanlar} + 143,3$ m olacaktır.

Bu yolda ortalama hız sınırı 70 km/sa ve koridor uzunluğu banket çizgisinde 300 m ölçülmüş olsun. Gerçekte tam 70 km/sa hızla refüje yakın kenardan gitmekte olan bir aracın hızı sehven (Şekil 4'teki abak kullanılarak) 72,5 km/sa zannedilecektir.



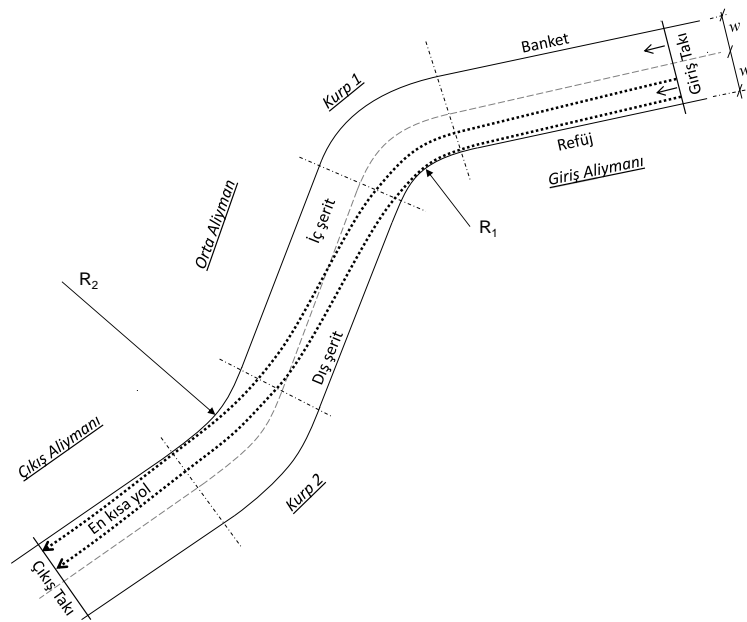
Şekil 5. Yatay kurpların koridor uzunluğuna etkisi (*The effect of horizontal curvature on corridor lengths*)

Şerit sayısı, kurp uzunluğu ve sapma açısının artması, koridor toplam uzunluğunun ise kısalması durumlarında bu hata daha da büyüyecektir. Ayrıca koridorun aynı yönde dönen birden fazla kurp (veya birleşik kurp) içermesi durumunda da bu hata yine büyüyecektir.

4.2. Ters Kurplar (Reverse Curves)

Uzunluk ölçümünün banket tarafından mı yoksa refüj tarafından mı yapıldığına bağlı olarak kurp bölgesinde birbirinden farklı çıkan uzunlukların yukarıda anlatılan hataları barındırmasından başka, sürücü itirazlarına yol açabilecek bir diğer durum da koridor içerisinde ters kurp bulunması halinde bu kurpların sürücüler tarafından 'kullanımı' ile ilgilidir. Pratikte bilinmektedir ki birçok sürücü, kurp içerisindeki yanal ivmenin tesirini azaltmak için halk arasında 'virajı dardan alma' olarak bilinen (corner-cutting) alışkanlığına sahiptirler. Bu tür şerit değiştirmeler kat edilen mesafenin de küçülmesine yol açar. Böyle bir aracın giriş ve çıkış takımlarında okunan zamanlar arasında kat ettiği mesafe, bu aracın hep şeridinde kaldığı yanılgısıyla (ama gerçekte sürücü kurpları hep dardan almış ise) gerçekteki uzunluktan daha büyük zannedilecektir. Dolayısıyla bu araca ait hesaplanan ortalama hız da gerçektekinden daha yüksek çıkacaktır. Şekil 6'da iki şeritli ve Şekil 7'de de üç şeritli bir yol için bu durum gösterilmektedir.

Şeridinde giden bir araç ile yolu kısaltmak niyetiyle şerit değiştiren bir aracın kat ettikleri mesafelerin kıyaslanabilmesi için şöyle bir model geliştirilebilir. Orta alıymanı olan ve sadece bir çift ters kurp içeren bir koridor düşünülün (Şekil 6). Ayrıca 1 numaralı kurba ait yarıçap, 2 numaralı kurba ait yarıçaptan küçük olsun ($R_1 < R_2$). Bu durumda;



Şekil 6. İki şeritli ve ters kurp içeren bir koridorda en kısa yola ait tekerlek izi (*The shortest wheel path of a two-lane corridor with a reverse curve*)

(i) Sürekli iç şeritte ilerleyen bir aracın koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(i) &= \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_1 + w + \frac{w}{2} \right) + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_2 + w) \\ &= \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) \end{aligned}$$

(ii) Sürekli dış şeritte ilerleyen bir aracın koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(ii) &= \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + w) + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + w + \frac{w}{2} \right) \\ &= \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) \end{aligned}$$

(iii) ‘Bencil’ şerit değiştiren (Şekil 6’daki tekerlek izine sahip) bir araç ise her iki kurbu da dardan alacağından koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(iii) &\cong \\ & \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + w) + \sqrt{(\text{Orta Aliy.})^2 + w^2} \\ & \quad + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + \frac{w}{2} \right) \\ & \quad + \text{Giriş Aliy.} + \text{Çıkış Aliy.} \\ &\cong \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) + \sqrt{(\text{Orta Aliy.})^2 + w^2} \\ & \quad + \text{Giriş Aliy.} + \text{Çıkış Aliy.} \end{aligned}$$

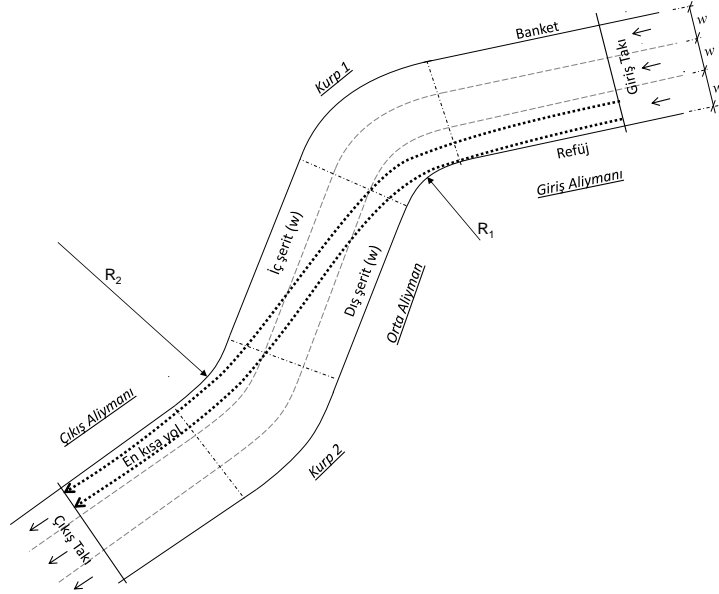
olacaktır. Buradan $d(iii) < d(i) = d(ii)$ olduğu çıkmaktadır.

Modeli gereksiz detaydan kurtarmak adına şöyle bir kabul yaparak, problem daha da basite indirgenebilir: (i) ve (ii) araçları orta aliymanı düz geçerken, (iii) aracı bu aliymanı (oluşan üçgenin hipotenüsünden) diyagonal geçmektedir. Ancak aliyman uzunluğunun yanında sadece bir şerit genişliği (w) kadar olan bu yanal kayma ihmal edilebilir. Dolayısıyla bu kabule göre (iii) aracı ile diğer iki araç arasındaki tek fark (iii) aracının her iki kurbu da dardan alması olur. (i) ve (ii) araçları ise sadece tek bir kurbu dardan almaktadırlar. Böyle bir koridorda kendisine atfedilen hız değerine itiraz eden bir sürücünün iki tak arasını (verilen sabit bir $t_2 - t_1$ zaman diliminde) kat edebileceği en kısa mesafe, olsa olsa ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(iii) &\cong \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_1 + \frac{w}{2} \right) + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + \frac{w}{2} \right) \\ &\cong \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + w) \quad (3) \end{aligned}$$

kadar olacaktır. Burada doğrulama işlemi yapan akademisyenin (ya da bilirkişinin) kendisine sunulan (resmiyetteki) koridor uzunluğunu (2) denklemindeki değere düşürmesi ve yeni bir hız hesaplaması gerekmektedir. Böylelikle sürücü aleyhine doğabilecek en uç ihtimal bile bertaraf edilmiş olacaktır.

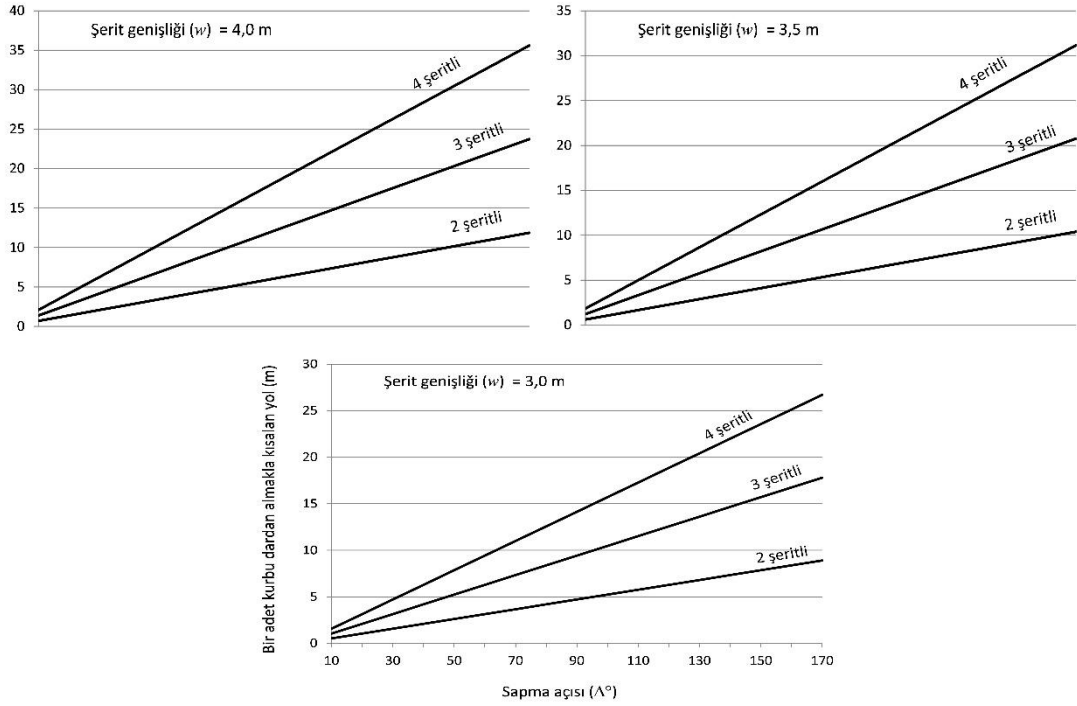
(3) numaralı denklem gerekirse üç (Şekil 7) veya daha fazla şeritli yollar için de kullanılabilir. Sadece dikkat edilmesi gereken, şerit genişliği (w) ekleme ve çıkarmalarında şerit sayılarının hesaba katılmasından ibarettir.



Şekil 7. Üç şeritli ve ters kurp içeren bir koridorda en kısa yola ait tekerlek izi (The shortest wheel path of a three-lane corridor with a reverse curve)

Doğrulama işleminde kolaylık olması bakımından, (hepsi de aynı istikamette akan) 2, 3 ve 4 şeritli yollar için aşağıdaki abaklar üretilmiştir (Şekil 8). Bu abaklarda ilk önce x ekseninde kurba ait sapma açısı

seçilir daha sonra ilgili eğri kestirilir ve y ekseninden (bir kurbun dardan alınması ile) meydana gelecek yol kısalma miktarı okunur.



Şekil 8. Bir kurbun dış şerit yerine iç şeritten alınması halinde yol uzunluğundaki kısalma (Reduced length of the travel path when corner cutting takes place from the outside lane toward the inside lane)

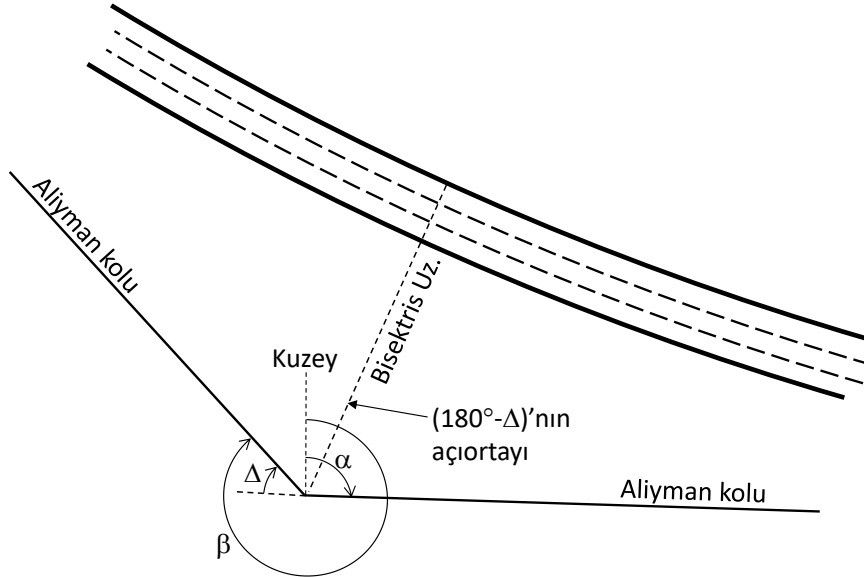
4.3. Basit ve Ters Kurplara Ait Yarıçapların Temini (Obtaining the Radii for Simple and Compound Curves)

Yukarıdaki formüllerde geçen R yarıçapının temini gerçek hayatta kolay olmayabilir. Şöyle ki, pratikte (yolun ölçekli bir projesi hazırda mevcut değilse) karp yarıçapları çoğu kez bilinemez. Harita üzerinden yarıçap okumak da oldukça zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Onun yerine yatay kurba ait aliyman kolları arasındaki Δ sapma açısını harita üzerinden okumak ise çok daha kolaydır. Bu iki aliyman kolunun kesişim noktasından karp yayına olan (lineer) bisektris uzunluğu da kolaylıkla ölçülebilir. Örneğin Şekil 9'da görülen karp üzerine Google Earth Pro programında yerleştirilen kollar arası sapma açısı ve bisektris uzunluğu programın cetvel arayüzü kullanılarak okunabilir. Bu programa ait bu sanal cetvel arayüzündeki "Yön" bilgisi Kuzey'den itibaren saat yönünde derece cinsinden açıyı vermektedir.

Dolayısı ile iki kol arasındaki sapma açısı: $\Delta = \beta - \alpha - 180^\circ$ formülünden kolaylıkla bulunur (Şekil 10).



Şekil 9. Yarıçapı bilinmeyen bir yatay kurba ait bisektris uzunluğunun ve açısının Google Earth Pro programı üzerinden okunması (Reading the external distance and the deflection angle of a horizontal curve from Google Earth Pro where the radius is unknown)



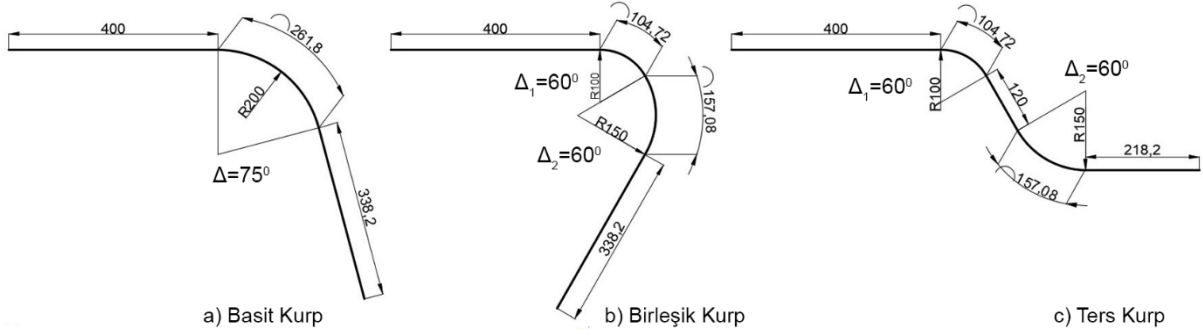
Şekil 10. Google Earth Pro programında kolaylıkla okunabilen ' α ' ve ' β ' açılarından ' Δ ' açısının hesaplanması, $\Delta = \beta - \alpha - 180^\circ$ (The calculation of the ' Δ ' angle from the ' α ' and ' β ' angles that are easily read from Google Earth Pro)

Daha sonra da aşağıdaki denklem kullanılarak yarıçap hesaplanabilmektedir ($\sec = 1/\cos$).

$$R = \frac{\text{Bisektris Uzunluğu}}{\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1} \quad (4)$$

4.4. Basit, Birleşik ve Ters Kurplara Ait Bir Uygulama (A Demonstration on Simple, Compound and Reversing Curves)

Kurpların ortalama hıza etkisini inceleyebilmek için Şekil 11'de görülen toplam karp uzunlukları ve güzergâh uzunlukları birbirine eşit 3 farklı örnek oluşturulmuştur. Tablo 1'de bu kurplara ait detaylar verilmiştir.



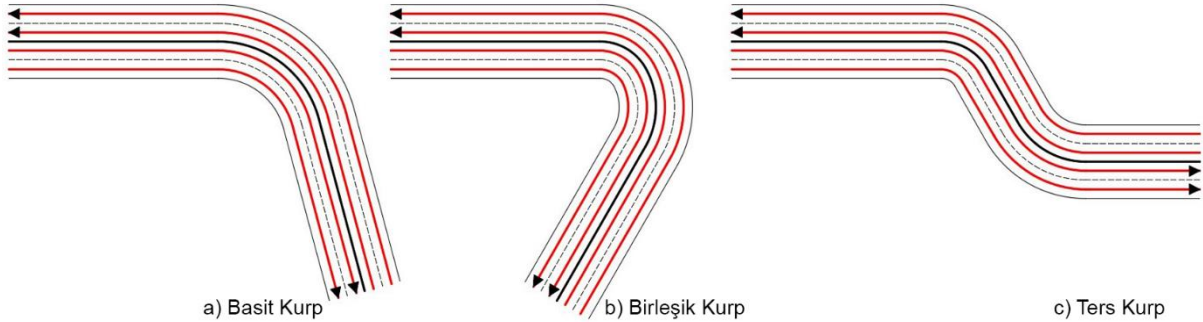
Şekil 11. a) Basit karp, b) Birleşik karp ve c) Ters Karp (a) Simple Curve, b) Compound Curve and c) Reversing Curves)

Tablo 1. Kurplara ait detaylar (Curve properties)

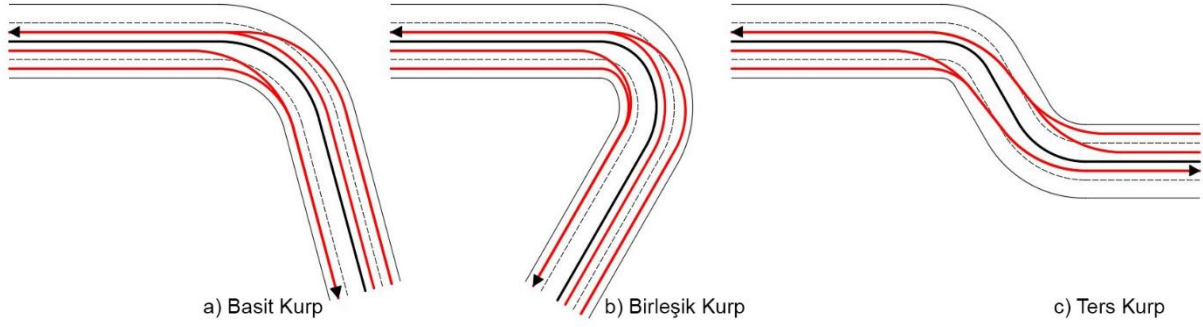
	Basit Karp	Birleşik Karp	Ters Karp
1. Aliyman	400,00m	400,00m	400,00m
1. Karp	D=261,80m; R=200m; $\Delta=75^\circ$	D=104,72m; R=100m; $\Delta=60^\circ$	D=104,72m; R=100m; $\Delta=60^\circ$
2. Aliyman	338,20m	338,20m	120,00m
2. Karp	-	D=157,08m; R=150m; $\Delta=60^\circ$	D=157,08m; R=150m; $\Delta=60^\circ$
3. Aliyman	-	-	218,20m
Σ Aliyman	738,20m	738,20m	738,20m
Σ Karp	261,80m	261,80m	261,80m
Σ Güzergâh	1000,00m	1000,00m	1000,00m

Şekil 11'de verilen güzergahlardan şerit genişliği 3,5m olan, toplam 4 şeritli ve iki yönlü platformlar elde edilmiştir. Bu platformlarda araçların şeritleri ortalararak hareket ettiği varsayımıyla araç izleri Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada her aracın yolculuk boyunca şerit değiştirmedeği durum incelenmiştir. Şekil 13'te ise aynı platformlar üzerinde her bir şeritte

hareket eden aracın güzergahta en kısa yolu seçmesi durumu incelenmiştir. Şekil 12 ve Şekil 13'teki her bir yolculuk için kat edilen mesafeler Tablo 2'de verilmiştir. Şekillerde en üstte bulunan araç izi 1, en altta bulunan ise 4 numaralı araç izi olarak, diğerleri ise sırasıyla 2 ve 3 olarak adlandırılmıştır.



Şekil 12. Araçların şerit değiştirmeme durumları (Vehicles not changing lanes)



Şekil 13. Araçların en kısa mesafeyi seçme durumları (Vehicles choosing the shortest path)

Tablo 2. Araç izlerinden elde edilen yolculuk mesafeleri (Travel path lengths derived from wheeltracks)

Araç İzi	Şekil 12			Şekil 13		
	Basit Kurp (m)	Birleşik Kurp (m)	Ters Kurp (m)	Basit Kurp (m)	Birleşik Kurp (m)	Ters Kurp (m)
1	1068,72	1109,96	1000,00	1053,71	1087,00	961,95
2	1022,91	1036,65	1000,00	1022,91	1036,65	978,87
3	977,09	963,35	1000,00	946,29	913,00	979,07
4	931,28	890,04	1000,00	931,28	890,04	968,79

Şekil 12. Araçların şerit değiştirmeme durumları (Vehicles not changing lanes) Şekil 12’de oluşan araç izlerine göre ortalama hız hesabında Tablo 2’de görülen mesafelerin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 11’deki tasarıma göre güzergâh mesafelerininin 1000 m alınması durumunda hesaplanan hızların bazıları daha az bazıları ise daha fazla çıkacaktır. Bir

Tablo 3’teki gibi çıkacaktır. Şekil 12’deki gibi araçların hiç şerit değiştirmedeği düşünülürse bile kurplarda oluşan mesafe farklılıkları, hız sınırının aşıldığı algısını yaratmaya yetmektedir. Dolayısıyla araçların yanlışlıkla %33’üne hız cezası uygulanacaktır. Şekil 13’teki gibi araçların güzergâh üzerinde en kısa yollardan hareket etme isteği göz

araç 50 km/sa sabit bir hızla 1000 metre uzunluğundaki bir güzergâhı 72 saniyede kat edecektir. Şekil 12 ve Şekil 13’teki araçların 50 km/sa sabit hızla hareket etmeleri durumunda ise eğer 1000 m’lik bir yol kat ettikleri kabul edilirse farklı yolculuk süreleri ortaya çıkacak ve bu süreler üzerinden yapılacak hesapla hızlar

önüne alındığında ise bu oranın %67’ye kadar çıkabileceği görülmektedir. Her ne kadar hız sınırına ait %10’luk bir tolerans bulunsa da bunu sürücüler de bildiği için araç hızlarını bu toleransa göre arttırmaları söz konusudur. Bu durumda gerçek hızın ve ölçülen hızın tutarlılığı önem kazanmaktadır.

Tablo 3. Araçların gerçek hızları (Actual speeds of vehicles)

Araç İzi	Şekil 12			Şekil 13		
	Basit Kurp (km/sa)	Birleşik Kurp (km/sa)	Ters Kurp (km/sa)	Basit Kurp (km/sa)	Birleşik Kurp (km/sa)	Ters Kurp (km/sa)
1	46,8	45,0	50,0	47,5	46,0	52,0
2	48,9	48,2	50,0	48,9	48,2	51,1
3	51,2	51,9	50,0	52,8	54,8	51,1
4	53,7	56,2	50,0	53,7	56,2	51,6

Kimseye hak etmediği bir ceza yazılmaması durumunun güvenli taraf olduğu varsayımıyla eğer kameralar şeritlere göre okuma yapmıyorsa 1 ve 2

numaralı araçların bulunduğu bölgede mesafe 961,95 m; 3 ve 4 numaralı araçların bulunduğu bölgede ise 890,04 m olarak alınmalıdır.

5. BOYUNA EĞİMLİ YOLLAR (ROADS WITH LONGITUDINAL SLOPES)

Yolun %*s* kadar sabit bir boyuna eğim içermesi durumunda, koridorun planda okunan *d* uzunluğu gerçekte

$$\sqrt{\left(d \frac{s}{100}\right)^2 + d^2}$$

olacaktır. Ancak bu fark oldukça küçüktür. Örneğin %10 sabit eğim içeren ve planda 1000 m uzunluğa sahip bir koridorun gerçek uzunluğu $\sqrt{(1000 \times 0,1)^2 + 1000^2} = 1005 \text{ m}$ olacaktır. Bu da hız sınırının 110 km/sa olduğu bir yolda bile 1,0 km/sa'ten daha küçük bir hata anlamına gelmektedir (Bkz. Şekil 4).

Aslında böyle yollarda dikkat edilmesi gereken husus, sistemin boyuna eğimden kaynaklanan böyle bir hata payı içeriyor olmasından ziyade, boyuna eğimin araçlardaki hız sabitleyicilerini etkiliyor olmasıdır. Yeni kurulan bir sistemin doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için ilk etapta, iki nokta arasında bir test aracının sabit bir hızda sürülerek kontrol edilmesi pratikte sıkça başvuru bir yöntemdir. Ancak bu yöntem böyle bir yolda en az iki adet hata kaynağı içermektedir:

(a) Yolun boyuna eğiminden dolayı hız sabitleyici aracı hep aynı hızda tutamaz.

(b) Aracın hız göstergesi zaten (boyuna eğimsiz yollarda bile) gerçek hızı yansıtmaz. Araç üreticileri güvenli tarafta kalmak için genelde kadrana yansıtıkları anlık hızı 4-6 km/sa fazla gösterirler.

Dolayısı ile yeni kurulan bir sistemin kabaca test edilmesi bu yöntemle mümkün olsa bile, kesin kontroller yazımızın daha önceki bölümlerinde anlatılan teknikler kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Aşırı hızdan kaynaklanan kazaları azaltabilmek ve yol güvenliğini daha da etkili bir şekilde arttırabilmek adına hayata geçirilen ortalama hız sınırı uygulamaları birçok ülke için nispeten yenidir ancak hızla yaygınlaşmaktadır. Anlık hız ölçen radar türü cihazlardan farklı olarak bu sistemlerde zaman senkronizasyonu ve kameralar arası mesafelerin hatasız ölçülmesi 'olmazsa olmaz' şartlardandır. Ancak bu koşulların ve özellikle de efektif uzunluk parametresinin ölçülmesinde oluşabilecek hatalı okumaların sistem doğruluğu üzerindeki rolü şu ana

kadar yeterince çalışılmamış bir konudur. Bu teknik notta ilk önce mesafe ölçüm teknikleri tanıtılmış, avantaj ve dezavantajları hassaslıklarıyla birlikte verilmiştir. Daha sonra da koridor içerisinde yatay kurp olması gibi özel durumlarda sürücüler aleyhine oluşabilecek durumlar ve hata payları hesaplanmıştır. Çalışma ile yatay kurplarda hareket eden araçların tasarım uzunluğundan farklı mesafeler kat etmesi, bir örnek üzerinden açıklanmıştır. Bu örnekte hesaplanan farklı mesafeler efektif uzunluk hesabında göz ardı edilirse ortaya hatalı trafik cezalarının yazılması gibi istenmeyen durumlar çıkacaktır. Dolayısıyla hem ceza kesen hem de cezaya muhatap olan tarafın bir mağduriyet yaşamaması için efektif mesafe doğrulamalarının çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Kaleme alınan bu çalışma, ortalama hız ihlal tespit sistemlerinin kontrol ve doğrulamasını yapan uzmanlar için bir kaynak eser olma özelliği taşımaktadır.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

ANPR	: Automatic Number Plate Recognition
cos	: Kosinüs
<i>d</i>	: Taklar arası uzunluk
<i>d_e</i>	: Koridor efektif uzunluğu
GPS	: Global Positioning System
<i>km</i>	: Kilometre
<i>m</i>	: Metre
NTP	: Network Time Server
PON(ç)	: Koridorun çıkış takı için plaka okuma noktası
PON(g)	: Koridorun giriş takı için plaka okuma noktası
<i>R</i>	: Yatay kurp yarıçapı
<i>R_B</i>	: Banket çizgisinde yatay kurp yarıçapı
<i>R_R</i>	: Refüj çizgisinde yatay kurp yarıçapı
sec	: Sekant
<i>t</i>	: Zaman
<i>s</i>	: Yolun boyuna eğimi
<i>v</i>	: Hız
<i>v_{ort}</i>	: Ortalama hız
<i>w</i>	: Şerit genişliği
<i>x₁, y₁</i>	: Giriş-Çıkış takındaki kameranın koordinatı
Δ	: Yatay kurp sapma açısı
ℓ	: Tekerlek ile ölçülen uzunluk
$\delta\ell$: Tekerlek ile ölçülen uzunluktan çıkartılması gereken mesafe

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Saha çalışmalarımız sırasında her türlü desteği esirgemeyen İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSBAK A.Ş., Konya Emniyet Müdürlüğü, Konya Büyükşehir Belediyesi, FİDELİTUS A.Ş., Gaziantep Büyükşehir Belediyesi ve Kayseri Ulaşım A.Ş. yetkililerine teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca, bu çalışmalarda Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Trafik Laboratuvarının imkânları da kullanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Aarts and I. Van Schagen, "Driving speed and the risk of road crashes: A review," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 38, no. 2, pp. 215-224, March 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.004>
- [2] D. W. Soole, B. C. Watson, and J. J. Fleiter, "Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 54, pp. 46-56, May 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.01.018>
- [3] TÜİK, "Trafik Kaza İstatistikleri," 2019.
- [4] J. Jun, R. Guensler, and J. Ogle, "Differences in observed speed patterns between crash-involved and crash-not-involved drivers: Application of in-vehicle monitoring technology," *Transportation research part C: emerging technologies*, vol. 19, no. 4, pp. 569-578, August 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.09.005>
- [5] A. P. Akgüngör and E. Doğan, "An artificial intelligent approach to traffic accident estimation: Model development and application," *Transport*, vol. 24, no. 2, pp. 135-142, April 2009. Doi: <https://doi.org/10.3846/1648-4142.2009.24.135-142>
- [6] B. Günay, "Using automatic number plate recognition technology to observe drivers' headway preferences," *Journal of advanced transportation*, vol. 46, no. 4, pp. 305-317, June 2012. Doi: <https://doi.org/10.1002/atr.1197>
- [7] E. De Pauw, S. Daniels, T. Brijs, E. Hermans, and G. Wets, "Automated section speed control on motorways: An evaluation of the effect on driving speed," *Accident analysis & prevention*, vol. 73, pp. 313-322, December 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.005>
- [8] C. Goldenbeld and I. van Schagen, "The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents: An evaluation study on rural roads in the Dutch province Friesland," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37, no. 6, pp. 1135-1144, November 2005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.06.011>
- [9] A. Montella, V. Punzo, S. Chiaradonna, F. Mauriello, and M. Montanino, "Point-to-point speed enforcement systems: Speed limits design criteria and analysis of drivers' compliance," *Transportation research part C: emerging technologies*, vol. 53, pp. 1-18, April 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.025>
- [10] N. İ. Süt, M. Hamurcu, and E. Tamer, "Kampüste yeşil ulaşım uygulaması: Ring araçlarının seçimi için bir karar verme süreci," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, vol. 5, no. 1, pp. 9-21, March 2019. Doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.01.02>
- [11] B. Günay, M. Saltan, A. Ilgaz, and Y. Albayrak, "Area-wide ANPR coverage with a small number of instrumented vehicles," in *2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), June 3-5, 2015, Budapest, Hungary* 2015: IEEE, pp. 379-386.
- [12] M. Borsati, M. Cascarano, and F. Bazzana, "On the impact of average speed enforcement systems in reducing highway accidents: Evidence from the Italian Safety Tutor," *Economics of Transportation*, vol. 20, p. 100123, December 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100123>
- [13] L. Jateikienė and A. Vaitkus, "Average speed enforcement system efficiency assessment model," *Baltic journal of road and bridge engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 64-69, July 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2017.08>
- [14] TÜBİTAK, "Ulusal Metroloji Enstitüsünün 12/12/2013 tarih ve 231202 sayılı raporu," 2013.
- [15] B. Günay, "Konya Kenti EDS Sistemleri Doğrulama Raporu," Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Döner Sermaye Teknik Raporu, Antalya, 2013.
- [16] B. Günay, "İstanbul Kenti EDS Sistemleri Doğrulama Raporu," Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Döner Sermaye Teknik Raporu, Antalya, 2016.
- [17] C. Robusto, "The cosine-haversine formula," *American Mathematical Monthly*. Oxfordshire, England: Taylor & Francis, 1957, pp. 38-40.

- [18] B. F. Kavanagh and S. Bird, *Surveying: Principles and applications* (no. 526.9 K21s). New Jersey, US: Prentice-Hall, 1992.
- [19] J. C. McCormac, W. Sarasua, and W. J. Davis, *Surveying*. John Wiley & Sons, 2004.
- [20] A. Taçgın, "İSBAK AŞ. Bilgisayar Yüksek Mühendisi," ed: (Kişisel İletişim), 2016.
- [21] *2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun Ek 16'ncı Maddesinin Uygulanmasına İlişkin Usul ve Esaslar*, 2918 - 15, 1983.

Banihan GÜNAY

Yazar lisans öncesi eğitimini Antalya'da, lisans öğrenimini de Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı (1991). Daha sonra İstanbul Teknik ve İngiltere Newcastle Üniversitelerinde Ulaştırma Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimi aldı. Doktorasını yine aynı Anabilim Dalında yaptı (University of Newcastle upon Tyne, 2000). Daha sonra K. İrlanda Ulster Üniversitesinde Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaya başladı. 2009 yılında Doçent oldu ve memleketi Antalya'ya dönerek Akdeniz Üniversitesinde göreve başladı. 2014 yılında Profesör olan B. Günay'ın sahasında birçok uluslararası makale, kitap, bildiri, proje ve ödülleri mevcuttur. Yazar daha sonra üniversiteden ayrılarak piyasada serbest mühendis/akademisyen olarak çalışmaya başlamıştır.

Kadir AKGÖL

Yazar Denizli'de doğdu. Lisans öncesi eğitimini Denizli'de; lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimini ise Akdeniz Üniversitesi, Antalya'da tamamladı. 2013 yılında Akdeniz Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2018 yılından itibaren ise Giresun Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir. Alanında uluslararası yayınları (makale, bildiri, kitap) bulunmaktadır. Ortalama hız koridorları konusunda birikimi olarak tecrübesi bulunmaktadır.

Sıradan Sıraya LSTM Modeli ile Telegram Bot Uygulaması

Ali Hakan IŞIK^{*,a}, Ayşenur YAĞCI^b

^{a,*} Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ORCID:0000-0003-3561-9375, 15300, BURDUR, TÜRKİYE

^b Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ORCID:000-0001-8664-8067, 15300, BURDUR, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 23.02.2020
Kabul: 25.04.2020

Anahtar Kelimeler:

seq2seq,
chatbot,
telegram,
LSTM

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
ahakan@mehmetakif.e
du.tr

ÖZET

Sohbet botu (Chatbot), işitsel veya metinsel yöntemlerle kullanıcı ile sohbet eden bir yazılımdır. Gelişmiş sohbet botları, ilgili konuya uygun cevaplar verebilmektedir. Sohbet botlarında yapay zeka yöntemlerinin kullanılması etkinliğini artırmaktadır. Bu kapsamda, çalışmada LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) ve seq2seq modeli ile telegram bot uygulaması geliştirilmiştir. Çalışmada LSTM kullanılması bir sonraki konuşma eylemini tahmin etmek için konuşma geçmişine geri dönülebilmesini sağlamıştır. Çalışmada kaggle.com'dan alınan chatterbot veri kümesi kullanılarak zaman tasarrufu sağlanmıştır. Kullanıcı etkileşimi için pythonanywhere üzerinden telegram ile entegrasyon yapılmıştır. Çalışmanın eğitimi sırasındaki kayıp oranı ve diğer performans parametreleri TensorBoard ile görselleştirilmiştir. Çalışmada 50 adımlık eğitim, 13 saniyede tamamlanmıştır. Çalışmadaki kayıp oranı her adımda azalarak 50 adım sonunda 0.2772'ye düşmüş ve yüzde 79 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çalışma, modüler ve geliştirmeye açık bir şekilde tasarlanmıştır. Modüler yapıdaki çalışmanın eğitim süreci devam edilmesi sağlanarak farklı dilsel ifadelerin öğretilmesi sağlanabilecektir. Çalışmada, açık kaynak kodlu ve ücretsiz yazılımlar kullanılmıştır. Sunulan çalışma, güncel teknolojilerin kullanıldığı literatürde öne çıkan çalışmaların özelliklerinin biraraya getirilmesini sağlamıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.03>

Telegram Bot Application with Sequence to Sequence LSTM Model

ARTICLE INFO

Received: 23.02.2020
Accepted: 25.04.2020

Keywords:

seq2seq,
chatbot,
telegram,
LSTM

***Corresponding**

Authors

ahakan@mehmetakif.e
du.tr

ABSTRACT

Chatbot is a software that chat with the user by audio or textual methods. Advanced chat bots are able to provide appropriate answers related issues. Using artificial intelligence methods in chat bots increases efficiency. In this context, telegram bot application was developed with LSTM (Long Short Term Memory) and seq2seq model. The use of LSTM in the study enabled the return to speech history to predict the next speech action. Time saving was achieved by using chatterbot dataset from kaggle.com in the study. Telegram integration is provided via pythonanywhere for user interaction. The loss rate and other performance parameters during the training of the study were visualized with TensorBoard. In the study, the 50-step training was completed in 13 seconds. The loss rate in the study decreased at each step and decreased to 0.2772 at the end of 50 steps and 79 percent accuracy rate was obtained. The study is designed modularly and open to development. By continuing the education process of the modular study, it will be possible to teach different linguistic expressions. Open source and free software were used in the study. The presented study has brought together the features of the outstanding studies in the literature using state of art technologies.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.03>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Sohbet botu (Chatbot), işitsel veya metinsel yöntemlerle kullanıcı ile sohbet eden bir uygulama yazılımdır. Sohbet botlarının ilk

kavramsallaştırılması, 1950 yılında Alan Turing'in "makinelere düşünebilir mi?" sorusu ile başlamıştır. Sonrasında ise zamanla sohbet botu teknolojisi, doğal dil işleme ve makine öğrenmedeki gelişmelerle

birlikte günümüzdeki şeklini almıştır. Aynı şekilde, sohbet botu kullanımı, özellikle Facebook, Kik, Slack, Skype, WeChat, Line ve Telegram tarafından devam etmiş ve yaygın hale gelmiştir [1].

Sohbet botları genellikle diyalog sistemleri, müşteri hizmetleri, iş görüşmeleri veya bilgi edinme dâhil olmak üzere farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan iki tür sohbet botu bulunmaktadır. İlk sohbet botları, konuyu anlamaya çalışan, aynı konu hakkında her soru için daima aynı cevabı veren sohbet botlarıdır. Temel olarak, bu türden sohbet botları cevap için sınıflandırma algoritmalarını kullanmaktadır. Bu bot uygulamalarında, N tane konu ve N tane cevabın bir listesi bulunmaktadır. Uygulamada, sınıflandırılan konunun olasılığı düşükse kullanıcıdan daha özel ifade kullanmaları ve soruyu tekrar etmeleri istenmektedir. İkinci tür sohbet botları, daha gelişmiş, güncel teknolojileri kullanan ve aynı zamanda daha karmaşıktır. Bu botlardaki cevaplar, sıklıkla RNN (Tekrarlayan Sinir Ağı) kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu sohbet botları daha kişiselleştirilmiş ve uygun cevaplar verebilmektedir. Özel bir RNN türü olan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) kullanıcının sorularını daha iyi anlayabilmekte ve mümkün olan en iyi cevabı vermektedir. Geleneksel seq2seq sohbet bot modelleri, çıktı cümlelerinin duyarlılığını düşürmeden sadece girdi dizilerinde şartlandırılmış en yüksek olasılıklara sahip cümleleri bulmaya çalışmaktadır [2, 3].

İlgili bilgiler ile ihtiyaç duyulan cevap arasındaki farkın az olduğu durumlarda, RNN'ler geçmiş bilgileri kullanmayı öğrenebilmektedir. Tahmin edilmesi gereken kelime sayısı arttıkça, RNN'ler bilgileri birleştirmeyi öğrenememektedir. LSTM'ler ise bu soruna çözüm olarak bilginin uzun süre hatırlanması için tasarlanmıştır [2]. Çalışmada bilginin uzun süre hafızada kalması ve en yüksek olasılığa sahip olan en uygun cümlenin yerleştirilmesi için LSTM ve seq2seq TensorFlow Kütüphanesi kullanılarak bir sohbet botu tasarımı yapılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

Yeni ortaya çıkan ve güncel bir teknoloji olduğundan, literatürde sohbet botu alanında kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Çalışmada, bu kapsamda öne çıkan akademik çalışmalar sunulmuştur. Anbang Xu ve ark. tarafından yapılan “Sosyal Medyada Müşteri Hizmetleri İçin Yeni Bir sohbet botu” adlı çalışmada, derin öğrenme ile sosyal medyadan kullanıcıların

isteklerine otomatik olarak yanıtlar oluşturmak için yeni bir konuşma sistemi oluşturulmuştur. Değerlendirmede, taleplerin yüzde kırktan fazlasının duygusal olduğu, sistemin kullanıcıların duygusal durumlarla başa çıkmalarına yardımcı olmak için empati göstermede insansı ajanlar (human agents) kadar iyi olduğu sonucu elde edilmiştir [4].

Diğer bir çalışma ise Ming-Hsiang Su ve ark. tarafından yapılan yaşlı bakımı için LSTM mimarisi ile sohbet botu uygulamasıdır. Yaşlılar için böyle bir sistemin diğer sistemlerden daha gerekli olduğu düşünülerek tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan veri kümesi, yaşlılarla yapılan günlük konuşmalardan derlenmiştir. Aynı zamanda yaşlılarla sohbet ederken kelimeler ve cümleler arasındaki anlamsal bilgiyi bir seferde birden fazla cümle ile çıkarmak için LSTM modeli ve çok katmanlı bir gömme modeli uygulanmıştır. Uygun bir soru kalıbı seçmek için öklid mesafesi kullanılmıştır. Önerilen model cevap seçiminde yüzde 79,96 doğrulukla çalışmıştır [5].

“Telegram sohbet botu kullanarak yapay zeka ile IoT tabanlı akıllı çalışma alanı geliştirilmesi” adlı çalışmada, IoT teknolojisiyle sohbet botu teknolojisi birleştirilmiştir. Uygulama, çalışma alanlarındaki elektronik cihazları denetlemektir. Uygulama, internet üzerinden lamba, fan, çekmece kilidi, elektrik prizi ve sıcaklık kontrolü gibi işlevler gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, Telegram Messenger kullanılarak yapay zekâ sohbet botu yardımı ile yapılan kontrolü sağlamak için Esp 8266 ile uzaktan kumanda cihazı kullanılmıştır. Bu çalışma, çalışanların çalışma alanlarındaki elektronik cihazları, akıllı telefonlar veya bilgisayarlar üzerinden kontrol etmesini kolaylaştırmak için yapılmıştır [6]. Literatürdeki bu ve benzeri çalışmalardan da anlaşıldığı gibi sohbet botu, uygulamalarda kolay arayüzüyle bağlantı kolaylığı sağlamasından dolayı tercih edilen bir yazılımdır.

“RNN-LSTM kullanarak otomatik Tayland-SSS sohbet botu” isimli çalışmada belirtildiği üzere e-posta veya canlı sohbet gibi çevrimiçi müşteri hizmetleri bulunan e-ticaret modelinde, müşteriler çoğunlukla hızlı ve kolay kullanılabilir olduğu için canlı sohbeti kullanmaktadır. Bu ihtiyaçla birlikte, yöneticilerin cevap yazmak için ilave zaman harcaması gerekmekte ve müşterilerin cevapları beklemesi oldukça uzun sürmektedir. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen çalışmada, metin sınıflandırma için Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) modeliyle Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) kullanılarak müşterilere otomatik olarak yanıt veren bir sıkça

sorulan sorular (SSS) sohbet botu geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda sohbet botunun soruların % 86,36'sını algılayabildiği ve % 93,2 doğrulukla cevaplanabildiği gösterilmiştir [7]. Diğer benzer çalışmalarda da LSTM ile yapılan sohbet botların daha kısa zamanda daha iyi tahminler çıkardığı ve soruları daha yüksek olasılıkla algıladığı anlaşılmıştır.

Sunulan çalışmada, Telegram sohbet botu kolay arayüzüyle bağlantı kolaylığı sağlaması ve geliştirme kapsamında ücretsiz olduğu için tercih edilmiştir. Ayrıca çalışma, güncel teknolojilerin kullanıldığı literatürde öne çıkan çalışmaların özelliklerini biraraya getirilmesini sağlamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

3.1. Sıradan Sıraya Modeli (Sequence to Sequence Model)

Dizi modellerine göre dizilim, RNN mimarisine dayanmakta olup, iki adet RNN'den oluşmaktadır. Bunlar, kodlayıcı ve kod çözücüdür. Kodlayıcının görevi girdiyi, kod çözücünün görevi ise çıktıyı işlemektir. Kodlayıcı giriş olarak bir dizi (cümle) almakta ve her zaman adımında bir sembol (kelime) işlemektedir. Kodlayıcın amacı, gereksiz bilgileri kaybederken sıradaki sadece önemli bilgileri kodlayan bir sembol dizisini sabit boyutlu bir özellik vektörüne dönüştürmektir. Seq2seq modeli, bir kodlayıcı düğümüne karşılık çıktı üreten bir kod çözücü düğümüdür. Bu model, makine çevirisinde basit bir uygulamaya sahip olup, bir seferde yalnızca bir giriş kelimesine bakarak kolayca kod çözücü tarafından oluşturulabilmektedir [2]. Modelde her gizli durum bir sonraki gizli durumu etkilemekte ve son gizli durum dizinin özeti olarak görülmektedir. Bu duruma, dizinin amacını temsil ettiği için bağlam veya düşünce vektörü denilmektedir. Kod çözücü, bağlamdan bir seferde bir sembol (sözcük) olan başka bir sekans üretmektedir. Burada, her bir zaman adımında, kod çözücü içerikten ve daha önce oluşturulan sembollerden etkilenmektedir. Bu modeli kullanırken oluşan sorunlardan biri de modelin değişken uzunluktaki dizileri kullanamamasıdır. Bütün dizi-dizi uygulamaları değişken uzunluklu dizileri içermektedir [8]. Bu sorun, eğitimden önce sabit uzunluk dizileri içine değişken uzunlukta dizileri dönüştürmek için veri kümesi üzerinde padding işlemi yapılarak çözülmüştür.

3.1 Kelime Gömme (Word Embedding)

Kelime gömme, düşük boyutlu bir vektör uzayda kelimelerin yoğun temsilini öğrenmek için bir tekniktir. Her kelime, sabit uzunluktaki bir vektörle

temsil edilen bu alanda bir nokta olarak görülebilmektedir. Kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiler bu teknikle ortaya çıkarılmaktadır. Sözcük gömme tipik olarak ağırlık katmanında yapılmaktadır. Sözcük gömme, bir sözcükten sözcük büyüklüğüne göre yoğun bir vektöre sözcük (sözcük dizisinde sözcük dizini) eşleyen katıştırma katmanıdır. Seq2seq modelinde, gömme katmanının ağırlıkları, modelin diğer parametreleri ile birlikte eğitilmektedir [8, 9].

3.2 Dikkat Mekanizması (Attention Mechanism)

Seq2seq çerçevesinin sınırlamalarından biri, giriş cümlesindeki tüm bilgilerin, sabit uzunluklu bir vektör bağlamında kodlanması gerektiğidir. Dizinin uzunluğu büyüdükçe, önemli miktarda bilgi kaybedilmektedir. Bu, temel seq2seq modelinin büyük dizilerin kodunu çözmede iyi çalışmamasının nedenidir. Dikkat mekanizması, hizala ve çevirmeyi ortak olarak öğrenerek yapan sinirsel makine çevirisinin, kod çözücünün kod çözme sırasında giriş sırasına seçici olarak bakmasını sağlamaktadır. Bu, girilen her faydalı bilgiyi kodlamak için kodlayıcıya baskı uygulamaktadır. Kod çözücünün her bir zaman aşımı süresi boyunca, sabit bir bağlam (kodlayıcının son gizli durumu) kullanmak yerine, farklı bir bağlam vektörü c_i , sözcüğü(yi) oluşturmak için kullanılmaktadır.

$$c_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} h_j \quad (1)$$

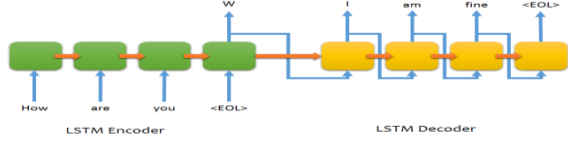
Bir numaralı denklemdeki formülde, vektör c_i , temel olarak kodlayıcının gizli durumlarının ağırlıklı toplamıdır. n , giriş dizisinin uzunluğu olan h_j , j ' nin zaman adımındaki gizli durumudur. Kodlayıcıdaki her gizli durum, cümlenin bu bölümündeki yerel içerikle ilgili bilgileri kodlamaktadır. Veriler sıfır kelimesinden n kelimesine aktıkça, bu yerel içerik bilgisi azalmaktadır. Bu durum, kod çözücünün yerel bağlamları bilmesi için kod çözücünün kodlayıcıdan zirve yapmasını gerekli hale getirmektedir [6].

Giriş dizisinin farklı bölümleri, çıkış dizisinin farklı bölümlerini oluşturmak için gerekli bilgileri içermektedir. Başka bir deyişle, çıkış sırasındaki her kelime giriş sırasının farklı kısımlarına hizalanmaktadır.

Seq2seq hizalama modeli i pozisyonundaki çıkışın j pozisyonundaki girdilerle ne kadar iyi eşleştiğinin ölçülmesini sağlamaktadır. Her sözcüğü çıkış dizisinde üretmek için giriş bağlamlarının (gizli durumlar) ağırlıklı bir toplamı alınmaktadır [1,2].

3.3 LSTM Modeli (LSTM Model)

Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), basit RNN' nin giriş ve çıkış kapılarına ek olarak, özel unutkan kapıları (forget gates) olan özel bir RNN türüdür. Şekil 1 de örnek bir LSTM mimarisi sunulmuştur.



Şekil 1. LSTM mimarisi (LSTM architecture) [11]

LSTM'ler, giriş durumunu bir RNN'den daha uzun süre hatırlamak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle uzun dizilerin doğru bir şekilde işlenmesini sağlamaktadır. LSTM'ler, NLP mimarisinin temel bir parçasıdır [8].

Çalışmadaki sohbet botu uygulamasında LSTM ve sıradan sıraya (sequence to sequence) modeli kullanılmıştır. Veri içindeki kelimeler glove yöntemi ile gömülmüştür. GloVe kelime gösterimi için global vektörlerin kısaltmasıdır. Stanford tarafından küresel bir kelime-kelime eş-oluşum matrisini bir korpustan toplayarak kelime gömme oluşturmak için geliştirilen denetimsiz bir öğrenme algoritmasıdır. Uygulamada kullanıcıdan gelen cevaplar kelime gömme yardımıyla gereksiz kelimelerden arındırılarak bellekte tutulmakta ve ona en uygun cevap verilmesi sağlanmaktadır [12].

3.4 Veri Kümesi (Data Set)

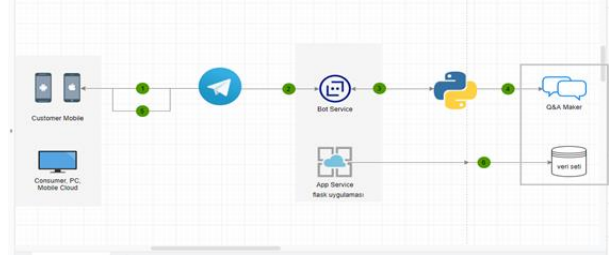
Çalışma, Kaggle.com'da bulunan chatterbot/english veri kümesi ile gerçekleştirilmiştir. Sohbet botunu eğitip test etmek için kullanılan veri kümesinde, yiyecek, tarih, para, sağlık, psikoloji, spor, bilim, literatür, duygu, bilgisayar ve yapay zeka gibi birçok konuyu baz alan diyaloglar bulunmaktadır [13].

3.5 Veri Ön İşleme (Data Preprocessing)

Çalışmadaki ön işleme aşamasında, seq2seq modelini eğitmeden önce daha az veri ile verimli eğitim için ön işleme adımı uygulanmıştır. Ön işleme ile verileri normalleştirmek, kelime boyutunu küçültmek, ham metni eyleme dönüştürülebilir değerlere dönüştürmek, gereksiz verileri kaldırmak amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca TensorFlow, keras, numpy, pickle ve ayrıca modellerinin tanımlanmasına yardımcı olan diğer modüller de kullanılmıştır[14].

3.6. Sohbet Botu Mimarisi (Chatbot Architecture)

Çalışmadaki Telegram entegrasyonu ile, kullanıcılardan aldığı sorulara LSTM modeli ile öğrenerek farklı cevaplar veren bir sohbet botu uygulaması tasarlanmıştır. Şekil 2 de tasarlanan sistemin mimarisi sunulmuştur.



Şekil 2. Sohbet botu mimarisi (Chatbot architecture)

Sohbet botu mimarisinin temel bileşenleri aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Environment (Ortam)
- Eklentiler, bileşenler
- Soru-cevap sistemi
- Web app

Ortam kısmında, temel doğal dil işleme (NLP) motoru ve bağlam yorumlama işlevi gerçekleştirilmektedir. NLP motoru, kullanıcıların herhangi bir zamanda söylediklerini yorumlayan ve dili sistemin daha fazla işleyebileceği yapılandırılmış girdilere dönüştüren temel bileşendir. Bu kısımda python programlama dili ve LSTM modeli kullanılmıştır. LSTM modeliyle kullanıcıdan alınan sorulardan kodlayıcı-kod çözücü modeline göre cevap çıktılar üretilmiştir.

Soru cevap sistemi, Q-A maker ve veri kümesi bileşenlerinden oluşmaktadır. Soru-cevap sisteminde kullanıcılardan gelen sorulara veri kümesinden işlenmiş uygun yanıtlar ile cevaplar verilmiştir. Veri ön işleme ile gereksiz veriler ayıklanmıştır. Eğitim işlemi sonrasında ise kodlayıcı-kod çözücü modeline göre soru cevap çiftleri oluşturulmuştur. İşlenen veri uygulamaya aktarılmıştır. Daha sonra soru cevap yapıcından geçmekte ve kullanıcıya cevap iletilmektedir.

Eklentiler ve bileşenler kısmında telegram api kullanılmıştır. Arayüz kısmı telegram uygulamasıyla sağlanmıştır. PC ya da mobilden indirilen uygulama aracılığı ile telegram bota giden sorular webhook sayesinde bot servisinde işlenmekte ve python ile yazılan kod ile bağlantısı sağlanmaktadır.

Pythonanywhere, bulutta bir web sitesi geliştirilmesine ve barındırılmasına izin verdiği için

Flask web sunucusu bulut üzerinde pythonanywhere üzerine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda python anywhere sohbet botu bağlantısı ve arka uç oluşturmada kolaylık sağlamıştır. Bu aşamada ilk olarak Pythonanywhere üzerinde Python ve Flask kullanarak bir WebApp (webHook) çalıştırılmıştır. Yeni bir WebApp ekledikten sonra web uygulaması için oluşturulan bağlantı girilmiştir. Bot sunulan işlemlerden sonra telegram uygulamasında çalıştırılabilir hale gelmiştir.

3.6.1 Kodlayıcı-Kod çözücü modeli(Gecikmeli Türev Eşitliği Tabanlı Kaotik Sistem Modeli)

Çalışmadaki model; gömme, LSTM ve yoğun katmanlara sahip olacak biçimde yapılmıştır. Çalışmadaki veri, 200 farklı boyutta gömülü kelimelerden oluşmaktadır. Temel yapılandırma aşağıdaki gibidir.

- 2 Giriş Katmanı: Biri kodlayıcı giriş verisi (encoder_input_data) ve diğeri kod çözücü giriş verisi (decoder_input_data) dir.
- Katman gömme: Boyutlu yoğun vektörlerini düzeltip simge vektörlerine dönüştürmek için kullanılmıştır.
- LSTM katmanı: Uzun Kısa Süreli hücrelere erişim sağlamaktadır.

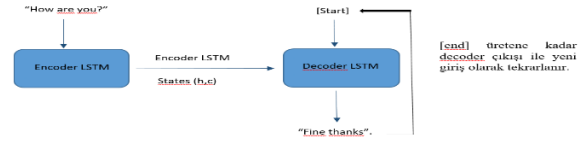
Modelin Çalışma yapısı aşağıda sunulmuştur:

- 1) kodlayıcı_giriş_veri, gömme (embedding) katmanından gelmektedir(encoder_embedding).
- 2) Gömme katmanının çıkışı, 2 durum vektörü üreten (h ve c encoder_states olan)LSTM hücresine gitmektedir.
- 3) Bu durumlar, kod çözücünün LSTM hücresinde ayarlanmıştır.
- 4) Kod çözücü_giriş_veri, gömme katmanından gelmektedir.

Çalışmadaki model, RMSprop optimizasyon ve kategorik crossentropy kayıp fonksiyonu ile adım(epoch) adım eğitilmiştir.

3.6.2. Çıkarım modellerinin tanımlanması (Identification of inference models)

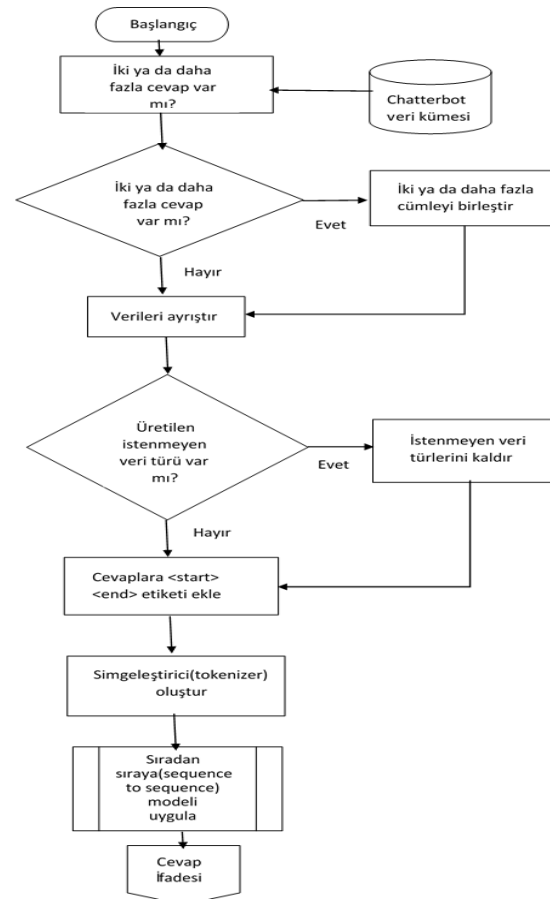
Bu aşamada cevapları tahmin etmede yardımcı olan çıkarım modelleri oluşturulmaktadır. Kodlayıcı çıkarım modeli, soruyu girdi olarak almakta ve LSTM durumlarını çıkarmaktadır (h ve c).



Şekil 3. Kodlayıcı kod çözücü modelinin yapısı (Structure of the encoder decoder model)

Kod çözücü çıkarım modeli: 2 giriş almakta, birincisi LSTM durumudur (kodlayıcı modelinin çıkışı), ikincisi ise cevap girişi sıralarıdır (<start> etiketine sahip olmayanlar).

Çıkarım modeli olan kodlayıcı-kod çözücü modelinin yapısı şekil 3 de gösterilmiştir. Sistem Akış diyagramı ise şekil 4 de sunulmuştur.



Şekil 4. Sistem Akış Diyagramı (System FlowChart)

3.7 Flask Bağlantısı (Flask Connection)

Flask bağlantısı için yönlendirici port yönlendirme ile yapılandırılmadığı sürece uygulamalar ağından dışarıdan erişilememektedir. Bir yönlendiriciyi yönlendirmek bağlantı noktası ve kullanılan yönlendirici modeline bağlı olduğundan bu karmaşık bir işlem olabilmektedir. Bu nedenle, zaman kaybettiren konfigürasyonlardan kaçınmak için, bir

Flask web sunucusu, bulut üzerinde pythonanywhere üzerine yerleştirilmiştir.

Pythonanywhere, bulutta bir web sitesi geliştirilmesine ve barındırılmasına izin vermektedir. Çalışmada sohbet botu bağlantısı ve arka uç oluşturmada kolaylık sağlayan bir platform olan pythonanywhere kullanılmıştır. Bu aşamada ilk olarak Pythonanywhere üzerinde Python ve Flask kullanarak bir WebApp (webHook) çalıştırılmıştır. [15] Yeni bir WebApp ekledikten sonra web uygulaması için bir örnek girilmiştir. Daha sonra Python 3.5' te bir çerçeve olarak Flask seçilmiştir.

WebApp dosya dizininde varsayılan flask_app.py dosyasına bağlantı için gerekli kod yazılmıştır. Python anywhere Bash konsoluna kurulum paketleri yerleştirilmiştir.

Daha sonra Flask uygulamasına ping atıp bağlantı sağlanmaktadır. Bu aşamada, pythonanywhere üzerine bir Python Flask uygulaması yapılmıştır. Bu bir sunucu oluşturmadan bir WebApp barındırılmasına izin vermektedir. WebApp, gelen mesajlar, chat-bot arayüzü ve giden cevaplar arasında bir aracı işlev sağlaması için kullanılmıştır[15].

3.8. Telegram Entegrasyonu (Telegram Integration)

Bot API, Telegram ile bot inşa etmek için geliştiriciler için oluşturulan HTTP tabanlı bir ara yüzdür. Her bot oluşturulduğunda benzersiz bir kimlik doğrulama belirteci verilmektedir. Yanıt, her zaman bir Boole alanına sahip olan ve sonucun insan tarafından okunabilir bir açıklamasını içeren isteğe bağlı bir dizi alanı olan bir JSON nesnesi içermektedir. Sunucularda çalışan yazılıma kullanıcılar tarafından mesajlar, komutlar ve istekler iletilmektedir. Bütün şifreleme ve iletişim, aracı sunucu olan Telegram API ile yönetilmektedir. Telegram API'sinin basit bir HTTPS arayüzü ile bu sunucuyla iletişim kurması sağlanmaktadır. Bu arayüz Bot API olarak adlandırılmaktadır [16]. Özetle, Telegram bir sohbet botu arayüzü oluşturmak için kolay bir yol sunmaktadır. Telegram App, arka ucuna bağlanmak ve sohbet botu uygulamasını çalıştırmak için kullanılan bir erişim belirteci sağlamaktadır.

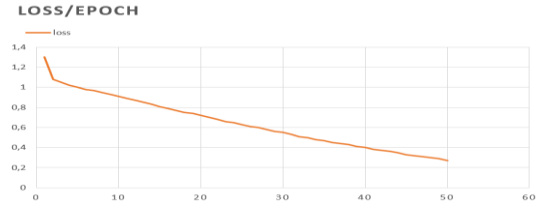


Şekil 5. Telegram bot ile yapılan sohbetin çıktısı (Output of the chat with Telegram bot)

Yapılan çalışmalardan sonra bot test edilebilir hale gelmiştir. Şekil 5 de bulunan ekran görüntüsünde geliştirilen sohbet botunun diyalogları gösterilmiştir. Böylece uygulama ile telegram entegrasyonu sağlanmıştır.

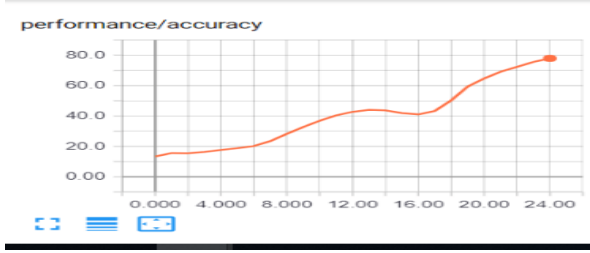
5. ANALİZ VE BULGULAR (ANALYSIS AND FINDINGS)

Sohbet botu uygulamalarında eğitim verilerindeki değişiklik, kullanıcıya verilen yanıtı doğrudan etkileyebilmektedir. Tüm öğrenme algoritmaları, kayıp düz bir satıra ulaşıncaya kadar hesaplamaları birçok kez tekrarlamaktadır. Kayıp işlevini en aza indirmek için bir öğrenme oranı tanımlanması gerekmektedir. Bu modelin öğrenilmesi istenilen hızıdır. Amaç, kayıp fonksiyonunu en aza indirmektir. Böylece hata oranı da en aza indirgenmiş olmaktadır. Uygulamanın eğitimi sırasındaki kayıp oranının değişim çıktısı takip edilerek gerçekleştirilmiştir. TensorBoard, bu ölçümleri görselleştirmek ve olası sorunları vurgulamak için bir araç olarak kullanılmıştır. TensorBoard metrikleri çok sık güncellenmektedir. Bu durumda, modelin doğru çalışıp çalışmadığını görmek için sonuna kadar beklenilmesi gerekmemektedir. Bu nedenlerden dolayı çalışmada TensorBoard kullanılmıştır.



Şekil 6. LSTM loss fonksiyon grafiği (LSTM loss function graph)

Şekil 6 de bulunan grafikte, eğri düzleşinceye kadar yinelemenin kaybının azaldığını, yani modelin işlevi gerçekleştirdiğini ve hata oranının azaldığını gösterilmiştir.



Şekil 7. Doğruluk grafiği (Accuracy chart)

Sohbet botu uygulamasında 50 adımlık eğitim, 13s de tamamlanmıştır. Kayıp oranı her adımda azalarak 50.adımda 0.2772' ye gerilemiştir. Doğruluk oranı ise %79 çıkmıştır. Test sonucu kontrolü için yapılan tekrarlar ve sonuç Şekil 7 de sunulan grafikte gösterilmiştir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Sohbet botu çalışmasında, LSTM ve sıradan sıraya dizi modeli ile telegram bot uygulaması geliştirilmiştir. Çalışmanın, iş görüşmeleri öncesi adaylar için ön değerlendirme aşamasında kullanılması planlanmıştır. Çalışmada, veri kümesi olarak 1984 soru-cevap çiftinden oluşan “chatterbot” veri kümesi kullanılmıştır. Çalışma ile, chatterbot veri kümesinden alınan verilerle kullanıcının sorduğu sorulara uygun cevaplar veren kendini tekrar etmeyen bir sohbet botu tasarımı yapılmıştır. Çalışma, RMSprop optimize edici ve categorical_crossentropy kayıp fonksiyonu ile 50 adımlık dönem için eğitilmiştir. Kayıp oranı son adımdan sonra 0.2772 değerlerine düşürülmüştür. Elde edilen doğruluk oranı ise yüzde 79 dur. Elde edilen verilere göre eğitim sayısı arttıkça doğruluk oranı da artmaktadır. Çalışmanın Facebook Messenger gibi uygulamalar yerine Telegram ile yapılması uygulamanın daha güncel ve kullanılabilir olmasını sağlamaktadır.

Çalışmanın müşteri analizlerinde müşteri profilini belirleme aşamasında, kullanıcı destek, müşteri hizmetleri ya da daha kapsamlı alanlara uyarlanabileceği düşünülmektedir. TPU destekli bilgisayarlarda corpus veri kümesi gibi daha kapsamlı veri kümesi kullanıldığında kapsamı geniş cevaplar üretilebileceği ve yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. Huang, M. Zhou, D. Yang, “Extracting Chatbot Knowledge from Online Discussion Forums”, *Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI)*, January 6–12 2007, Hyderabad, India, R. Sangal, H. Mehta, R. K. Bagga, Morgan Kaufmann Publishers, Hyderabad, India: 2007, pp. 423-428.
- [2] I. Sutskever, Q. Le, O. Vinyals, (2014). Sequence to Sequence Learning with Neural Networks, In *Advances in neural information processing systems*, December 8–12 2014, Montreal, Canada, Z. Ghahramani, M. Welling, C. Cortes, Morgan Kaufmann Publishers, NY, USA: 2014, pp. 3104-3112.
- [3] F. Bonilla, F. Ugalde, “Automatic Translation of Spanish Natural Language Commands to Control Robot Comands based on LSTM neural network”, *Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, February 25-27 2019, Naples, Italy, F. G. Rosas NY: Curran Associates, 2019, pp. 125-131.
- [4] A. Xu, Z. Liu, Y. Guo, V. Sinha, and R. Akkiraju, “A new chatbot for customer service on social media”, *In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 6-11 2017, Denver, USA, H. Mark, S. Fussell, NY: Association for Computing Machinery, 2017, pp. 3506-3510.
- [5] M. H. Su, C. H. Wu, K. Y. Huang, Q. B. Hong and H. M. Wang, “A chatbot using LSTM-based multi-layer embedding for elderly care”, In *2017 International Conference on Orange Technologies (ICOT)*, December 8-10 2017, Crescent, Singapore, M. Dong, L. Wang, Y. Lu, H. Li, Singapore: Research Publishing Services, 2017, pp. 70-74.
- [6] M. Muslih, D. Supardi, E. Multipli, Y. M. Nyaman and A. Rismawan, “Developing Smart Workspace Based IOT with Artificial Intelligence Using Telegram Chatbot”, *In 2018 International Conference on Computing, Engineering, and Design (ICCED)*, September 6-10 2018, Bangkok, Thailand, T. Mantoro, NY: Curran Associates, 2018, pp. 230-234.
- [7] P. Muangkammuen, N. Intiruk and K. R. Saikaew, “Automated thai-faq chatbot using RNN-LSTM”, *In 2018 22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, 30 October -1 November 2018, Chiang Mai, Thailand, E. Boonchieng, NY: Curran Associates, 2018, pp. 1-4.
- [8] W.C. Lee, Y.S. Wang, T.S. Hsu and K.Y. Chen, “Scalable Sentiment for Sequence-to-Sequence Chatbot Response with Performance Analysis”, *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, April 15–20 2018, Calgary, AB, M. Hayes, NY: Curran Associates, 2018, pp. 6164-6167.

- [9] F. Rahman, “*Sequence to Sequence Learning with Keras*”, Available: <https://github.com/farizrahman4u/seq2seq>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [10] R. Kompella, “*Neural Machine Translation — Using seq2seq with Keras*”, Available: <https://towardsdatascience.com/neural-machine-translation-using-seq2seq-with-keras-c23540453c74>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [11] Textminingonline, “*Getting Started with Word2Vec and GloVe*”, Available: <https://textminingonline.com/getting-started-with-word2vec-and-glove>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [12] J. S. Chawla, “*What is GloVe?*”, Available: <https://medium.com/@japneet121/word-vectorization-using-glove-76919685ee0b>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [13] R. Kaus, “*Dataset for chatbots*”, Available: <https://www.kaggle.com/kausr25/chatterbotenglish>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [14] C. Jongerius, “*Quantifying Chatbot Performance by using Data Analytics*”, Utrecht University, Faculty of Science Theses, Master thesis, 2018.
- [15] PythonAnywhere, “*PythonAnywhere in one minute*”, Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NH2PhXYvrWs>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [16] Telegram, “*Telegram Bot Api*”, Available: <https://core.telegram.org/bots/api#available-methods>, [Accessed: Sept. 12, 2019].
- [17] Tensorflow, “*TensorBoard*”, Available: <https://www.tensorflow.org/tensorboard>, [Accessed: Sept. 12, 2019].

Ali Hakan IŞIK

1980 Burdur doğumlu olan Ali Hakan IŞIK, 2002 yılında Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Özel sektör ve kamuda Mühendis olarak çalıştı. 2006 yılında Gazi Üniversitesinde çalışmaya başladı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, 2005 yılında Yüksek Lisans ve 2012 yılında ise Doktora çalışmalarında bulundu. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalında, 2013 yılında çalışmaya başladı. 2017 yılında Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Bilim Dalından Doçent ünvanı aldı. Yapay zeka, karar destek sistemleri, biyomedikal, yazılım, optimizasyon konularında makaleleri bulunan Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK, evli olup 2 çocuk sahibidir.

Ayşenur YAĞCI

1997 İzmir doğumlu olan Ayşenur YAĞCI, 2015 yılında Büyükçiftliği Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2019 yılında Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. İlgi alanları arasında yapay zeka, raspberry pi ve arduino programlama yer almaktadır.

Bir Kanatçık Tahrik Sistemi Yapısal Özelliklerinin Sistem Performansına Etkilerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi

Murat KELEŞ^{*,a}, Cengiz BAYKASOĞLU^b

^{a,*} Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, ORCID:0000-0001-8453-1287, 06261, ANKARA, TÜRKİYE

^b Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, ORCID:0000-0001-7583-7655, 19030 ÇORUM, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 08.01.2020
Kabul: 26.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Kanatçık tahrik sistemi
Deformasyon
Kanatçık açısı
Çoklu cisimler
dinamiği
Sonlu elemanlar
metodu
Deneysel doğrulama

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
murat.keles@tubitak.
gov.tr

ÖZET

Kanatçık tahrik sistemleri mühimmata yönelim hareketini sağlayan kanatçıkları hareket ettiren sistemler olup, mühimmatın başarılı bir uçuş yapabilmesi için bu sistemlerin davranışları ile ilgili belirsizliklerin minimum seviyeye indirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında havadan karaya atılan mühimmatlar için ters krank biyel mekanizmasına dayalı elektromekanik bir kanatçık tahrik sistemi yapısının sistem davranışına etkileri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu noktada, isterler göze alınarak sistem tasarımı yapılmış ve aerodinamik yük altında kanatçık hareketlendirilmesini etkileyen mafsal boşlukları ve yapısal deformasyonlar detaylı olarak incelenmiştir. Mekanizma analizleri çoklu cisimler dinamik benzetimleri ile gerçekleştirilmiş ve aerodinamik menteşe kuvvetlerinden kaynaklanan yüklerin sebep olduğu elastik deformasyonlar, değişik kanatçık açılarında sonlu elemanlar benzetimleri ile incelenmiştir. Gerçek zamanlı kanatçık yüklemesi cihazı kullanılarak, kanatçık tahrik sisteminin kuvvet altında istemsiz kanatçık açısı değişimi incelenmiş; elastik deformasyondan ve mafsal boşluklarından kaynaklanan kanatçık açısı değişimi, gerçek zamanlı olarak değişik kanatçık açılarında elde edilmiştir. Analitik yöntemlerle kanatçık tahrik sisteminin mekanizma analizi doğrulanmış; öte yandan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizler ile deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve yüksek tutarlılık elde edilmiştir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.04>

Experimental and Numerical Investigation on the Effect of the Structural Characteristics of a Fin Actuation System on System Performance

ARTICLE INFO

Received: 08.01.2020
Accepted: 26.04.2020

Keywords:

Fin actuation system
Deformation
Fin angle
Multi body dynamics
Finite element
method
Experimental
validation

***Corresponding**

Authors

e-mail:
murat.keles@tubitak.
gov.tr

ABSTRACT

The fin actuation system moves the fins that provide the missile guidance. It is very important to reduce the uncertainties about the behavior of these systems to a minimum level so that the missile can make a successful flight. In this study, the effect of the structural characteristics of electromechanical fin actuation system which is based on an inverted slider crank mechanism on the system for an air to ground missile has been investigated by experimental and numerical. The system designed according to requirements. Clearance on revolute joint and structure deformation affecting the actuation of the fin under aerodynamic loads have been examined in detail. Mechanism analyzes were carried out by multibody dynamic simulations. The elastic deformations caused by the aerodynamic hinge forces were analyzed using the finite element method for different fin angles. Also, involuntary change of the fin angle has been investigated under the forces which are exerted by using a real-time fin loading system. The variation of the angle of the fin resulting from the elastic deformation and the clearance of revolute joint was obtained in real time at different fin angles. The mechanism analysis of the fin actuation system was verified by analytical methods on the other hand, the results obtained from the experimental measurements and analyzes of the finite element method. Those results were compared and a high consistency was obtained between them.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknoloji alanında yapılan her bir yeni gelişim, paralel olarak savunma sanayisinde de yeni gelişmelerin ve yeni ürünlerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Savunma sanayii sektöründe bu gelişmelerin izleri özellikle mühimmat teknolojisinde açıkça görülebilir. Bu kapsamda, hassas vuruş kapasitesine sahip, gelişmiş menzilli, yüksek oranda zarar verebilme kabiliyetine sahip ve uygun maliyetli yeni nesil mühimmatlar sürekli olarak geliştirilmektedir.

Uçuş maliyeti ve risklerinden dolayı, havadan karaya atılan mühimmatlarda hedefin tek atış da yok edilmesi istenmektedir. Bu noktada, hedefin tek atış da vurabilmesi için gelen güdüm emirlerini anlık olarak takip edebilen Kanatçık Tahrik Sistemi (KTS)'ne ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, mühimmatın başarılı bir uçuş yapabilmesi için KTS'nin davranışına etki edecek tüm parametrelerin kontrol edilerek, belirsizliklerin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, KTS düzeyinde oluşan her hata, doğrudan mühimmat yönelimini etkileyeceği için uçuş başarısız olacaktır [1, 2]. Bu noktada, KTS'ler den istenilen çıktılarının elde edilebilmesi amacıyla birçok yeni mekanizma önerilmiş veya mevcut mekanizmaların performanslarının artırılması noktasında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında örnek bir KTS yapısının sistem davranışlarına etkilerinden kaynaklı performansının incelenebilmesi için deney düzeneği tasarımı ve testleri, sayısal ve teorik hesapları içerdiğinden, takip eden paragraflarda KTS mekanizmaları hakkında özet bilgiler verilmiş ve literatürde ki ilgili çalışmalar tartışılmıştır.

KTS'ler farklı güç aktarım mekanizmaları kullanılarak kanatçıklara etkiyen aerodinamik menteşe kuvvetlerine karşı kanatçık hareketini sağlamaktadır. KTS'de hareketi sağlayan güç elemanı olarak hidrolik ve elektromekanik sistemler kullanılmaktadır [3, 4]. Hidrolik KTS'ler yavaş hareket edebilen, hacim sınırı olmayan ve aşırı güç isteyen hava araçlarında tercih edilirken; elektromekanik KTS'ler hızlı hareket kapasitesine sahip, sızdırmazlık sorunu olmayan, hacim sınırı ve bakım maliyeti az olan uygulamalar için önerilmiştir [5]. Elektromekanik KTS'de, hız, güç, hacim ve kütle isterleri göz önüne alındığında ters krank biyel mekanizması genellikle tercih edilmektedir [4, 6]. Ters krank biyel mekanizmasındaki temel amaç, güç aktarımının 90°'ye çevrilerek gelen hareketin dik şekilde iletilmesidir [7]. Öte yandan, literatürde ters krank biyel mekanizmasına alternatif sistemlerde

önerilmiştir. Çelik ve Özkan [8], ters krank biyel ile dişli mekanizmalarını kıyaslamış, dişli mekanizmasının daha küçük ve hafif olmasına karşın, ters krank biyel mekanizmasına göre daha fazla bileşen içerdiği ve veriminin daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Diğer bir çalışmada, Hastürk [6], elektromekanik KTS'ler de ters krank biyel ile iskoç boyunduruğu mekanizmalarını karşılaştırmış ve ters krank biyel mekanizmasının yük altındaki serbest hareketinin, iskoç boyunduruğu mekanizmasına göre daha fazla meydana geldiği; ters krank biyel mekanizmasının sürtünmesinin daha düşük ve veriminin daha yüksek olduğu göstermiştir. Ters krank biyel mekanizmasının hassas güç aktarımını sağlayabilecek bağlantı elemanı prizmatik kayar mafsalıdır. KTS mekanizmalarında en çok tercih edilen prizmatik kayar mafsal bağlantı türü bilya vidadır. İlgili çalışmalar incelendiğinde bu tip mekanizmaların tasarımlarında aşırı hız ve tork isterleri sebebiyle bilya vidanın güç aktarımı elemanı olarak tercih edildiği görülmüştür [6, 9]. Elektromekanik sistemlerde güç aktarımında kullanılan dönüsel hareketi doğrusal harekete çevirebilen, tork aktarımında kullanılabilen bilya vida, özellikle hava araçlarında ağırlık ve hacim sınırlarının olduğu güç aktarım mekanizmalarında tercih edilmektedir [4, 6]. Ayrıca, KTS'nin güç ve hız isteri bilya vida bağlantı seçiminde oldukça etkilidir. Mekanizma aktarma oranının ve menteşe yüklerin yüksek olduğu durumlarda da bilya vida güç aktarım elemanı olarak öne çıkmaktadır [5]. Mekanizmaların doğasında bulunan aktarma oranı, güç isterlerinin sağlaması açısından oldukça öneme sahiptir. KTS mekanizmasında bulunan aktarma oranı giriş ve çıkış kısımlarının pozisyona bağlı değişimi kullanılarak hesaplanması önerilmiştir [9]. Öte yandan, KTS'ye etkiyeceği düşünülen aerodinamik menteşe momentlerini benzetebilmek için hidrolik ve elektromekanik Kanatçık Yükleme Cihazları (KYC) genellikle kullanılmaktadır [2, 10, 11]. Başarım karşılaştırması ile yüksek frekanslarda yükleme yapılabilmesi için elektromekanik yükleme sisteminin daha kontrol edilebilir olduğu görülmüştür [10]. KTS için gerçek zamanlı kontrolcü ile elektromekanik KYC'de KTS'nin belirlenen uçuş senaryolarında istenilen pozisyon emrini sağlaması ve bu sırada KYC'nin verilen tork emri senaryosunu takip etmesi istenmektedir. KYC'nin kontrolünü sağlayabilmek için genellikle kayan kipli (*ing. sliding mode*) kontrolcü kullanımı önerilmiştir [11]. Elektromekanik KTS'nin, güdüm otopilotunun belirlemiş olduğu kanatçık açısı pozisyon emrine gitmesi beklenmektedir. Mekanizmanın bu hareketi isterler doğrultusunda yapılabilmesi için kontrolcüye sahip

olması gerekmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde, güdümlü bir mühimmatın KTS'si için gürbüz kontrolcü tercih edildiği görülmüştür [12].

KTS mekanizmaların analitik ve sayısal analizleri yapılarak, performanslarının en iyileştirilmesi üzerine literatürde bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda, krank mekanizmalarının pozisyon, hız ve kuvvet gereksinimleri analitik ve nümerik yöntemler ile incelenmiştir [13, 14]. Mekanizmalarda bulunan oynar mafsallar belirli bir toleranslar ile geçiş sağlamaktadır. Bu noktada, geçişin sebep olduğu boşluklar nedeniyle sistem cevaplarında farklılıklar oluşmaktadır. Zhang ve Wang [15], boşlukların yay şeklinde modelleyerek kinematik analize etkilerini incelemişlerdir. Tink ve ark. [16] ters krank biyel mekanizmasının mekanik oynar ve prizmatik mafsallar arasındaki geçiş boşluklarının sisteme etkisiyle kinematik analizde oluşabilecek değişimleri incelemişlerdir. Kuvvet taşıyan mekanizmalar da yüklemeler sonucunda deformasyonlar meydana gelmektedir. Elastik deformasyonların yüke göre değişimi mekanizmada önemli uzuvların istemsiz şekilde hareket etmesiyle belirsizliğe yol açmakta ve sistemden istenilen performansın elde edilememesine neden olabilmektedir. Gokce [17], bir malzemenin kuvvet altında sonlu elemanlar methodu (SEM) ile nümerik analiz gerçekleştirerek etkisini incelemiş ve gerçek zamanlı deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Wang ve ark. [18], elastik bir mekanizmada yükler nedeniyle meydana gelen deformasyonları SEM ile incelemişlerdir. Öte yandan Kim ve ark. [2], Elektromekanik KTS mekanizmasında farklı yüklerde meydana gelen deformasyonların mekanizma açalarına olan dinamik etkilerini deneysel ve benzetim çalışmaları ile göstermişlerdir.

Literatürde KTS mekanizmaları, güç aktarım elemanları, boşluk analizi, yükleme cihazları ve kontrolcüler hakkında çalışmalar olmasına rağmen KTS mekanizmalarının yapısal özelliklerinin sistem davranışına etkisi hakkındaki çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu motivasyonla hazırlanan çalışmanın amacı bir KTS mekanizmasına etkiyen kanatçık menteşe yüklerinin sebep olduğu yapısal değişikliklerin kanatçık açısına etkisinin sayısal ve deneysel olarak incelenmesidir. Kinematik analizler çoklu cisim dinamik modelleri; yapısal analizler ise sonlu elemanlar modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. KTS'nin analitik yöntemlerle kinematik analizi doğrulanmıştır. Öte yandan, sonlu elemanlar modeli, gerçek zamanlı KTS ölçüm sonuçları ile deneysel olarak doğrulanmıştır. Ayrıca, KTS'nin oynar mafsallarında oluşan geçiş boşluklarının kanatçık açısına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Test ve analiz sonuçları KTS mekanizmalarının yapısal özelliklerinin sistem

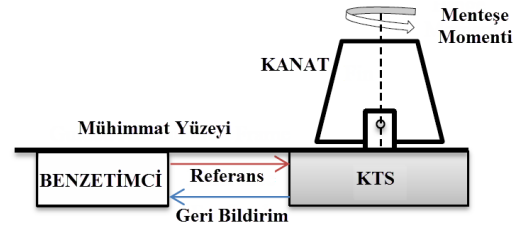
davranışına önemli derecelerde etkisinin olduğunu göstermiştir.

2. KTS VE MODELLENMESİ (FAS and MODELING)

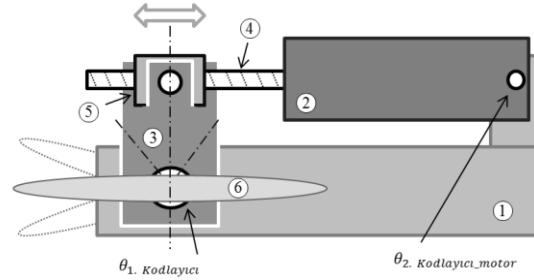
KTS yapısal davranışlarının sistem performansına etkilerinin sayısal olarak incelenebilmesi için öncelikle sonlu elemanlar benzetimleri için gerekli parametreler sayısal ve analitik yöntemler vasıtasıyla elde edilmiştir. Takip eden alt bölümlerde imal edilen KTS kısaca tanımlanacak ve modelleme bileşenleri hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. KTS Bileşenleri (FAS Components)

KTS, mühimmat yüzeyine paralel olacak şekilde kabuk kısmının hemen altına yerleştirilen alt sistemdir (Şekil 1). Mühimmata hareket kabiliyeti verebilen aerodinamik yüzeye sahip kanatçık, Şekil 2'de gösterildiği gibi KTS'nin kanatçık mili parçasına sabitlenerek mekanizmanın hareket çıkışı olarak kabul edilmektedir. KTS, ana şase (1), motor bütünü (2), kanatçık mili (3), bilya vida mili (4), bilya vida somunu (5) ve kanatçık (6) parçalarından meydana gelmektedir (Tablo 1).



Şekil 1. Mühimmat içerisinde KTS'nin konumu [4] (Position of FAS in missile)



Şekil 2. KTS şematik gösterimi (Schematic representation of FAS)

Ters krank biyel mekanizmalı ve bilya vidalı KTS; ilk olarak motor bütünü'nün vermiş olduğu dönü hareketini bağlı olan bilya vida miline doğrudan aktarmaktadır. Bilya vida milinin dönüşü, bilya vida somununa doğrusal hareket kabiliyeti vermektedir. Bilya vida somununun hareketi ile kanatçık mili ana şaseye bağlı olduğu mafsaldan açılabilir olarak hareket etmektedir. Kanatçık mili hareketi ile de kanatçıklar istenilen pozisyona kontrolcü sayesinde gelmektedir.

Kanatçık açısı değişimiyle mühimmatın yönelim hareketi yaparak istenilen hedefe ulaşması sağlanmaktadır.

Tablo 1. KTS bileşenleri ve malzemeleri (Components and materials of FAS)

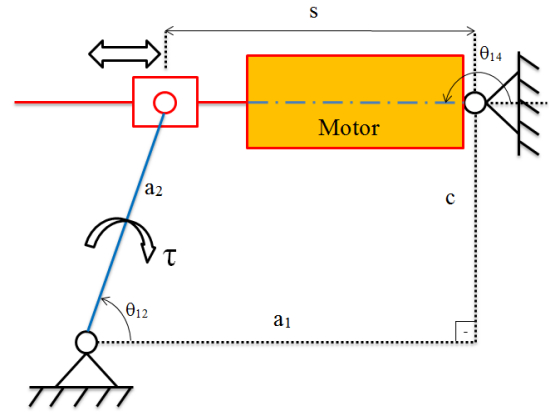
No	Parça Adı	Malzeme	Elastik Modülü (GPa)	Poisson Oranı (ν)
1	Ana Şase	AA 6061	69,5	0,33
2	Motor Bütünü	AA 6061	69,5	0,33
3	Kanatçık Mili	Çelik 304	193	0,29
4	Bilya Vida M.	Çelik 4340	210	0,3
5	Bilya Vida S.	Çelik 4340	210	0,3
6	Kanatçık	AA 6061	69,5	0,33

2.2. Analitik Ve Sayısal Yöntem İle Mekanizma Analizi (Analytical And Numerical Mechanism Analysis)

Bu bölümde, ters krank biyel mekanizması için KTS mekanizmasında kinematik hesaplamalar yapılarak; ilerleyen adımlarda gerekli olacak mekanizma indirgeme oranı, bilya vida adımı ve mekanizma açılarının zamana bağlı değişimi analitik yöntem kullanılarak MATLAB® ile hesaplanmıştır. Mekanizma analizinden elde edilen analitik sonuçlar ayrıca ADAMS® yazılımı kullanılarak sayısal hesaplama yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Analitik olarak mekanizma analizi (Mechanism analysis of analytically)

Analitik yöntem ile çözüm için KTS mekanizmasının, Şekil 3'deki şematik çizim üzerinde gösterilen parametreler cinsinden konum analizi için devre kapallık denklemleri düzenlenmiştir. Mekanizmaya ait konum denklemleri türetildikten sonra bu denklemler kullanılarak pozisyon değişimi ve indirgeme oranı değerlerini veren ifadeler elde edilmiştir.



Şekil 3. Ters krank biyel mekanizması şematisel gösterimi (Schematic drawing of inverted slider crank mechanism)

Bu mekanizmada hareket girdisi, kanatçık milinin yatay eksenle yaptığı açı (θ_{12}) olduğundan, pozisyon analizinde θ_{14} açısı ve doğrusal somun yer değiştirmesi (s)'nin θ_{12} cinsinden ifadeleri bulunmalıdır. Ters krank biyel mekanizmasının Şekil 3'de gösterilen parametreler cinsinden kapalı döngü Eş. 1'deki gibi yazılır:

$$a_2 \cdot e^{i\theta_{12}} = a_1 + s \cdot e^{i\theta_{14}} + ic \quad (1)$$

Bu denklem kullanılarak x ve y eksenlerine indirgenmiş konum eşitlikleri sırasıyla Eş. 2 ve 3'te verildiği gibidir.

$$a_2 \cdot \cos(\theta_{12}) = a_1 + s \cdot \cos(\theta_{14}) \quad (2)$$

$$a_2 \cdot \sin(\theta_{12}) = c + s \cdot \sin(\theta_{14}) \quad (3)$$

Eş. 2 ve 3 numaralı eşitliklerin her iki tarafının kareleri alınarak taraf tarafa toplanıp gerekli sadeleştirmeler yapılırsa; s değişkeni ve gerekli sadeleştirmeler yapılarak θ_{14} açısı Eş. 4 ve 5'te verildiği gibi elde edilir.

$$\theta_{14}(\theta_{12}) = \pi + \tan^{-1} \left(\pm \frac{\sqrt{s^2 - (c + a_2 \cdot \sin \theta_{12})^2}}{c + a_2 \cdot \sin \theta_{12}} \right) \quad (4)$$

$$s = \sqrt{(a_1^2 + a_2^2 + c^2 - 2 \cdot a_2 \cdot c \cdot \sin \theta_{12} + 2 \cdot a_2 \cdot a_1 \cdot \cos \theta_{12})} \quad (5)$$

KTS eyleyicisi olarak kullanılan Fırçasız Doğru Akım Motor (FDAM)'u, mekanizma analizi sonrası elde edilen somun kuvveti gereksinimini karşılaması gerekir. Motor pozisyon değişimi θ_m , bilyavida hatvesi vasıtasıyla doğrusal somun yer değiştirmesi s 'ye dönüştürülür. Bilyavida hatvesi, motor konumu ve doğrusal somun yer değiştirmesi arasındaki

matematiksel bağıntının parametrik ilişkileri Eş. 6'da verilmiştir.

$$s = s_0 + p \cdot \theta_m \quad (6)$$

Pozisyon analizi sonucu motor açısı değişimi ve kanatçık açısı değişimi bilindiğinden dolayı, mekanizmanın herhangi bir andaki aktarma oranı bu iki pozisyonun oranına eşittir. Buna göre, aktarma oranının θ_{12} cinsinden ifadesi Eş. 8'deki gibi yazılabilir (Şekil 4).

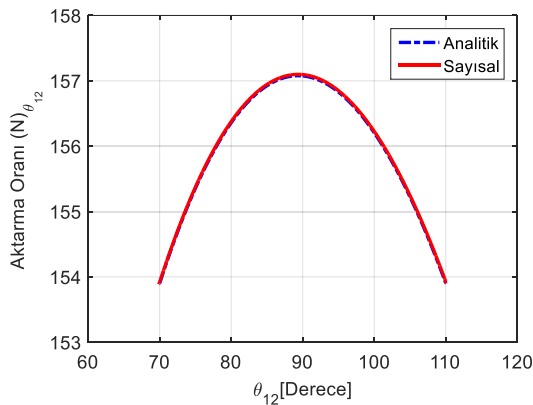
$$N(\theta_{12}) = \frac{\theta_m}{\theta_{12}} = \frac{(s - s_0)/p}{\theta_{12}} \quad (7)$$

$$N(\theta_{12}) = \frac{(\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + c^2 - 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos \theta_{12} - 2 \cdot c \cdot a_2 \cdot \sin \theta_{12}} - s_0)/p}{\theta_{12}} \quad (8)$$

Kanatçık açısı θ_{12} 'ye göre değişen N , s ve θ_{14} değişkenlerinin mekanizmanın hareketi boyunca aldığı değerlerin hesaplanması için gerekli olan sistem parametrelerinin değerleri Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2. Sistem parametrelerinin değerleri (System parameters values)

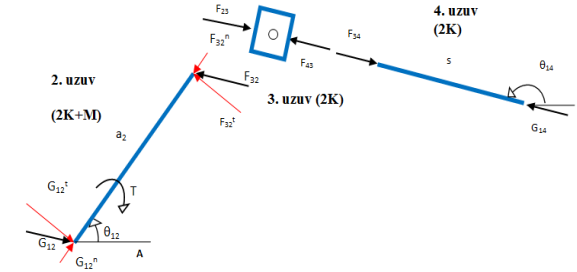
Parametre	Değer	Birim
p	2	mm/rev
a_1	200	mm
a_2	50	mm
c	48,5	mm
s_0	200	mm
θ_{12}	$90 \pm 20^\circ$	°
ω_{12}	250	°/s



Şekil 4. Aktarma oranının θ_{12} 'ye göre değişimi (Change of reduction ratio according to θ_{12})

Mekanizmanın kuvvet analizi, mekanizma elemanlarının tasarımında önemli bir yere sahiptir. Kuvvet analizi sonrası elde edilecek somun yükleri yardımıyla, mekanizmayı sürmek için gereken motor torku yaklaşık olarak bulunabilir ve mekanizmanın değişik noktalarındaki rulmanların taşıması gereken yükler belirlenebilir. Bu tasarım hesabında

mekanizmanın statik analizi yapılmıştır. Şekil 5'de mekanizma elemanlarının serbest cisim diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 5. Mekanizma uzuvlarının serbest cisim diyagramları (Free body diagrams of mechanism's links)

Kuvvet kolunun hareket açısı (θ_{12}) bilindiğinden, mekanizmaya etkiyen kuvvet ve momentler θ_{12} değişkeni cinsinden bulunabilir. Şekil 5'de verilen kuvvet ve momentler için uygun yönlere kuvvet ve moment dengesi denklemleri yazılarak mekanizmanın statik analizi yapılır. Buna göre, her uzuv için kuvvet ve moment denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

2. Uzuv

$$G_{12}^t - F_{12}^t = 0 \quad (9)$$

$$G_{12}^n - F_{12}^n = 0 \quad (10)$$

$$-T + F_{32}^t a_2 = 0 \quad (11)$$

$$F_{32}^t = F_{32} \cdot \cos(\theta_{12} - \theta_{14}) \quad (12)$$

$$F_{32}^n = F_{32} \cdot \sin(\theta_{12} - \theta_{14}) \quad (13)$$

3. Uzuv

$$F_{23} = -F_{32} \quad (14)$$

$$F_{23} + F_{43} = 0 \quad (15)$$

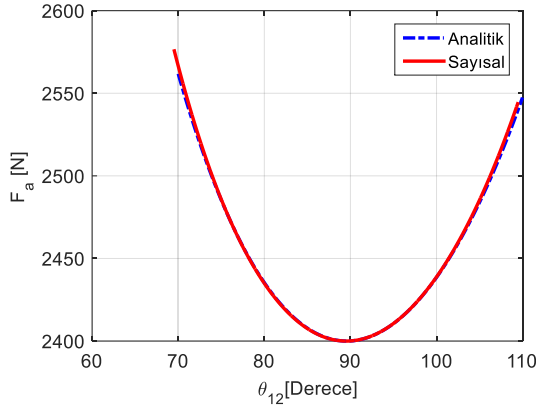
4. Uzuv

$$F_{34} = -F_{43} \quad (16)$$

$$F_{34} + G_{14} = 0 \quad (17)$$

Bu denklemlerin birlikte çözülmesiyle, kuvvetler θ_{12} ve θ_{14} cinsinden elde edilir. Kanatçık torkunun en büyük değerinin hareketin ters yönünde etki ettiği kabul edilerek F_{23} bulunur.

$$F_{23} = F_a = -F_{32} = \frac{-T}{a_2 \cdot \sin(\theta_{12} - \theta_{14})} \quad (18)$$

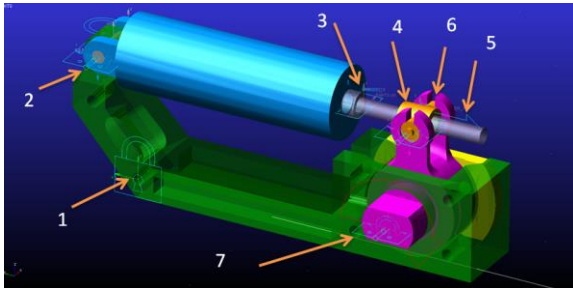


Şekil 6. Somun üzerine düşen kuvvetin θ_{12} 'ye göre değişimi (Change of force on the nut according to θ_{12})

F_a kuvveti büyüklük olarak motorun yataklarında kanatçık torku dolayısıyla oluşacak kuvvete de eşittir. Buna göre 70° ile 110° arasındaki θ_{12} değerleri için F_a 'nın θ_{12} 'ye göre değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

2.2.2. Çoklu cisimler dinamik modeli (Multi body dynamics model)

Mekanizma parametreleri ile 3 boyutlu katı model oluşturulmuş ve sistemin istenilen analitik değerlere uygunluğunun doğrulanması için sayısal model Msc ADAMS® çoklu cisimler dinamik benzetim yazılımı ile geliştirilmiştir. Mekanizma ölçülerine göre tasarlanan 3 boyutlu katı modelin Şekil 7'de gösterilen mafsallı bölge, bağlantı türlerine göre bağlantı ilişkileri tanımlanmıştır (Tablo 3).



Şekil 7. KTS'nin Msc ADAMS® ile sayısal çözümü (Numerical analysis of FAS with Msc ADAMS®)

Güdümlü algoritmasının verdiği emirlere göre Şekil 7'de bulunan 4 numaralı mafsala $\pm x$ yönünde doğrusal hareket edebilecek $0,85 \cdot 20 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot \text{time})$ fonksiyonu girilerek kanatçık açısının $\pm 20^\circ$ değişim profili tanımlanmıştır. Kanatçık açısı $\pm 20^\circ$ hareket ederek gerekli hız isterini sağlayan sinüs hareketi yapması sağlanmıştır. Aerodinamik yükler altında kanatçıklara gelen menteşe yükünü benzetebilmek için Şekil 7'de

bulunan 7 numaralı mafsallı kısma $\pm z$ yönünde tork yükü verebilecek $\text{step}(\text{time}, 0.0625, 120000, 0.063, -120000)$ fonksiyonu girilmiştir. Kanatçıklara gelen aerodinamik yükün en yüksek tork değeri olan ± 120 Nm yük profili şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 3. KTS'nin mafsallı bağlantı listesi (Joint list of FAS)

Mafsallı No	Mafsallı Türü	Serbestlik Derecesi	Parça 1	Parça 2
1	Sabit	0	Yer	1
2	Döner	1($\pm z$)	1	2
3	Döner	1($\pm x$)	2	4
4	Silindirik Kayar	2($\pm x$)	4	5
5	Vida Hatve		4	5
6	Döner	1($\pm z$)	5	3
7	Döner	1($\pm z$)	3	1

Analizin çözüleceği adım sayısı sonucun doğruluğu için önem arz etmektedir. Denemeler ile farklı adım sayılarında farklı çözümler elde edilmiştir. Belirli bir adım sayısından sonra aynı sonuçlar elde edilmiş ve yakınsama sağlanmıştır. Sonuç olarak, analiz 0,126 sn boyunca 6000 adımda gerçekleştirilmiştir.

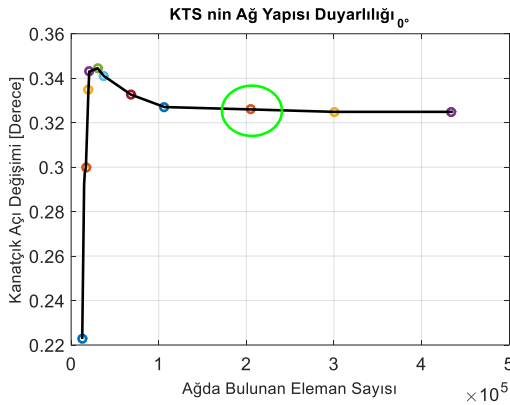
Şekil 4'de verilen aktarma oranının kanatçık açısına göre değişimi ve Şekil 6'da verilen somun üzerine düşen kuvvet değerleri incelendiğinde, analitik ve sayısal sonuçların oldukça tutarlı olduğu görülmektedir. Bu noktada, çoklu cisimler dinamiği modeli doğrulanmış ve sonraki detaylı sistem analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır.

2.3. KTS SEM Analizi (FEM Analysis of FAS)

Elektromekanik KTS'de kanatçıklara gelen aerodinamik menteşe kuvvetlerinin oluşturduğu deformasyonların uzuvlara etki etmesiyle kanatçık açısı istemsiz olarak hareket etmektedir. Bu istemsiz hareket mühimmatlarda farklı hatalara sebebiyet vermektedir. Özellikle ilk KTS modellerinde yük altındaki istemsiz hareket davranışlarını gerçek testlerden önce incelemek ve sonuçlarına göre model üzerinde değişiklik yapılması için SEM analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde sistemde meydana gelen esnemelerden kaynaklı kanatçık açısı değişimlerinin SEM ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, KTS'nin gerçek yüklemeye ve sınır koşulları göz önünde alınarak analizleri ANSYS® sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de KTS elemanlarına ait malzeme özellikleri verilmiştir.

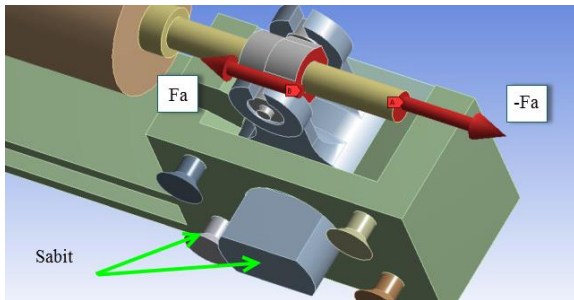
KTS için 0° kanatçık açısında, düğüm ve eleman sayıları değiştirilerek sistemin ağ duyarlılığı

incelenmiştir. Ağ elemanları için Tet 10 ve Hex 20 yapıları kullanılmıştır. Özellikle gerilme yığılma bölgelerinde sık ağ yapısı seçilmiştir. Şekil 8’de eleman sayılarının artışı ile kanatçık açısı değişim grafiği verilmiştir. Grafiğe göre 100,000 eleman sayısından sonra kanatçık açısı belirli bir aralıkta kaldığı gözlemlenmiştir. İşlem maliyeti ve çözüm zamanı hesaba katıldığında analizlerde Şekil 8’de işaretli olan 205,135 eleman sayılı ağ yapısı kullanılmasına karar verilmiştir. Bu noktada, ana şase’nin eleman büyüklüğü 4 mm, kanatçık mili 2 mm, motor bütünü ve bilya vida mili için 2 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 8. Ağ duyarlılık analizi (*Mesh sensitivity analysis*)

Ağ yapısı hazırlanmış KTS bileşenlerinin mafsallı ilişkileri Tablo 3’e göre belirlenmiştir. Sistemin yapısal analizi için sınır şartları gerçeğe uygun şekilde belirlenmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi kanatçık mili ön kısmı ve ana şase civataları sabit bağlantı olarak tanımlanmıştır. Bilya vida mili ve somununa değişik kanatçık açıları ve farklı aerodinamik kanatçık menteşe momentlerini verebilmek için F_a kuvvetleri tanımlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Sınır şartları (*Boundary conditions*)

KTS, değişik kanatçık açıları ve farklı aerodinamik menteşe yükleri altında davranışı incelenmiştir. Analizlerin farklı kanatçık açıları yapılmıştır, mekanizmanın doğrusalsızlığından dolayı aynı tork yükünde farklı eksenel yükler (F_a) meydana getirmiştir. Analiz, $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 5^\circ$, ve 0° kanatçık açıları, 120 Nm, 100 Nm, 90 Nm, 80 Nm,

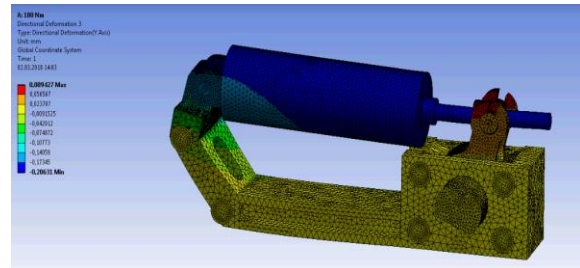
60 Nm ve 40 Nm tork kuvvetlerinde gerçekleştirilmiştir. Kanatçık açıları ve tork yüklerine göre değişen somun eksenel yükleri teorik hesaplamalarda bulunan değerler kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Kanatçık açısına etkiyen aerodinamik yüklerden dolayı kanatçık açısı istemsiz şekilde yer değişimine uğramıştır. Yer değişimlerinin etkisinden dolayı kanatçık açısı değişimi analizde hesaplanmıştır. Bilya vida milinin yüzeyinin (-) yönde hareket etmesi (S_{mil}) ve bilya vidanın somununun (+) yönde hareket etmesi (S_{somun}) deneysel test ile örtüşmektedir. Bu yer değişimlerin mutlak değerleri toplanırsa bilya vida mili ile somunu arasındaki yer değişimi elde edilmiş olur (Eş. 19). ρ ve analiz yapılan açıdaki $N(\theta_{12})$ bilindiğinden dolayı istemsiz kanatçık açısı değişimi hesaplanmıştır (Eş. 20).

$$S_{değişim} = |S_{mil}| + |S_{somun}| \quad (19)$$

$$\theta_{istemsiz_değişim} = \frac{(S_{değişim} * 360)/2}{N(\theta_{12})} \quad (20)$$

Şekil 10’a göre renk ölçeğinde negatif (-) ve pozitif (+) yer değişimleri belirtilmiştir. Ana şase, civatalar, motor bütünü, bilya vida mili parçalarında genelde negatif (-) yer değiştirme gözlemlenmiştir. Bilya vida mili aşırı deformasyona uğramıştır. Kanatçık mili ve bilya vida somunu da genelde pozitif (+) yer değişim gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi bilya vida somununda, bilya vida mili gibi aşırı yer değişimi gözlemlenmiştir. Deformasyonun kanatçık açısına olan istemsiz etkisi Bölüm 4’de detaylı şekilde tartışılmıştır.



Şekil 10. SEM analizi görüntüsü (*FEM analysis screenshot*)

3. DENEYSEL ANALİZ (*EXPERIMENTAL ANALYSIS*)

KTS’nin yapısal özelliklerinin sisteme etkileri ayrıca deneysel testler kullanarak incelenmiştir. KTS’ye gelen aerostatik yükün benzetimi için kanatçık yükleme cihazı (KYC) kullanılmıştır. KTS’ye verilen yüklerle sistemin doğrulanması amaçlanmıştır.

Deneyel test aşaması iki kısımdan oluşmuştur. Birinci aşamada mekanizmanın mafsallarında bulunan üretim ve hazır malzemelerden meydana gelen boşluk miktarının kanatçık açısına etkisi ölçülmüştür. İkinci aşamada KYC kullanılarak kaideye bağlı şekilde bulunan KTS'nin değişik kanatçık açılarında farklı torklar verilerek elastik deformasyonun kanatçık açısına etkisi incelenmiştir.

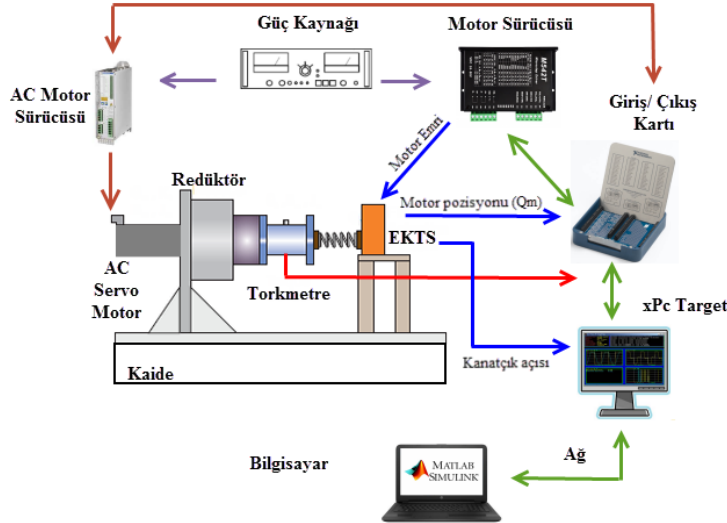
3.1. KYC Çalışma Prensipleri (FLS Working Principle)

KTS istenilen zamanda istenilen pozisyona verilmesi için denetleyiciye sahip olan bir mekatronik sistemdir. Sistemin çalışması için Şekil 11'de görüldüğü gibi çeşitli donanımlara ve hassas cihazlara ihtiyaç vardır. KTS bilindiği üzere servo eyleyici diye adlandırılan FDAM'dan hareketi alarak kanatçık açısına göre yönelmektedir. KYC ise istenilen torku verebilmesi için tasarlanmış bir denetleyiciye sahiptir. Servo motor, torka bağlı kontrol edilerek istenilen tork yükünü sisteme verilebilmektedir. Denetleyicilerin çalışması ve veri iletimi için yazılım ve donanımlar gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, MATLAB®-Simulink yazılımı kullanılarak, iki ayrı denetleyici ile gerçek zamanlı veri iletişimi yapılabilmesi için xPC Target bilgisayar kullanılmıştır (Şekil 11).

KYC, yazılımdan aldığı tork emrini yerine getirebilmesi için ağ ile xPC target bilgisayarına veri gönderimi yapmaktadır. Bilgisayarda mevcut olan kontrol kartı ve giriş/çıkış arayüzü (SCB) kullanılarak

AC servo motor sürücüsüne analog sinyal ile akım emirleri gitmektedir. Gelen emiri, sürücü akım orantılı olarak AC servo motora iletmektedir. Bu sırada KYC'ye bağlı torkmetreden alınan analog tork sinyalleri giriş/çıkış arayüzüne giderek oradan xPC bilgisayarında bulunan kontrol kartına gitmektedir. Ağ ile bağlı olan yazılıma torkun değeri gerçek zamanlı iletilmektedir. İstenilen emre göre bu döngü tekrardan devam etmektedir. Böylelikle, KTS'nin hareket profili içerisinde herhangi bir konuma istenilen bozucu etki (menteşeme momenti) altında gitmesi test edilir. Aerodinamik uçuş koşullarına bağlı olarak değişen menteşe momenti değerleri KYC kullanılarak laboratuvar ortamında KTS'ye uygulanır.

KTS, yazılımdan aldığı pozisyon emrini yerine getirebilmesi için ağ ile xPC target bilgisayarına veri gönderimi yapmaktadır. Bilgisayarda bulunan kontrol kartı ile giriş/çıkış arayüzü vasıtasıyla motor sürücüsüne analog sinyal emri gitmektedir. Güç kaynağı yardımıyla motor sürücüsünün beslemesi için gerekli olan akım sağlanmaktadır. Motorun hareket etmesi ile mekanizmanın açı değişimi gerçek zamanlı olarak giriş/çıkış arayüzü kartına analog sinyal olarak gelmektedir. Sinyal buradan xPC target bilgisayarında bulunan kontrol kartına gelerek ağ aracılığı ile yazılıma aktarılmaktadır. Bu sayede ilk verilen pozisyon emrinin doğruluğu kontrol edilmektedir. Anlık pozisyona göre denetleyicinin vermiş olduğu emir değişerek aynı döngü devam etmektedir. Ayrıca motor kısmından okunan kodlayıcı da diğer alınan kodlayıcı verisi gibi okunmaktadır.



Şekil 11. Yükleme sistemi işleyiş şeması (Loading system operation diagram)

3.2. Boşluk Testi (Clearance Test)

KTS'de kullanılan mekanizmada çeşitli mafsalları kullanılan mekanizmada çeşitli mafsalları kullanılmaktadır. Mafsallar birbirine giren

uzuvları istenilen eksenlerde hareket etmeye yarayan ara bileşenlerden oluşmaktadır. Mafsallar tasarım ve üretim esnasında bir takım geçiş boşluklarını beraberinde getirmektedir. Mekanizma da bulunan boşlukların, kanatçık açısına etkisi deneysel ölçümler ile incelenmiştir. KTS’de eyleyici kısmında bulunan motor miline ve kanatçık miline açısal pozisyonunu ölçebilen kodlayıcılar bağlanmıştır (Şekil 2). Bu kodlayıcılar sayesinde sistemin boşluktan kaynaklanan hareketi ölçülmüştür.

Test sırasında KTS, KYC’ye Şekil 11’de görüldüğü gibi sabit şekilde bağlanmıştır. Test sırasında bilya vidanın üzerinde bulunan somunun aksel ve radyal boşluk miktarı sıfır olduğu kabul edilmiştir. Sisteme belirlenmiş tork yükü verebilmek için kontrollü tork verebilen KYC kullanılmıştır. Üzerinde bağlı bulunan kalibrasyonlu torkmetre sayesinde gerçek zamanlı tork yükü verileri elde edilmiştir. Boşluk testi için verilecek tork yükü, KTS’nin kendiliğinden hareket edebildiği en büyük tork yükü olan 14 Nm olarak belirlenmiştir. Sisteme verilen tork yükü profili Şekil 12’de belirtilmiştir.

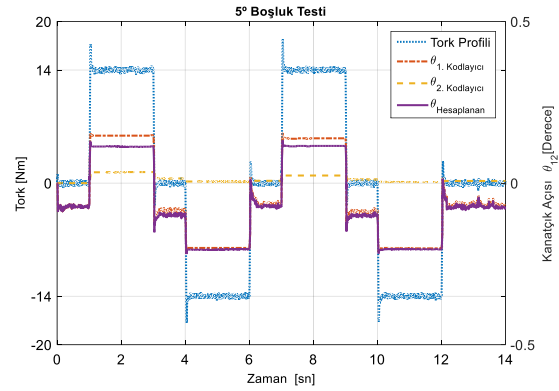
KYC ile test sırasında tork ile pozisyon verileri gerçek zamanlı elde edilmiştir. Bu verilerden 2. kodlayıcıdan yani motor kısmından alınan veriler belirli bir hesaplamalar yapılarak kanatçık açısına dönüştürülmüştür. Test sırasında 2. kodlayıcıdan alınan veriler ($\theta_{2,Kodlayıcı_motor}$) ile mekanizma aktarma oranı sayesinde Eş. 7 kullanılarak motor mili dönüşünün kanatçık açısına etkisi ölçülmüş ve hesaplanmıştır (Eş. 22).

$$\theta_{2,Kodlayıcı} = N(\theta_{1,Kodlayıcı}) \cdot \theta_{2,Kodlayıcı_motor} \quad (22)$$

Eş. 22’de bulunan 2. Kodlayıcı verisi ile 1. Kodlayıcıdan alınan veriler gerçek zamanlı Şekil 12’de belirtilmiştir. $\theta_{2,Kodlayıcı}$ ile $\theta_{1,Kodlayıcı}$ verileri birbirinden çıkarılarak $\theta_{Hesaplanan}$ ulaşılmıştır (Eş. 23).

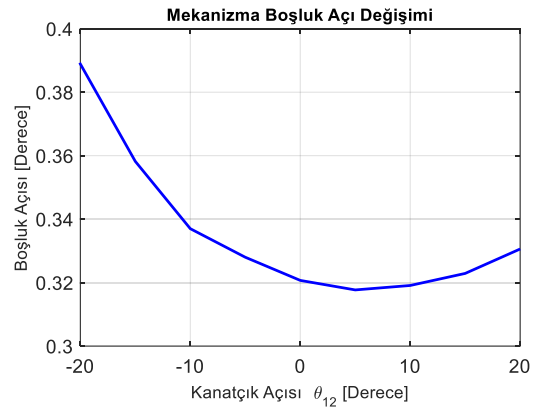
$$\theta_{Hesaplanan} = \theta_{1,Kodlayıcı} - \theta_{2,Kodlayıcı} \quad (23)$$

Eş. 23’de hesaplanan boşluk değeri grafiği Şekil 12’de örnek olarak verilmiştir. Test profilinde – ve + yönlere yükleme yapıldığından dolayı boşluk hareketi iki yönlü meydana gelmiştir. İki yönde tepe değerlerinin mutlaklarının toplanması ile o kanatçık açısındaki boşluk değeri elde edilmiş olur.



Şekil 12. 5°’de iki ayrı kodlayıcıdan alınan veriler ve tork profili (Data and torque profile from two different encoders at 5°)

Mekanizma doğrusal bir yapıya sahip olmadığı için farklı kanatçık açı değerlerinde boşluk değerlerinin test edilmesi gerekmektedir. Testler Şekil 12’deki tork – zaman profiline göre $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 5^\circ$ ve 0° kanatçık açıları gerçekleştirilmiştir. Testin sonucunda hesaplanan boşluk değerleri Şekil 13’de belirtilmiştir.



Şekil 13. Kanatçık açılarına göre boşluktan kaynaklanan açı değişimi (Angle change due to clearance according to the fin angles)

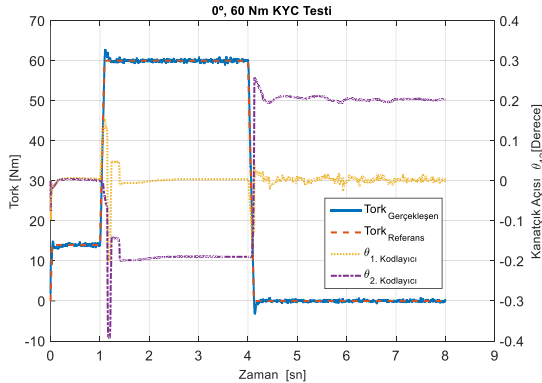
3.3. Yüklmeli Test (Fin Loading Test)

KTS’nin katı model üzerinden yapılan analizlerde elastik deformasyondan kaynaklanan kanatçık açısının istemsiz değişimi deneysel olarak da doğrulanmak istenmiştir. Farklı kanatçık açıları ve tork yüklerinde test gerçekleştirilerek mekanizmanın çeşitli pozisyonlarda durumu incelenmiştir.

Yüklmeli test sırasında en önemli nokta boşluk miktarını bilebilmektir. KTS yüklendiğinde, 0 Nm tork yükünden başladığında boşluk miktarının hangi kısımda bulunduğu kestirilememektedir. Boşluk testinde belirlenen tork miktarı ön yükleme olarak sisteme girilmiştir. Her yükleme yapıldığında ilk

olarak 14 Nm ön yük verilmiş ve sistemin boşluğu alınmıştır. O noktadan itibaren yük verilmiştir. Şekil 14'de 60 Nm yükleme yapılması için izlenen profil verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi ilk olarak 0-1 sn arasında ön yükleme uygulanmıştır. 1-4 sn zaman aralığında ise tork yükü verilmiştir. Kontrolcülü KYC'ndan gerçek zamanlı tork profili girilmiştir. Sistem verilen referans emrini kararlılıkla takip ettiği görülmüştür (Şekil 14).

Zamana bağlı tork yükü profili uygulanırken KTS'nin sahip olduğu kontrolcü sayesinde 1. Kodlayıcıya göre kanatçık milini 0°'de sabit tutması için emir verilmiştir. Bu iki ayrı kontrolcü gerçek zamanlı olarak aynı anda çalışmıştır. Şekil 14'de görüldüğü gibi 2 ayrı kodlayıcı 0° başlamıştır. 1. sn de tork yükü gelmiş ve kontrolcü onu bastırabilmek için aşım yapmıştır. 2,4. sn den sonra 1. Kodlayıcı 0°'e gelebilmiştir. Yalnız 2. Kodlayıcı Şekil 14'de görüldüğü gibi 0,1892° de kalmıştır. Aradaki bu açı farkı değerin okunması ile elastik deformasyonların etkisi görülmüştür. Bu değer 60 Nm de tork yükünden meydana gelen elastik yer değiştirmelerin kanatçık açısına etkisi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 14. Bir yükleme testindeki yük profili ve açı değişimi (Load profile and angle change in fin loading test)

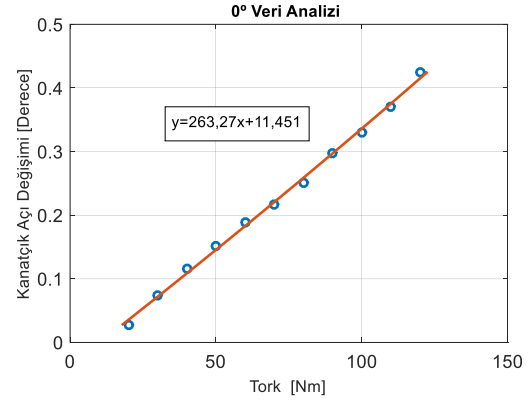
Test prosedürü $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 5^\circ$ ve 0° kanatçık açılarında ve 40 Nm, 60 Nm, 80 Nm, 90 Nm, 100 Nm, 120 Nm tork profili altında yapılmıştır. Testlerin sonucu olarak grafiklerden elastik deformasyonun sebep olduğu kanatçık açı değişimi bulunmuştur.

4. KARŞILAŞTIRMA VE TARTIŞMA (COMPARISON AND DISCUSSION)

Farklı kanatçık açılarında ve değişik tork yüklerinde meydana gelen SEM analizleri ve yüklemeli testlerin sonuçları değerlendirilerek kanatçık açı değişimi incelenmiştir. Boşluk testinden

gelen istemsiz kanatçık açıları ile de KTS'nin boşluk davranışı incelenmiştir.

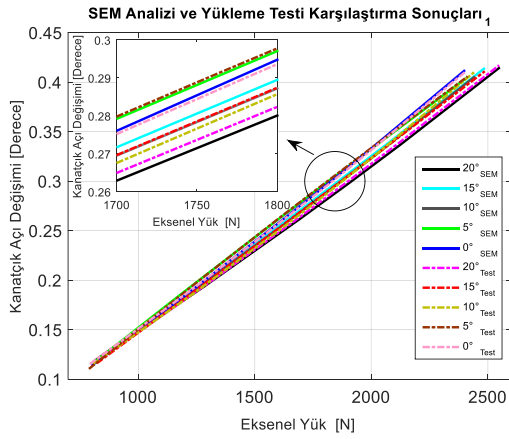
SEM analizi ve yüklemeli test verileri noktasal şekilde alınmıştır. Her bir kanatçık açısında bu noktalardan geçen bir doğru geçirilmiş ve ona göre değerlendirmeler yapılmıştır. Bu işlem için MATLAB® kullanılmıştır. Örneğin, yüklemeli testten çıkan 0° 'deki sonuçlar ile çeşitli torklarda yükleme yapılmıştır. Çıkan verilere göre Şekil 15'de belirtilen noktalar işaretlenmiştir. Bu noktalardan geçebilecek 2. dereceden bir doğru geçirdiğinde Şekil 15'deki gibi doğru meydana gelmiştir. Bu doğru en küçük kareler yöntemi ile incelendiğinde genel olarak % 99,1 yakınsadığı görülmüştür. SEM analizi ve yüklemeli test sonuçları bu şekilde doğrusallaştırma yapılarak incelenmiştir.



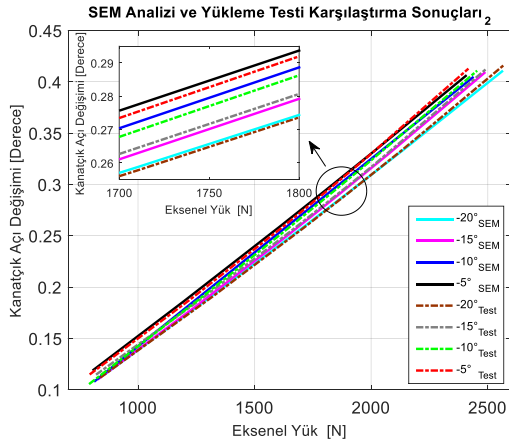
Şekil 15. 0° 'de alınan verilerin 2. dereceden bir denkleme dönüştürme işlemi (Conversion of the data received at 0° to the 2nd order equation)

Yüklemeli test ile SEM analizlerinin değerlendirilebilmesi için verileri kullanarak diğer kanatçık açılarındaki grafikler çizdirilmiştir. Her kanatçık açısında Şekil 15'de belirtilen işlem uygulanarak düzenli hale getirilmiş ve grafikler oluşturulmuştur. Grafiklerde değişik kanatçık açılarında farklı somun eksenel yüklerine göre kanatçık açısının istemsiz değişimi incelenmiştir.

Şekil 16'da KTS kanatçık açısı $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 5^\circ$ ve 0° 'deki pozisyonlarında yüklemeli test ve SEM sonuçları verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi belirli bir eğimde doğrusal bir değişim gözükümüştür. Sonuçlara göre verilen yük altında KTS'nin elastik bölgede kalarak hareket ettiği sonucuna ulaşılmıştır. SEM analizi ile deneysel sonuçlar birbirine benzer yapıya sahip olduğu görülmüştür. Pozitif (+) ile negatif (-) kanatçık açıları aynı türden davranış sergilemiştir. Belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir.



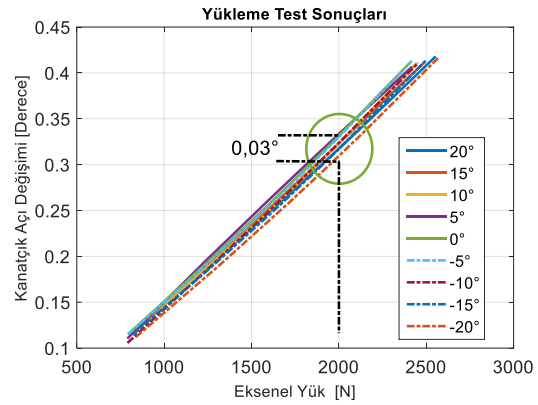
(a)



(b)

Şekil 16. Yükleme testi ve SEM analizi karşılaştırması (a) + kanatçık açıları, (b) -kanatçık açıları (Fin loading test and SEM analysis comparison (a) + Fin angles, (b) - Fin angles)

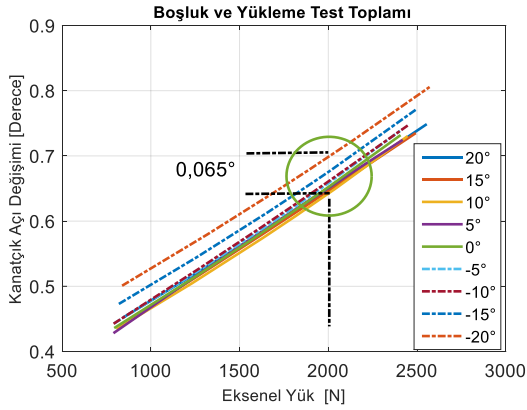
Şekil 17'de KTS'nin yüklemeli test sonuçları bütün kanatçık açıları ile beraber verilmiştir. Aynı eksenel yükte farklı kanatçık açılarına bakıldığında KTS'nin 0°'de daha çok istemsiz kanatçık açı değişimi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 17'ye göre aynı eksenel yükte yaklaşık kanatçık açı değişimi 0,03°'lik bir banda seyretmiştir. Bu aralık farklı eksenel yüklerde de yaklaşık aynı aralığa sahip olduğu görülmüştür sadece düşük yüklerde bu aralık değeri yaklaşık 0,02°'ye indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 17. Her bir kanatçık açısında deneysel sonuç karşılaştırması (Experimental results comparison at each fin angle)

Genel olarak gerçek zamanlı yüklemeli test ile SEM analiz sonuçları karşılaştırıldığında, aynı eksenel kuvvet değerinde, negatif (-) kanatçık açıları ile pozitif (+) kanatçık açıları arasında farklılık gözlemlenmiştir. Bu değişimin sebebi, KTS modelinin değişik açılarda farklı model yapısına sahip olmasından kaynaklıdır. Özellikle kanatçık milinin kulak kısımlarında kapanma ya da açılma yönünde deformasyon meydana gelmektedir. Bu değişim bu farklılığın çıkmasına sebep olmuştur. Bu farklılığın oluşmasının bir başka sebebi de KTS'nin ters krank biyel mekanizmasına sahip olmasına bağlı olarak gelen doğrusalsızlıklardan kaynaklanmaktadır. Şekil 17'den anlaşılacağı gibi küçük yüklerde kanatçık açı değişimi 0,11° - 0,13° arasında çıkmıştır. Eksenel yükün artışı ile görüldüğü gibi kanatçık açı değişimi artmıştır. En yüksek yüklerde 0,4° - 0,43° arasında açı değişimi gözlemlenmiştir. Eksenel yükün artışı ile aynı doğrultuda deformasyon miktarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu yükselişin etkisiyle kanatçık açısının istemsiz hareketi de artmıştır.

Deneysel olarak mekanizmanın mafsallarında bulunan boşlukların sebep olduğu kanatçık açı değişiminin etkisi önceki bölümlerde incelenmiştir. Sonuç olarak, Şekil 13'de boşluktan kaynaklanan kanatçık açı değişimleri verilmiştir. En yüksek boşluk değeri, -20° kanatçık açısında 0,3889° gözlemlenmiştir. En düşük boşluk değeri ise +5° kanatçık açısında yapılan deneysel testlerde de 0,3177° gözlemlenmiştir. Yüklemeli testler ilk olarak ön yükleme ile belirli seviyede tork yükü verilerek ve boşluk değeri alınarak gerçekleştirilmiştir. Yüklemeli testlerin sonuçlarına kanatçık açılarına göre boşluk değerlerinin sebep olduğu kanatçık açı değişimi de eklenildiğinde Şekil 18 de gösterilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 18. Bütün kanatçık açılarında yüklem ve boşluk test sonuçları karşılaştırması (Load and clearance test results comparison at each fin angle)

Şekil 18'e göre, yüklemeli test ile boşluk testinden gelen değerler toplandığında -20° 'de oldukça farklı bir yapı meydana gelmektedir. Boşluk testinden gelen kanatçık açısı değişiminin etkisi büyük rol oynamıştır. Şekil 18'e göre aynı eksenel yükte yaklaşık kanatçık açısı değişimi $0,065^\circ$ lik bir banda seyretmiştir. Bu aralık farklı eksenel yüklerde de yaklaşık aynı banda sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aralık boşluk testinden gelen değerlerin eklenmesi ile oldukça fazla şekilde artmıştır.

Boşluk ve yüklemeli test den gelen sonuçların toplanması ile KTS'nin genel olarak istemsiz kanatçık açısı değişimi çıkarılmıştır. Bunun sonuçları olarak KTS'nin hesaplayamadığı istemsiz kanatçık açısı değişimi şeklinde belirtilmiştir. En yüksek kanatçık açısı değişimi 120 Nm tork yükünde, kanatçık açısı -20° 'de iken, $0,81^\circ$ gözlemlenmiştir. En düşük kanatçık açısı değişimi 40 Nm tork yükünde, kanatçık açısı 5° 'de iken, $0,42^\circ$ olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada mühimmatlarda bulunan kanatçık tahrik sistemlerinin yapısal özelliklerinin kanatçık açısına etkisi deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Kanatçık tahrik sisteminde bulunan mekanizmanın kinematik ve statik analizi, analitik ve nümerik metodlar ile çözümlenerek karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile farklı kanatçık açılarında değişik tork yüklerinde analizler yapılmıştır. Analizlerin sonucunda elastik deformasyonların sebep olduğu kanatçık açısı değişimleri incelenmiştir. Yapılan analizlerin karşılaştırması için kanatçık yüklem cihazı kullanılarak sisteme menteşe kuvvetlerinin benzetimi verilerek esnemelerin oluşturduğu kanatçık açısı değişimi incelenmiştir. Sistemin en önemli özelliği olan aktarma oranı deneysel olarak çıkarılmış ve

teorik yöntem ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Mekanizmaların genel özelliklerinden olan mafsal arası boşluk miktarı kanatçık açısını istemsiz şekilde hareket ettirmektedir. Deneysel çalışmalar ile mafsal arası geçiş boşluklarının sebep olduğu istemsiz kanatçık açısı değişimi incelenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılacak genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analiz ve deneysel sonuçları karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bazı grafiklerde deneysel veriler ile analiz arası önemsenmeyecek uyumsuzluklar vardır. Bunun sebebi ise deneysel model ile analiz model arasında bulunan farklılıklardır. Örneğin, yataklama elemanı gibi karmaşık yapılar sonlu elemanlar metodu ile tam olarak tanımlanamamıştır. Ayrıca, veri okuma sırasında gerçekleşen elektriksel gürültü ve kodlayıcı çözünürlüğünün etkisi hatalı okunmasına sebep olmuştur.
- Farklı kanatçık açıları, aynı eksenel yük durumu incelendiğinde 0° ve 5° civarlarında en yüksek kanatçık açısı değişimi meydana gelmiştir. -20° ve $+20^\circ$ kanatçık açıları en az kanatçık açısı değişimi olmuştur.
- Kanatçık tahrik sistemine gelen aerodinamik menteşe kuvvetlerinin artması ile deformasyon miktarının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, kanatçıklara gelen tork yükü arttığında kanatçık açısı değişiminin arttığı gözlemlenmiştir.
- Yüklü durumda meydana gelen kanatçık açısı değişim miktarı, farklı kanatçık açıları arasında beraber incelendiğinde belirli bir aralığın içinde kalarak arttığı gözlemlenmiştir.
- Sistemde bulunan mafsal boşlukları deneysel olarak test edilmiştir. Kanatçık açısı – dereceye doğru ilerlediğinde oldukça yüksek kanatçık açısı değişimine sebep olmaktadır. + yönde ise daha az kanatçık açısı değişimi görülmüştür. Sistemin simetrik davranmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle 0° kanatçık açısında mafsal boşluğundan kaynaklanan kanatçık açısı değişimi en düşük seviyede gözlemlenmiştir.
- Kanatçık tahrik sistemine yüklemmeden gelen deformasyon miktarına mafsal boşluğundan gelen kanatçık açısı değişimi eklendiğinde -20° kanatçık açısında yüksek kanatçık açısı değişimi gözlemlenmiştir.

İleriki çalışmalarda bu makale çalışmasından farklı olarak kanatçık tahrik sistemlerinde bulunan mekanizmalarda mafsal geçiş boşlukları teorik olarak incelenerek kanatçık açısına etkisi araştırılacaktır. Ek olarak farklı mekanizmalar ve farklı malzemeler için

deneysel veya sayısal analizler yapılarak kanatçık açısı değişimi incelenecektir.

6. SİMGELER (SYMBOLS)

Latin Harfleri (Latin Letters)

a_1	:	Kanatçık dönme eksenine ile motor dönme eksenine arasındaki yatay uzaklık
a_2	:	Kanatçık kuvvet kolu uzunluğu
c	:	Kanatçık dönme eksenine ile motor dönme eksenine arasındaki eksantriklik
s	:	Somunun, bilya vida eksenine boyunca, motor dönme eksenine uzaklığı
s_0	:	Kanatçık açısı 0° 'de iken somunun, bilya vida eksenine boyunca, motor dönme eksenine uzaklığı
N	:	Mekanizmanın anlık aktarma oranı
T_{kmax}	:	Kanatçık en yüksek torku
p	:	Bilya vida adımı
$S_{değişim}$:	SEM analizinde toplam deformasyon değişimi
S_{mil}	:	SEM analizinde bilya vida milinin deformasyon değişimi
S_{somun}	:	SEM analizinde bilya vida somununun deformasyon değişimi
N_t	:	Mekanizmanın deneysel anlık aktarma oranı

Yunan Harfleri (Greek Letters)

θ_{12}	:	Kanatçık kuvvet kolunun yatay eksenle yaptığı açı
θ_{14}	:	Bilya vida – motor bütününe yatay eksenle yaptığı açı
$\theta_{1. Kodlayıcı}$:	1. Kodlayıcıdan alınan kanatçık açısı değişim verisi
$\theta_{2. Kodlayıcı}$:	2. Kodlayıcıdan alınan verinin kanatçık açısı cinsi
$\theta_{2. Kodlayıcı_motor}$:	2. Kodlayıcıdan alınan motor açısı değişim verisi
$\theta_{istemsiz_değişim}$:	SEM analizinde sonucunda, istemsiz kanatçık açısı değişimi
$\theta_{Hesaplanan}$:	Deneysel kanatçık açısı boşluk verisi

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. M. Siouris, *Missile guidance and control system*. First Edition. USA: Springer, 2004.
- [2] S.H. Kim and M.J. Takh, "Modeling and experimental study on the dynamic stiffness of an electromechanical actuator." *Journal of Spacecraft and Rockets*, vol.53, no.4, pp. 708-719, June, 2016. Doi: 10.2514/1.A33483
- [3] V.B. Blaignan and V.A. Skormin, "Stiffness enhancement of flight control actuator." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* vol. 29, no.2, pp. 380-390, April, 1993. Doi: 10.1109/7.210076
- [4] E. Daş, İ.İ. Delice and M. Keleş, "Analysis and robust position control of an electromechanical control actuation system." *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 42, no.3, pp. 628-640, 2020. Doi: 10.1177/0142331218813421
- [5] M. Garrison and S. Steffan, "Two-fault tolerant electric actuation systems for space applications." *42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 09-12 July, 2006, Sacramento, USA*. Doi: 10.2514/6.2006-4939
- [6] Ö. Hastürk, "Applications of slider chain inversion in control actuation systems." *IEEE International Conference on AIM, 12-15 July, 2016, Alberta, Canada*, 1579-1584.
- [7] E. Soylemez, *Mechanism*. METU, Fourth edition, Ankara: Middle East Technical University, 2009, pp. 277-281.
- [8] T. Çelik and B. Özkan, "Kontrol tahrik sistemlerinde kullanılan ters krank biyel ve dişli çark mekanizmalarının başarımlı özelliklerinin karşılaştırılması." *TOK 2015, Otomatik kontrol ulusal toplantısı, Denizli, Türkiye*, 2015, pp. 212-217.
- [9] H.C. Yoo, "Active Control of Aeroelastic Vibrations for Electromechanical Missile Fin Actuation Systems." *Journal of guidance, control, and Dynamics*, vol. 40, no. 12, pp. 1-8, December, 2017. Doi: 10.2514/1.G002821
- [10] M.U. Özakalın, "Kayan kipli denetim yaklaşımına göre hidrolik ve elektromekanik eyletimli kanatçık yükleme cihazlarının başarımlı özelliklerinin karşılaştırılması." *Ulusal makine teorisi sempozyumu, UMTS 2013, Eylül, 12-13, 2013, Erzurum, Türkiye*, G. Şakar, Erzurum: UMTS, 2013, pp. 294-302.

[11] G.S. Tombul, "Real time control of a fin loading system." *ICCC, 17 th international carpathian control conference, May 29-June 1, 2016, Tatranska Lomnica, Slovakia*, 2016, pp. 747-752. Doi: 10.1109/CarpathianCC.2016.7501195

[12] İ.İ. Delice, E. Daş and L. Gören, "Güdümlü bir mühimmat kanatçık tahrik sistemi için iki döngülü kontrol sistem tasarımı." *TOK 2014, Otomatik kontrol ulusal toplantısı, Kocaeli, Türkiye*, 2014, pp. 517-522.

[13] R.C. Silva, M.A. Nunes, J.P.M. Bento and V.E. Costa, "Modelling an inverted slider crank mechanism considering kinematic analysis and multibody aspects." *DINAME, Proceedings of the XV international symposium on dynamic problems of mechanics, Feb-17-22, 2013, RJ, Brazil*, M.A. Savi, Buzios: ABCM, 2013.

[14] P. Frankovský and D. Hroncová, "Kinematic analysis of the crank mechanism with rotating cylinder using MSC Adams/View." *Applied mechanics and materials*, vol. 816, pp. 213-223, December, 2015. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.816.213

[15] J. Zhang and Q. Wang, "Modeling and simulation of a frictional translational joint with a flexible slider and clearance." *Springer, Multibody system dynamic*, vol. 38, pp. 367-389, December, 2016. Doi: 10.1007/s11044-015-9474-7

[16] K. Tink, K. Hsu, Z. Yu and J. Wang, "Clearance induced output position uncertainty of planar linkages with revolute and prismatic joints." *Elsevier, Mechanism and machine theory*, vol. 111, pp. 66-75, May 2017. Doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2016.09.012

[17] H. Gokce, "Prediction of nonlinear dynamic impact force history by finite element method." *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 11, no. 2, pp. 32-37, May 2018. Doi: 10.25103/jestr.112.06

[18] Y.M. Wang and Z. Wang, "A time finite element method for dynamic analysis of elastic mechanism in link coordinate systems." *Elsevier, Computers and structures*, vol. 79, no. 2, pp. 223-230, January 2001. Doi: 10.1016/S0045-7949(00)00120-6

Murat KELEŞ

04 Ekim 1989 Çorum doğumlu Murat KELEŞ, 2012'de Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği lisansı programı ve 2018'de Hitit Üniversitesi Makine

Mühendisliği yüksek lisans programından mezun oldu. Ardından Hitit Üniversitesi'nde alanında doktora programına başladı. Çalışma alanları, tahrik mekanizmaları, mekanik etkileşimler ve malzeme alanlarında devam etmektedir. 2015'de başlamış olduğu TÜBİTAK SAGE Mekatronik Biriminde kanatçık tahrik sistemleri tasarımı ve geliştirmesi konularında uzman araştırmacı olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Cengiz BAYKASOĞLU

Dr. Cengiz Baykasoğlu, makine mühendisliği alanında lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla Dokuz Eylül Üniversitesi, Gazi Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nden 2003, 2006 ve 2012 yıllarında almıştır. Dr. Baykasoğlu ayrıca TÜBİTAK 2219 Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı kapsamında Pittsburgh Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Malzeme Bilimi Bölümü'nde doktora sonrası araştırmalar gerçekleştirmiştir. Hitit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde tam zamanlı öğretim üyesi olarak çalışan Dr. Baykasoğlu, 2017 yılından beri ayrıca Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü görevini sürdürmektedir. Ulusal ve uluslararası seviyelerde yayımlanmış 60'dan fazla akademik çalışması olan Dr. Baykasoğlu, aynı zamanda birçok bilimsel dergi ve kurulda aktif olarak hakemlik ve kurul üyeliği yapmaktadır. Dr. Baykasoğlu'nun aktif çalışma konularından bazıları hesaplamalı ve deneysel mekanik ile malzeme bilimi uygulamaları, metal katmanlı imalat yöntemleri ve benzetimleri, bilgisayar destekli tasarım ve optimizasyon ile kompozit malzemeler ve mekaniğidir.

Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Yükseklik Modellemesi (Samsun-Mert Irmağı Havzası Örneği)

Vahdettin DEMİR^{*,a}, Aslı ÜLKE KESKİN^b

^{a,*} KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-6590-5658, 42020, KONYA, TÜRKİYE

^b Ondokuzmayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-9676-8377, 55270, SAMSUN, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 14.11.2019
Kabul: 28.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Yükseklik Modeli,
Yapay Sinir Ağları,
Tahmin, Samsun

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
vahdettin.demir@karatay.edu.tr

ÖZET

Birçok mühendislik uygulamasında, topoğrafik yüzeye ihtiyaç duyulmakta ve topoğrafyanın uygun doğrulukta belirlenmesi gerekmektedir. Sayısal yükseklik modeline dayalı uygulamalarda olduğu gibi, örnek çalışma alanı yatay ve düşey konum bilgileri kullanılarak yükseklik değerleri uygun yöntemlerle belirlenebilir. Bu çalışmada Samsun ili Mert ırmağı havzası ve kent sınırlarının kesiştiği alanda, hâlihazır haritalardan temin edilmiş yatay ve düşey koordinat bilgilerinin yer aldığı noktalardan, yükseklik (kot) değerleri yapay sinir ağları yöntemlerinden Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA) ve regresyon analizi kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada 3 farklı kombinezon denenmiştir. Bunlar: (i) X koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini; (ii) Y koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini; (iii) X ve Y koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini şeklindedir. Karşılaştırma kriterleri olarak Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. OMH, KOKH ve R^2 kriterlerine göre yükseklik modellemesinde yapay sinir ağı modelinin regresyon modellerinden daha iyi uyum (uygun doğruya) sağladığı gözlenmiştir. En yüksek R^2 değeri (0.948) (iii) kombinezonunun giriş verisi olarak kullanıldığı ÇKYSA modelinden elde edilmiştir. En düşük R^2 değeri ise 0.132 (ii) kombinezonunun denendiği regresyon modelinde görülmüştür. Yapılan modelleme sonucunda yükseklikler (iii) kombinezonu ve ÇKYSA ile daha başarılı tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, yapay sinir ağlarının regresyon analizine alternatif bir yöntem olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.05>

Height Modeling with Artificial Neural Networks (Samsun-Mert River Basin)

ARTICLE INFO

Received: 14.11.2019
Accepted: 28.04.2020

Keywords:

Elevation Models,
Artificial Neural
Network, Prediction,
Samsun

***Corresponding**

Authors

e-mail:
vahdettin.demir@karatay.edu.tr

ABSTRACT

In many engineering applications, it is needed topographical and surface topography is required to determine the appropriate accuracy. As applications based on digital elevation model case study of height values using horizontal and vertical position information may be determined by appropriate methods. In this study, Samsun Mert river basin and at the intersection of the city limits, the present progress has been providing horizontal and vertical elevation values of the point where the coordinates of the map information have been studied to predict. Multi-Layer Artificial Neural Networks (MLANN), and regression analysis were used. The study was tested in three different combinations. These include: (i) X coordinate of the estimated height information; (ii) the estimated height of the Y coordinate information; (iii) the estimated height information in the form of X and Y coordinates. As a comparison criterion Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and the determination coefficients (R^2) were used. When the models were compared, Artificial Neural Networks (ANN) model gave a better fit (fit-line) than Multiple Linear Regression (MLR) and linear regression (LR) models. The highest R^2 value (0.948) was found from the ANN model where the combination (iii) was used as input data. The lowest R^2 value (0.132) was obtained from the regression model where the combination (ii) was used as input data. As a result of modeling, heights have been estimated more successfully with the (iii) combination of ANN. Therefore, ANN was determined as an alternative method to regression analysis.

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Hidrografik amaçlı birçok Mühendislik uygulamasında, topoğrafik yüzeye ihtiyaç duyulmakta ve topografyanın uygun doğrulukta belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla sayısal yükseklik modeline dayalı uygulamalarda olduğu gibi, örnek çalışma alanı yatay ve düşey konum bilgileri kullanılarak yükseklik değerleri uygun yöntemlerle belirlenebilir. İster arazi üzerinden alım, isterse uzaktan algılama yöntemlerine göre olsun yükseklik bilgisinin belirlenmesi haritacılıkta her zaman güç bir konu olmuştur. Bu güçlük bilinen fonksiyonların dışında kapalı kutu modellere dayalı yapay sinir ağlarının modellenilebilirliği ile aşılabılır.

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin deneme yanılma yoluyla öğrenme ve öğrendiğini genelleştirme esasına dayanan bir sistemdir. Birçok mekanizma ve sistemin çıktılarını hesaplamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Birçok akademisyen tarafından değişik disiplinlerde (finans, sağlık, mühendislik, fizik, jeoloji ve hidroloji alanlarında) başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [1–14]. YSA ile ilgili literatürde birçok çalışma olmasına rağmen konum bilgilerine dayalı YSA kullanımıyla ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Çalışmalar, genellikle polinomal ve radyal tabanlı yüzey modellemesi [15], iki boyutlu koordinat dönüşümü ve multiquadratik jeoid modellemesi üzerinedir [16, 17].

Bu çalışmada Samsun ili Mert ırmağı havzası ve kent sınırlarının kesiştiği alanda, hâlihazır haritalardan temin edilmiş yatay (X) ve düşey (Y) koordinat bilgilerinin yer aldığı noktalardan yükseklik (Z) değerleri yapay sinir ağları yöntemlerinden Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA) ve regresyon analizi kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma 3 farklı kombinezon denenmiştir. Bunlar: (i) X koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini; (ii) Y koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini; (iii) X ve Y koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini şeklindedir. Ayrıca çalışmada Samsun ilinde yer alan Mert ırmağı havzasının seçilmesindeki en büyük neden, hidrolik modellemesinin gelecek çalışmalarda yapılabilirliğini araştırmaktır. Hidrolik modellemenin yapılabilmesi için öncelikle çalışma alanı topografyasının modellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışma ayrıca hidrolik modellemenin de ilk aşamasını oluşturmaktadır.

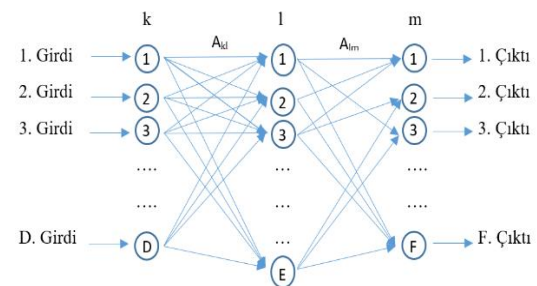
2. YÖNTEMLER (METHODS)

2.1. Yapay Sinir Ağları, YSA (Artificial Neural Networks, ANN)

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözlemeleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir [18].

2.2. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları, ÇKYSA (Multilayer Artificial Neural Networks, MLANN)

ÇKYSA, birçok işlem elemanlarının birbirlerine farklı ağırlıklarla bağlandığı paralel bir sistemdir. Üç tabakaya sahip ÇKYSA yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada k girdi tabakası, l gizli tabaka ve m çıktı tabakasını göstermektedir. A_{kl} ve A_{lm} ise hücreler arasındaki bağlantılarda oluşan bağlantıların ağırlıklarını temsil etmektedir. Sistemin eğitim aşamasında ağırlık değerleri rastgele sayılar şeklinde atanmaktadır. Bu rastgele atanan ağırlıkların kullanılmasıyla elde edilen çıktıların gerçek (gözlemlenen) çıktı değerleriyle karşılaştırılması sonucunda ağırlıklar yenilenmektedir. Ağırlıkların yenilenmesi ise hata değerinin belirlenen minimum hata değerine yaklaşmasına göre değişir. Hataları minimum yapıncaya kadar hatalar, sağ tabakalardan sol tabakalara doğru yayılır. Ağırlıkları ayarlamak için birçok çalışmada Levenberg-Marquardt (LM) fonksiyonu diğer fonksiyonlara göre daha hızlı ve başarılı sonuçlar verdiği için bu çalışmada LM fonksiyonu kullanılmıştır [19]. Şekil 1'de l ve m tabakalarındaki her bir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktılarını girdi olarak almaktadır. NET değerleri denklem 1 yardımıyla hesaplanmaktadır [20].



Şekil 1. Üç katmanlı (k,l,m tabakaları) bir YSA yapısı (An ANN structure with three layers (layers k, l, m))

$$NET_{il} = \sum_{k=1}^D A_{kl} C_{tk} + \theta_l \quad (1)$$

Burada, θ_l taraflılık sabiti (bias), A_{kl} giriş ve ara tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi, D girdi vektörünün boyutu, C_{tk} t örneği için giriş tabakasının çıktı kümesidir.

2.3. Regresyon Analizi (Regression Analysis)

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi çok değişkenli regresyon analizi, tek bir bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi ise tek değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır [21].

2.3.1. Tek değişkenli regresyon analizi, TDR (Univariate regression analysis, URA)

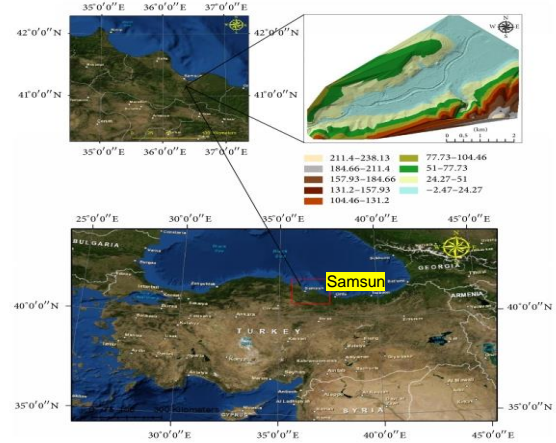
TDR, bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceler. TDR ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir. TDR'nin genel yapısı $y=a_1.x_1+b_0+\varepsilon_i$ şeklindedir. Burada “y” bağımlı değişkeni; “x” bağımsız değişkeni; b_0 regresyon eğrisinin y eksenini kestiği noktayı ve ε_i ortalaması sıfır, varyansı σ_2 olan hata değişkenini temsil eder.

2.3.2. Çok Değişkenli Regresyon Analizi, ÇDR (Multivariate regression analysis, MRA)

ÇDR, bir adet bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin arasındaki ilişkiyi inceler. ÇDR'nin genel yapısı $y=a_1.x_1+a_2.x_2+a_3.x_3+\dots+a_n.x_n+b_0+\varepsilon_i$ şeklindedir. Burada “y” bağımlı değişkeni; “x” bağımsız değişkenleri; b_0 regresyon eğrisinin y eksenini kestiği noktayı ve ε_i ortalaması sıfır, varyansı σ_2 olan normal dağılışa sahip hata değişkenini temsil eder.

3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ (STUDY AREA AND DATA)

Çalışmada Samsun, merkez ilçe sınırlarında yer alan ve Karadeniz'e dökülen Mert ırmağı (enlem: 41.279° ve boylam: 36.352°) havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı (Study area) [22].

Çalışmada modellenen veriler Samsun merkez belediyelerinden (Canik-İlkadım) temin edilen hâlihazır harita yükseklik verileridir. Bu veriler 1/1000 ölçekli, ED-50 koordinat datumunda tanımlı olup 2005 yılı hava fotoğraflarından elde edilmiştir. Verilere ait tanımlayıcı istatistiksel veriler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Verilere ait istatistiksel bilgiler (Statistics information for data)

	X koordinatları	Y koordinatları	Z (kot)
Veri sayısı (N-adet)	14362	14362	14362
Maksimum değeri (m)	4572051.1	530920.6	238.13
Minimum değeri (m)	4568584.6	528296.48	0.07
Ortalama (m)	4570318.4	529557.4	43.68
Standard sapma (m)	889.7	686.63	52.35
Çarpıklık katsayısı (m)	0.008	0.057	1.429

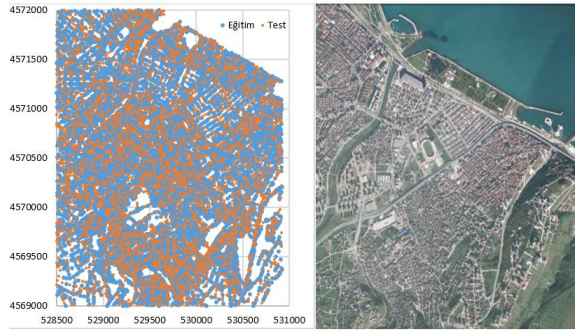
Tablo 1 incelendiğinde kontrol noktalarının X ve Y koordinat değerlerinde standart sapma değeri, Z değerlerinden daha büyüktür. Bu durum çalışma alanının büyüklüğünün ve çalışmada kullanılan noktaların birbirine yakınlığının bir ölçütüdür. Çarpıklık katsayıları ise X ve Y koordinat değerlerinde birbirine ve sıfıra oldukça yakınsa, Z değerlerinde sıfırdan büyüktür. Normal dağılımda çarpıklık katsayısı sıfıra eşittir. Bu durum göz önüne alındığında X ve Y koordinat değerlerinin normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği, Z değerlerinin çarpıklık katsayısı ise sıfırdan büyük ve işaretinin

pozitif olması nedeniyle normal dağılıma göre sola çarpık bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

Çalışmada toplamda 14362 adet kontrol noktası bulunmaktadır. YSA modellemelerinde veri sayısının fazla olması çalışmanın doğruluğunu etkilemektedir. Veri sayısının fazla olması yapay sinir ağlarında daha fazla deneme-yanılma yapmaya imkan vereceğinden çalışmanın doğruluğunu genellikle artırmaktadır. YSA eğitim aşamasında öğrenme işleminin iyi yapılması, test aşamasında daha doğru tahmin sonuçlarının elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca YSA modellemelerinde veri kalitesi ve veri parametrelerinin seçimi de çalışmanın doğruluğunu etkilemektedir.

3. UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışmada modellemeler MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Modelleme kombinezonları Microsoft Excel ortamında oluşturulmuş ve MATLAB ortamında hazırlanmış kodlar yardımıyla veriler modele çağrılarak sonuçlar elde edilmiştir. ÇKYSA ve regresyon modellemeleri iki aşamada (eğitim, test) gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşamasında verilerin %80'i test aşamasında ise verilerin %20'si kullanılmıştır. Eğitim ve test verilerinin rastgele dağılımı Şekil 3'de, verilere ait istatistiki bilgileri ise Tablo 2, 3'de yer almaktadır.



Şekil 3. Eğitim ve test verilerinin dağılımı (Distribution of training and test data)

Tablo 2. Eğitim verilerine ait istatistiki bilgiler (Statistics information for training phase)

Veri Seti	Eğitim		
Değişken	X	Y	Z
Veri Sayısı	10053		
Maksimum	4572051.2	530920.69	238.13
Minimum	4568584.6	528298.59	0.07
Ortalama	4570320.4	529553.52	43.53
Standard sapma	888.41	685.23	52.12

Tablo 3. Test verilerine ait istatistiki bilgiler (Statistics information for testing phase)

Veri Seti	Test		
Değişken	X	Y	Z
Veri Sayısı	4309		
Maksimum	4572049.9	530919.13	236
Minimum	4568586.8	528296.48	0.07
Ortalama	4570314.1	529566.54	44.05
Standard sapma	892.78	689.89	52.88

Modellemelerde üç farklı giriş kombinezonu denenmiş olup bunlar: (i) X; (ii) Y; (iii) X, Y; şeklindedir. ÇKYSA modellemesi TDR ve ÇDR ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. KOKH, OMH ve R^2 formülleri denklem 2-4'de yer almaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_t - Z_g)^2} \quad (2)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_t - Z_g| \quad (3)$$

$$R^2 = \left(\frac{N * (\sum Z_g * Z_t) - (\sum Z_g) * (\sum Z_t)}{\sqrt{(N * \sum Z_g^2) - (\sum Z_g)^2} * \sqrt{(N * \sum Z_t^2) - (\sum Z_t)^2}} \right)^2 \quad (4)$$

Yukardaki eşitliklerde Z_t ve Z_g tahmin edilen ve gözlenen Z değerlerini, N ise veri sayısını göstermektedir.

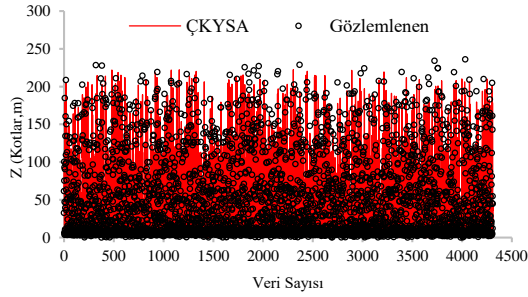
ÇKYSA modellemesinde iterasyon sayısı optimize edilmiş ve 100 olarak alınmıştır. Hedef hata değeri ise 1×10^{-5} olarak tanımlanmıştır. Ara tabaka hücre sayısı 10 tabakaya kadar denenmiştir. Eğitim algoritması olarak LM algoritması, aktivasyon fonksiyonu olarak da logsig kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu YSA hücrelerine gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiyeye karşılık elde edeceği çıktıyı belirler. Uygulamada fonksiyonun en aktif bölgesi olan 0.2 ile 0.8 arasında veriler normalize edilmiştir. ÇKYSA'da, eğitim aşamasında elde edilen (eğitilen veriler için) optimum ara tabaka hücre sayısı tespit edilmiş ve test aşamasında kontrol edilmiştir. ÇKYSA için farklı ara tabaka hücre sayıları denenmiş ve değerlendirme aşamasında en küçük karesel hatayı veren değer esas alınmıştır. Tablo 4'de ÇKYSA'nın test sonuçları verilmiştir. Burada optimum ara tabaka hücre sayıları da görülmektedir. Örneğin (1,7,1); 1 giriş tabaka hücre sayısı, 7 ara tabaka hücre sayısı ve 1 çıkış tabaka hücre sayısına sahip bir ÇKYSA modelini göstermektedir. Tablodan açıkça görüldüğü gibi X, Y girişini kullanan ÇKYSA

modeli diğerlerine göre daha düşük KOKH (12.00 m) ve OMH (7.98 m) ve daha büyük R^2 (0.948) değerleri vermiştir. En kötü sonuç (ii) kombinezondan elde edilmiştir.

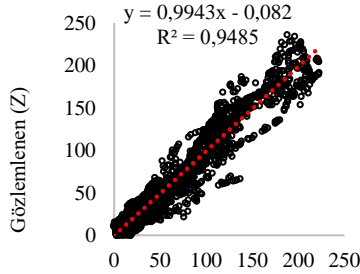
Tablo 4. ÇKYSA modellerinin test aşamasındaki hataları (Errors of MLANN models in the testing phase)

Model	Giriş	Yapı	KOKH (m)	OMH (m)	R^2
(i)	X	(1,7,1)	33.08	1094.28	0.608
(ii)	Y	(1,7,1)	47.14	2222.17	0.205
(iii)	X, Y	(2,4,1)	12.00	144.13	0.948

Şekil 4-9'da ÇKYSA'nın test aşamasındaki tahminleri ile gözlenen değerler, gidiş grafiği ve saçılma diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarının gözlenen değerleri genel olarak yakaladığı fakat bazı pik değerleri gerçeğinden daha az tahmin ettiği görülmektedir.

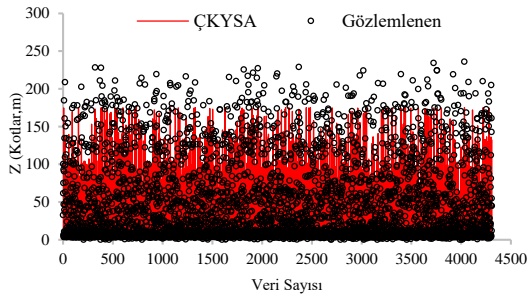


Şekil 4. ÇKYSA tahmin grafiği (iii kombinezonu) (MLANN estimation graph (combination of iii))

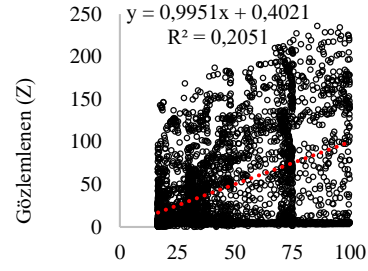


ÇKYSA (iii kombinezonu)

Şekil 5. ÇKYSA saçılma grafiği (iii kombinezonu) (MLANN scattering graph (combination of iii))

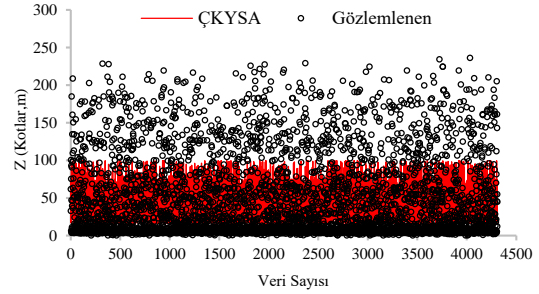


Şekil 6. ÇKYSA tahmin grafiği (ii kombinezonu) (MLANN estimation graph (combination of ii))

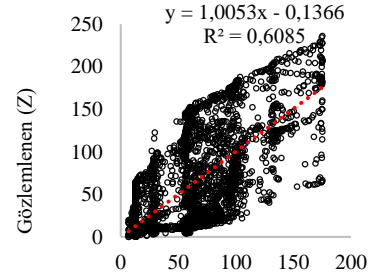


ÇKYSA (ii kombinezonu)

Şekil 7. ÇKYSA saçılma grafiği (ii kombinezonu) (MLANN scattering graph (combination of ii))



Şekil 8. ÇKYSA tahmin grafiği (i kombinezonu) (MLANN estimation graph (combination of i))

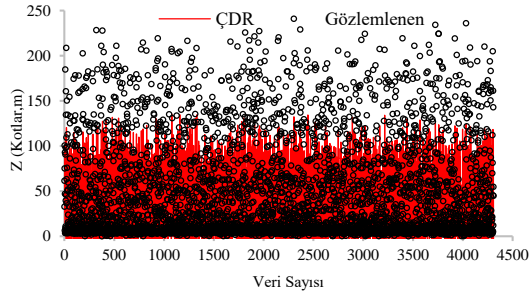


ÇKYSA (i kombinezonu)

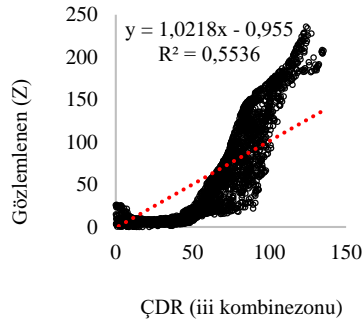
Şekil 9. ÇKYSA saçılma grafiği (i kombinezonu) (MLANN scattering graph (combination of i))

TDR ve ÇDR'ye ait test sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. En küçük kareler ile elde edilen regresyon katsayıları da bu tabloda görülmektedir. ÇKYSA sonucuna benzer şekilde en iyi tahmin (iii) kombinezondan elde edilmiştir.

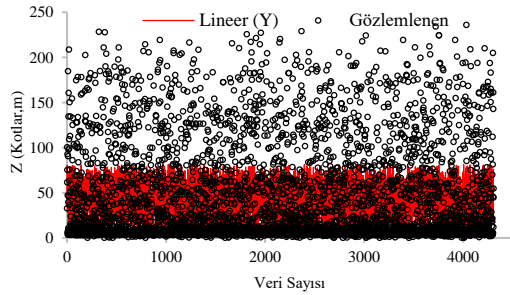
Şekil 10-15'de TDR ve ÇDR'nin test aşamasındaki tahminleri ile gözlenen Z değerleri gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi model, bazı pik değerlerini gerçeğinden çok daha düşük değerlerde tahmin etmiştir.



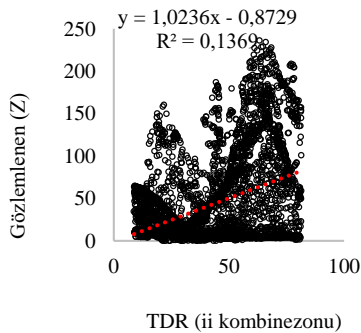
Şekil 10. ÇDR tahmin grafiği (iii kombinezonu) (MLR estimation graph (combination of iii))



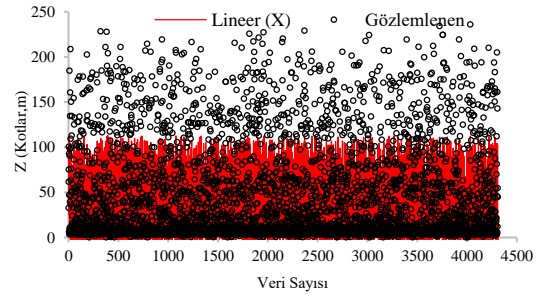
Şekil 11. ÇDR saçılma grafiği (iii kombinezonu) (MLANN scattering graph (combination of iii))



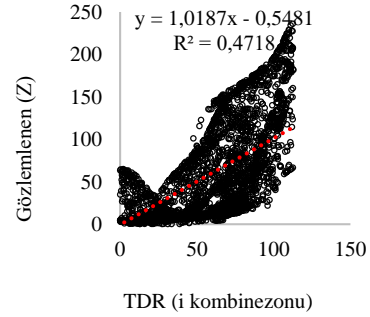
Şekil 12. TDR tahmin grafiği (iii kombinezonu) (URA estimation graph (combination of iii))



Şekil 12. TDR saçılma grafiği (ii kombinezonu) (URA scattering graph (combination of ii))



Şekil 14. TDR tahmin grafiği (i kombinezonu) (URA estimation graph (combination of i))



Şekil 15. TDR saçılma grafiği (i kombinezonu) (URA scattering graph (combination of i))

Tablo 5. ÇDR ve TDR modellerinin test aşamasındaki hataları (Errors of URA and MLR models in the testing phase)

Model	Giriş	Katsayılar a,b	KOKH	OMH	R ²
(i)	X	-0,04; 182583,422	4446,7	19773140	0,463
(ii)	Y	0,03; 14629,515	49,13	2413,81	0,132
(iii)	X, Y	-0,0378; 0,0214; 161549,34	35,33	1248,87	0,541

Tablo 4-5 karşılaştırıldığında ÇKYSA'nın, ÇDR ve TDR'ye göre Z değerlerini daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Şekil 4-15 değerlendirilecek olursa, özellikle saçılma diyagramlarında (eşitliğin $y=ax+b$ olduğunu varsayalım) ÇKYSA (iii kombinezonu) modelinin diğerlerine göre daha iyi tahmin verdiği ve doğrusal eşitlikde a ve b katsayılarının sırasıyla 1 ve 0'a (yani 45° çizgisine) daha yakın olduğu açıkça gözlemlenebilir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR (DISCUSSION and RESULTS)

Bu çalışma ile yüzey modellemesinin YSA yardımıyla elde edilebileceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara incelendiğinde YSA modelleri ÇDR ve TDR gibi regrasyon modellerinden oldukça başarılıdır. Bu sonuçlar YSA tekniklerinin hidrolik modellemeler gibi bir çok mühendislik çalışmalarının temel althğını oluşturan yükseklik modellemelerinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Yüzey modellemeleri literatürde genellikle regrasyon teknikleri ve matematiksel fonsiyonlar kullanılarak yapılmaktadır [15]. Ayrıca yüzey modellemesiyle ilgili Inverse Distances Weight (IDW), Kriging gibi geoistatistik yöntemler de kullanılmaktadır ve YSA tekniklerinin daha iyi modelleme sonuçları verdiği bilinmektedir [23]. Çalışmada elde edilen sonuçlar bu durumu desteklemektedir.

Topoğrafik yüzeye mühendislik uygulamalarının bir çoğunda ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak modellemelerde topografyanın uygun doğrulukta belirlenmesi çalışmanın doğruluğunu etkilemektedir. Bu amaçla bu çalışmada, örnek çalışma alanı yatay ve düşey konum bilgileri kullanılarak ara noktaların yükseklik değerlerinin modellemesi yapılmıştır. Modelleme, bilinen fonksiyonların dışında kapalı kutu modeline dayalı yapay sinir ağlarıyla yapılmış ve regrasyon teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak Samsun ili Mert ırmağı havzası ile kentsel bölgelerin kesiştiği alan seçilmiştir. Bu alana ait yükseklik bilgileri hâlihazır haritalardan temin edilmiştir. Modellemede, Çok katmalı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA), tek ve çok değişkenli regrasyon yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemlerin performansları incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

(1) ÇKYSA yöntemi, ÇDR ve TDR yöntemlerine göre Z değerlerini daha iyi tahmin etmektedir

(2) ÇKYSA ile yapılan tahminde en iyi sonucu X, Y koordinat bilgileri (kombinezon iii) kullanılarak yapılan modelleme vermiştir.

(3) ÇDR yöntemi, TDR yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Y.C. Fang and B.-W. Wu, "Neural network application for thermal image recognition of low-resolution objects," *J. Opt. A Pure Appl. Opt.*, vol. 9, no. 2, pp. 134–144, January 2007. Doi: 10.1088/1464-4258/9/2/003
- [2] R. Stohl and K. Stibor, "Predicting safety solutions via an artificial neural network," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 27, pp. 490–495, October 2019. Doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.711
- [3] K. Papik, B. Molnar, R. Schaefer, Z. Dombovari, Z. Tulassay, and J. Feher, "Application of neural networks in medicine - A review," *Med. Sci. Monit.*, vol. 4, no. 3, pp. 538–546, December 1998.
- [4] A. Parlak, Y. Islamoglu, H. Yasar, and A. Egrisogut, "Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a Diesel engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, no. 8–9, pp. 824–828, June 2006. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2005.10.006
- [5] S. Trajkovic, B. Todorovic, and M. Stankovic, "Forecasting of Reference Evapotranspiration by Artificial Neural Networks," *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 129, no. 6, pp. 454–457, January 2003. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:6(454)
- [6] X. Yuanyou, X. Yanming, and Z. Ruigeng, "An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network and its application," *Eng. Geol.*, vol. 47, no. 1–2, pp. 149–156, August 1997. Doi:10.1016/S0013-7952(97)00015-X
- [7] A. Arı and E. Berberler, "Yapay sinir ağları ile tahmin ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için arayüz tasarımı," *ACTA Infologica*, vol. 1, no. 2, pp. 55–73, December 2017.
- [8] V. N. Sharda, R. M. Patel, S. O. Prasher, P. R. Ojasvi, and C. Prakash, "Modeling runoff from middle Himalayan watersheds employing artificial intelligence techniques," *Agric. Water Manag.*, vol. 83, no. 3, pp. 233–242, June 2006. Doi:10.1016/j.agwat.2006.01.003
- [9] M. Kumar and N. Raghuvanshi, "Estimating evapotranspiration using artificial neural network," *J. Irrig. Drain. Eng. J. Irrig. Drain. Eng. and Drainage Engineering*, Vol. 128, no. 4, pp. 454–457, July 2002. Doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:4(224)
- [10] E. Uzlu, "Türkiye için gri kurt optimizasyon algoritması ile yapay sinir ağlarını kullanarak enerji tüketiminin tahmini," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 245–262, March 2019. Doi:10.29109/gujsc.519553
- [11] M. A. Çavuşlu, Y. Becerikli, and C. Karakuzu, "Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi," *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgi. Bilim. ve Mühendisliği Derg.*, vol. 5, no. 5, pp. 1–7, June 2012.

- [12] E. Sütçü, "Kaynaklı İmalat Operasyon Sürelerinin Matlab Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi," *Gazi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 4, no. 1, pp. 16–24, February 2018. Doi: 10.30855/gmbd.2018.04.01.003
- [13] M. B. Özdemir and M. Galip, "Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Yapay Sinir Ağları İle Ankara Şertlerinde Yaz Mevsimi İçin Performans Tahmini," *Gazi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 5, no. 1, pp. 46–53, April 2019. Doi:10.30855/gmbd.2019.01.05
- [14] A. Şeker, B. Diri, and H. H. Balık, "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme," *Gazi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 3, no. 3, pp. 47–64, November 2017.
- [15] L. Cakir and N. Yılmaz, "Polynomials, radial basis functions and multilayer perceptron neural network methods in local geoid determination with GPS/levelling," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 57, pp. 148–153, November 2014. Doi: 10.1016/j.measurement.2014.08.003
- [16] Leyla Çakir, "Polinomlar, Multiküadrik Enterpolasyon, İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı ve Anfis yöntemleri ile yerel GPS/Nivelman Jeoidin belirlenmesi", in *8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim, 2016, İstanbul, Türkiye*, E. Güllal and B. Akpınar, Ankara: Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 2016. pp. 1–9.
- [17] B. Konakoglu, L. Cakir, and E. Gökalp, "2D coordinate transformation using artificial neural networks," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 2W1, pp. 183–186, October 2016. Doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-183-2016
- [18] URL1," *"Yapay sinir ağları"*, wikipedia, 2010, [Online]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_sinir_ağları, [Accessed: Sept. 12, 2010].
- [19] D. W. Marquardt, "An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters," *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, vol. 11, no. 2, pp. 431–441, June 1963. Doi:10.1137/0111030
- [20] M. Fırat and M. Güngör, "Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi," *İMO Tek. Dergi*, vol. 15, no. 73, pp. 3267–3282, February 2004.
- [21] URL-2, "Regresyon Analizi", istatistik analiz, 2010, [Online]. Available: http://www.istatistikanaliz.com/regresyon_analizi.asp. [Accessed: Sept. 12, 2010].
- [22] V. Demir and A. Ülke, "Manning Pürüzlülük Katsayısının Cowan Yöntemi ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Belirlenmesi," *Gazi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 5, no. 2, pp. 167–177, August, 2019. Doi:10.30855/gmbd.2Q19.02.06
- [23] V. Demir, E. A. Cubukcu and M. F. Sevimli, "Long-Term Month Temperature forecast with Inverse Distances Weighted, Kriging and Artificial Neural Networks," in *2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology, CİSET 2019, October 10-12, 2019, Mersin, Turkey*, M. Yakar, E. Avaroglu and C. Aci, Ankara: SAGE, 2019. pp. 10-16.

Vahdettin DEMİR

Vahdettin DEMİR 1992 yılında Gümüşhane'nin Kelkit ilçesinde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Kelkit'te tamamladı. 2009 yılında girdiği Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2013 yılında birincilikle mezun oldu. Ayrıca 2010 yılında Jeodezi ve Fotoğrametri Mühendisliği bölümünde Çift Anadal Programına katıldı ve 2013 yılında bölüm birinciliğiyle mezun oldu. 2013 yılında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Yüksek Lisans programını tamamlayarak 2016 yılında Ondokuzmayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü, hidrolik anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Taşkın modellemesi, yapay zeka, trend analizi ve uzaktan algılama alanlarında doktora çalışmalarına devam eden Demir evli ve bir çocuk sahibidir.

Aslı ÜLKE KESKİN

Aslı ÜLKE KESKİN 1974 yılında Konya'da dünyaya geldi. Lisans eğitimini 2000 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi'nde tamamladı. Aynı üniversitede 2003 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Dokuz Eylül Üniversitesi'nde Doktora eğitimine başladı. 2010 yılında doktorasını tamamlayarak 2011 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim dalına Dr. Öğr. Üyesi olarak atandı ve halen aynı üniversitede çalışmaktadır. Keskin ileri seviyede İngilizce bilmektedir. Sediment taşınımı, Küresel iklim değişikliği, Kuraklık indisleri, Taşkın ötelenmesi, Yapay sinir ağları, ANFIS ve optimizasyon konularında çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk sahibidir.

Araç Lastiklerinin Sırt Desen Tasarımında Üç Boyutlu Baskı Teknolojilerinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Derviş EROL^{*a}, Battal DOĞAN^b, Mustafa BOZDEMİR^c

^{a,*} Kırıkkale University, Department of Automotive Technology, ORCID:0000-0002-3438-9312, 71450, KIRIKKALE, TÜRKİYE

^b Karatekin University, Department of Mechanical Engineering, ORCID:0000-0001-5542-4853, 18100, ÇANKIRI, TÜRKİYE

^c Kırıkkale University, Department of Automotive Technology, ORCID:0000-0002-9332-2054, 71450, KIRIKKALE, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 06.02.2020
Kabul: 29.04.2020

Anahtar Kelimeler:
3D prototip,
3D baskı teknolojisi,
Eklemeli imalat,
Lastik sırt desen
tasarımı

^{*}**Sorumlu Yazar:**
e-posta:
derol40@gmail.com

ÖZET

Taşıt lastiklerinin sırt desenlerinin; sürüş güvenliği, sürüş konforu, yakıt tüketimi, frenleme ve gürültü performans değerleri gibi farklı parametrelere bağlı olarak bilgisayar destekli tasarım programları yardımıyla üç boyutlu olarak tasarım çalışmaları yapılmaktadır. Lastik üretim kalıpları; yapıları itibarıyla oldukça karmaşık ve imalatları çok pahalı olan sistemlerdir. Kaliteli bir taşıt lastiği üretiminde, lastik üretim kalıpları oldukça önemli bir yere sahiptir. Bilgisayar ortamında yapılan tasarımlardaki hatalar çoğu zaman tasarım sırasında fark edilememesinden dolayı imalat sırasında ortaya çıkmaktadır. Lastik kalıplarının imalatı yapıldıktan sonra ortaya çıkan tasarım hatalarından dolayı zaman ve maliyet açısından büyük zararlar yaşanmaktadır. Bu çalışma kapsamında lastik sırt desen prototip imalatı için; eklemeli üretim (Additive Manufacturing) yöntemlerinde deneysel çalışmalar yapılarak en uygun prototip üretim yöntemin bulunması hedeflenmiştir. Bu amaçla geliştirilen lastik sırt desen prototip imalatı; Fused Deposition Modelling (FDM) ve Binder Jetting (3DP) teknolojilerine sahip olan iki farklı üç boyutlu baskı makineleri kullanılarak yapılmıştır. Ortaya çıkan üç boyutlu katı modellerin görüntü, kalite ve prototip üretim süreleri gibi teknik özellikler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.06>

An Experimental Study on Examination of the Usability of Three Dimensional Printing Technologies in Tread Pattern Design of Vehicle Tires

ARTICLE INFO

Received: 06.02.2020
Accepted: 29.04.2020

Keywords:
3D prototype,
3D printing
technology,
Additive
manufacturing,
Tire tread pattern
design

^{*}**Corresponding
Authors**
e-mail:
derol40@gmail.com

ABSTRACT

Depending on different parameters such as driving safety, driving comfort, fuel consumption, braking and noise performance values, three-dimensional design studies of tread patterns of vehicle tires are carried out with the help of computer aided design programs. Tire production molds are the systems which are very complex and very expensive to manufacture due to their structure. In the production of a quality vehicle tire, tire production molds have a very important role. Errors in computer-generated designs are often unrecognizable in the process of designing and appear during the manufacturing process. Due to the design faults that occur after the manufacturing of the tire molds, there are great losses in terms of time and cost. In the scope of this study for the production of prototypes of the tire tread pattern; it is aimed to find the most suitable prototype production method by making experimental studies in additive manufacturing methods. Tire tread pattern prototype developed for this purpose is manufactured by using different three-dimensional printing machines with Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technologies. Technical properties such as image, quality and prototype production durations of the three dimensional solid models produced are compared with each other.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.06>

1. INTRODUCTION (*GİRİŞ*)

Vehicle tires consist of a combination of rubber, cord fabric and steel wires and various chemicals. It is one of the most important parts as they enable the transfer of engine torque to the road by means of direct contact with the road. In the vehicles used today; pneumatic tires designed to hold compressed air are used. The first pneumatic tires were developed by John Boyd Dunlop in 1887 [1]. Vehicle tires; with the rapid development of science and technology, it is seen that it continues to develop very quickly until today.

Driving safety and driving comfort of the vehicle is one of the foremost important performance requirements of the tire. In addition to these performance characteristics, the tires are also considerably responsible for the fuel consumption of the vehicle. To put it simply, tires with a high fuel efficiency create less rolling resistance between the road and the tire during travel, resulting in less energy consumption. This means less fuel consumption. In addition to the fuel consumption performance of a tire, having a good braking performance in wet and dry ground conditions is a very important design criteria. Tire noise is known as the source of noise caused by the air trapped between the tire and the road. Tire noise is a very important parameter for the driving comfort and attention of the vehicle users for a long time. This noise can be disturbing not only for the driver but also for the people in the environment. For these reasons, the driving safety, driving comfort, fuel consumption, braking and noise performance values must be considered together in the tire design [2-4].

Tire consists of four main parts: tread, shoulder, sidewall and bead. Tread section of tire is the rubber part that comes into contact with the road. In this section; there are patterns consisting of canals and blocks to hold the road, traction, throw road surface water and cool the tire. Since the tread of the tire is in direct contact with the road, the wear is very high in this area. The causes of these wears are vehicle speed, road surface temperature, and other conditions of the road. Tread part must be resistant to wear and cutter materials on the road. Tread patterns are very important because of that it is contact area with road of the tire. Different tread pattern designs are used according to the conditions where each tire will be used. There are differences between the tread patterns of the summer tire and the winter tire [5-6].

In this study, the potential use of three-dimensional printing technologies in the automotive tire industry

will be examined in various aspects. Tire tread pattern prototype developed for this purpose will be investigated by using different three-dimensional printing machines with Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technologies. Technical properties such as image, quality and prototype production durations of the three dimensional solid models produced are compared with each other. With the pre-prototype manufactured as a result of the study, it is foreseen that unexpected design errors and corresponding time and cost losses will be prevented without spending high costs during manufacturing process.

2. ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES (*EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİ*)

Three-dimensional printing technologies, one of the current technological developments; is widely used in many countries and firms throughout the worldwide. Three-dimensional printing technologies have a great potential to reduce both the design time and cost of a prototype product. Additive Manufacturing has the advantages of using many different materials such as plastic, ceramic, metal and composite as well as not limiting the design in terms of the manufacturing method. In additive manufacturing method; in contrast to traditional manufacturing methods which work with the principle of shaping or reducing the material by using known turning/milling type machines, manufacturing is done by adding and integrating material.

Three-dimensional printing technologies are various in terms of the way forming of layers and the structure of the material used, but they are identical in terms of the additive manufacturing principle. Some additive manufacturing methods produce the prototype product directly by dissolving the materials and others by combining the powdered material. Nowadays, the most widely used three-dimensional printing technologies are known as; Stereolithography (SLA), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modelling (FDM), Binder Jetting (3DP) and Direct Metal Laser Sintering (DMLS) [7].

2.1. Stereolithography (SLA)

Stereolithography production method; Californian designer Charles, W. Hull designed and manufactured the first machine that could produce a three-dimensional prototype of an item in the 1980's. This design registered as Stereolithography method in 1986

with the original patent number US4575330, has started a new process in the manufacturing sector [8-9]. Stereolithography is a process of ossification of photopolymer resin in a liquid state by means of an intensified point ultraviolet laser beam source. After each layer is created, tray of the printer is slightly lowered down during printing process. This process is repeated until the prototype product printed completely. As soon as, all the layers have been completed, the prototype product is taken as solid model from the photopolymer resin pool in liquid form. Three-dimensional printing method, as called Stereolithography is the first additive manufacturing technology to be commercialized and patented [6-7].

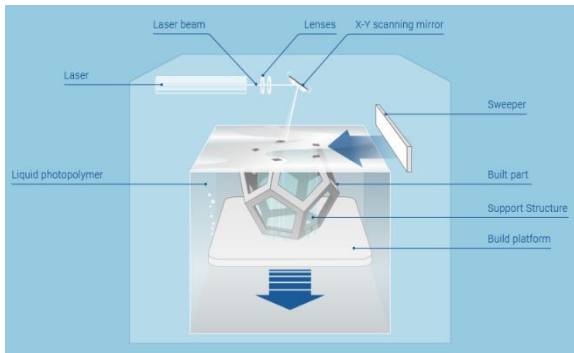


Figure 1. Schematic view of Stereolithography (SLA) system [10]

(Stereolitografi (SLA) sisteminin şematik görünümü)

2.2. Fused Deposition Modelling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM) production method is one of the most preferred and accepted additive manufacturing techniques with its potential application areas today and in the near future. In 1989, Scott Crump, the founder of Stratasys Company, designed and manufactured the machine which can produce three-dimensional prototypes known as Fused Deposition Modeling (FDM) technology.

Fused Deposition Modeling production method, Polylactic Acid (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polyamide, Polycarbonate, Polyethylene, Polypropylene and investment casting wax model materials can be used as raw material. These model materials are in the form of thin plastic wire (Filament).

The plastic material in the filament form is melted in a temperature-controlled nozzle and transferred to a moving head which follows the section geometry of the part and the thermoplastic material is laid on top of the production table in a way to overlap and in accordance with the shape of the solid model formed in the computer-aided design program. After this

process, one of the layers forming the model geometry is completed. After each layer is created, tray of the printer is slightly lowered down during printing process. Resistance of the parts produced by this additive manufacturing method to stretching, bending, breakage, elongation, water and moisture is quite high. Depending on the geometry of the three-dimensional prototype model to be produced, there is a need for support structures in certain parts of the building, such as the skeletal structure built next to an apartment building. These support structures can be easily cleaned after the prototype production of the model is completed. Some post-processing such as painting, polishing and coating can be applied to the parts produced with Fused Deposition Modeling technology [11-13].

Compared to other additive manufacturing techniques, the low cost of three-dimensional printing machines and the high availability of consumables are the main advantages of Fused Deposition Modeling production technique.

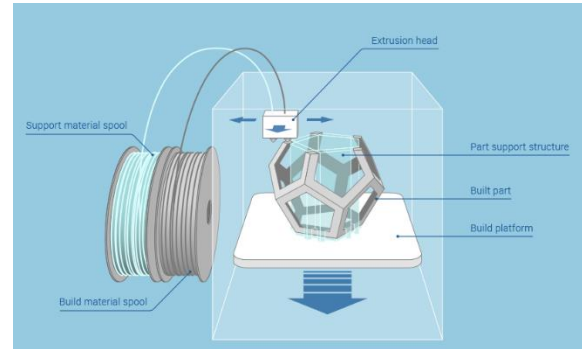


Figure 2. Schematic view of Fused Deposition Modelling (FDM) system [12]

(Fused Deposition Modelling (FDM) sisteminin şematik görünümü)

2.3. Binder Jetting (3DP)

Binder Jetting (3DP) method was developed by the Massachusetts Institute of Technology company using Ink-jet technology in two-dimensional printers. Binder Jetting technology; unlike other three-dimensional printing technologies, the material dispensed from the print head is not a building material, but a liquid adhesive material used to bring together the raw material in powder form. In this additive manufacturing method; solidification is carried out layer by layer according to the solid model designed in computer environment by spraying the liquid binder material from the nozzles in an Ink-jet head to certain parts of the powdered material. After each layer is created, tray of the printer is slightly lowered down during printing. The raw material in

powder form is relaid as a very thin layer with the help of the movable roller mechanism onto the layer formed on the production table. This process is repeated until the prototype product is completely printed.

In this 3D printing technology, uncombined powders. Can support the overhanging structures of the model so it does not need additional support structures. As soon as, all the layers have been completed, the prototype product is taken from the powder bed. In addition, unused powders during three-dimensional printing process can be reused [13-15].

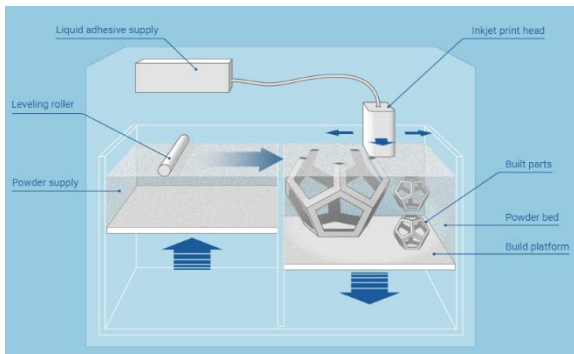


Figure 3. Schematic view of Binder Jetting (3DP) system [16]

(Binder Jetting (3DP) sisteminin şematik görünümü)

3. MATERIAL AND METHOD (MALZEME VE METOT)

Nowadays, the manufacturing of the tire production molds is generally carried out by using traditional manufacturing methods such as turning, milling and other machining of a metal material. Tire production molds are the systems which are very complex and very expensive to manufacture due to their structure. In the production of a quality vehicle tire, tire production molds have a very important place. Therefore, the design of the tire production molds developed by the designers is done in three dimensions with the help of computer aided design programs before manufacturing process. Errors in computer-generated designs are often unrecognizable in the process of designing and appear during the manufacturing process. Due to the design faults that occur after the manufacturing of the tire molds, there are great losses in terms of time and cost. Revision of faulty tire production molds that are manufactured requires more challenging processes than remanufacturing. Figure 4 shows pictures of vehicle tire molds with different tread patterns.

In this study, tire tread pattern prototype was manufactured by using different three-dimensional printing machines using Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technologies. Technical properties such as image, quality and prototype production durations of the three dimensional solid models produced are compared with each other. In the scope of this study, the drawings of vehicle tire models whose pre-prototypes to be manufactured in three-dimensional printer have been realized in a computer-aided design program called as SolidWorks. Figure 5 shows schematic views of the prototype tire tread pattern in SolidWorks environment. After the design of the vehicle tire model to be prototype manufactured, the related design files need to be converted to a software language that can be used by three-dimensional printers. This software language is described as STL (Stereo Lithography). Each piece in the SolidWorks environment has been rebuilt separately in STL format.

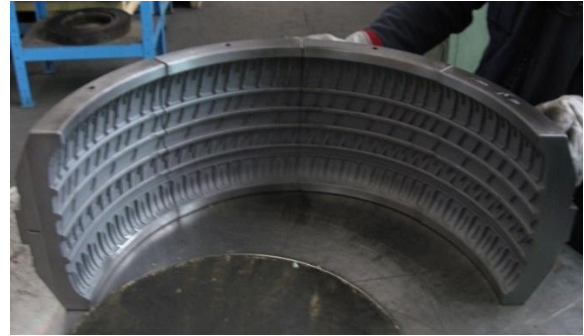


Figure 4. Vehicle tire tread pattern molds (Taşıt lastik sırt desen kalıpları)

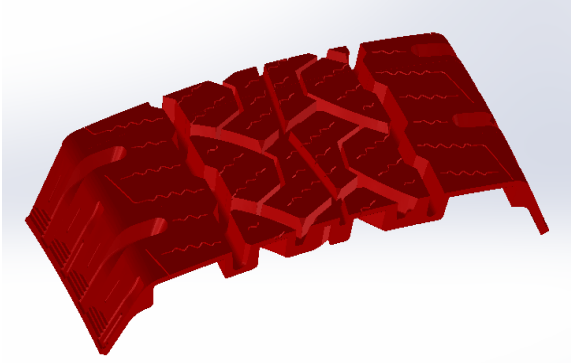


Figure 5. Schematic view of prototype tire tread pattern in the SolidWorks environment
(SolidWorks ortamındaki prototip taşıt lastik sırt deseninin şematik görünümü)

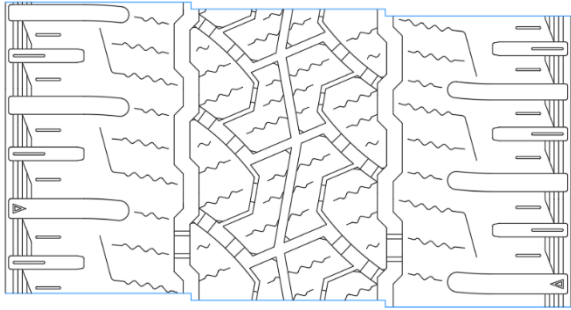


Figure 6. Drawing of tire tread pattern in the AutoCAD environment
(AutoCAD ortamındaki prototip taşıt lastik sırt deseninin görünümü)

In the scope of this experimental study, prototype manufacturing of the vehicle tire model has been carried out by using Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technologies using the machines shown in Figure 7, 9 and 11 respectively.

Anycubic Photon S model three-dimensional printing machine, which is shown in Figure 7, uses Stereolithography (SLA) production technology. The maximum print dimension of this printer model is 115 x 65 x 165 mm. In the prototype manufacturing, special resin material sensitive to ultraviolet light was used. Photon S model can produce high resolution and smooth prototype parts in 25-100 micron layer range. Prototype vehicle tire model, which manufactured by Anycubic Photon S model three-dimensional printing machine is shown in Figure 8.

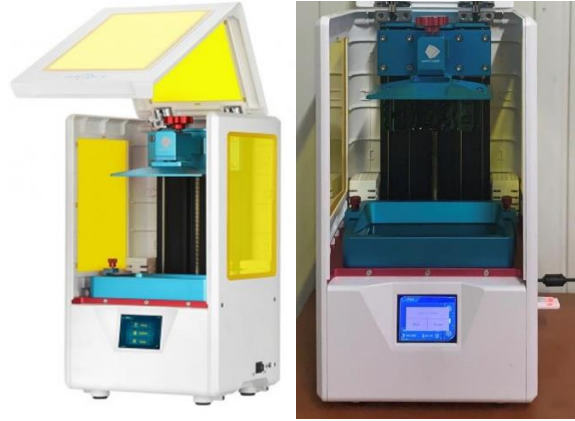


Figure 7. Anycubic Photon S model three dimensional printer
(Anycubic Photon S model üç boyutlu yazıcı)



Figure 8. Pictorial view of tire tread pattern produced by Anycubic Photon S model three dimensional printer
(Anycubic Photon S model üç boyutlu yazıcıda üretilen lastik sırt deseninin şematik görünümü)

The Zortrax M200 model three-dimensional printing machine uses Fused Deposition Modeling (FDM) as production technology. The maximum print dimension of the Zortrax M200 model is 200 x 200 x 180 mm. The Zortrax M200 model can conveniently use wide range of filament materials. In the production of prototypes, Zortrax's own product filament materials, which are known as Z-ABS, were used. Z-ABS filament materials are mostly preferred in the manufacture of parts which are used for the purpose of testing and getting matt and smooth surfaces. Three-dimensional parts with high quality, smooth and high resistance strength are produced with Zortrax M200 model. Prototype vehicle tire model manufactured by Zortrax M200 model three-dimensional printing machine is shown in Figure 10.

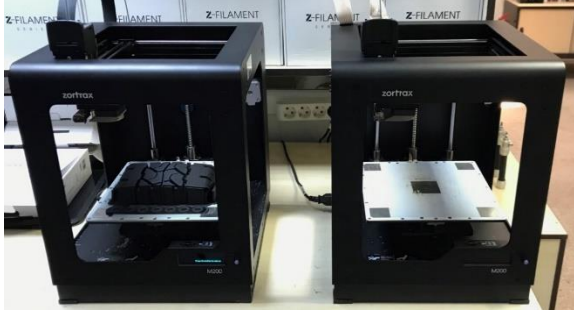


Figure 9. Zortrax M200 model three dimensional printers
(Zortrax M200 model üç boyutlu yazıcılar)



Figure 10. Pictorial view of tire tread pattern produced by Zortrax M200 model three dimensional printer
(Zortrax M200 model üç boyutlu yazıcıda üretilen lastik sırt deseninin görünümü)

The ZPrinter 650 model three-dimensional printing machine was developed by Z Corporation Company. ZPrinter 650 model three-dimensional printing machine uses Binder Jetting (3DP) as production technology. This three-dimensional printing machine can produce high-quality color prototype models with high quality CMYK color system. The maximum print dimension of the ZPrinter 650 model is 254 x 381 x 203 mm. Due to the large production volume, it is possible to produce prototype models in one piece. It provides high precision products with a layer thickness of ~100 μ m Prototype vehicle tire model, which manufactured by ZPrinter 650 model three-dimensional printing machine, is shown in Figure 12.



Figure 11. ZPrinter 650 model three dimensional printer(ZPrinter 650 model üç boyutlu yazıcı)



Figure 12. Pictorial view of tire tread pattern produced by ZPrinter 650 model three dimensional printer
(ZPrinter 650 model üç boyutlu yazıcıda üretilen lastik sırt deseninin görünümü)

4. CONCLUSIONS (SONUÇLAR)

The use of rapid prototyping technologies, also known as additive manufacturing methods; research and development activities are much more efficient, errors in design can be solved very quickly and new designs can be improved more easily in terms of efficiency. In the scope of this study for the prototype production of the tire tread pattern; it is aimed to find the most appropriate method by making comparisons in additive manufacturing methods. The drawings of the vehicle tire models were made in the SolidWorks program, a computer-aided design program. Tire tread pattern prototype developed for this purpose was manufactured by using different three-dimensional printing machines with Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technologies. Technical properties such as image, quality and prototype production durations of the three dimensional solid models produced are compared with each other. As a result of the experimental studies, the following conclusions may be made for Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) production methods.

- It is determined that prototype tire pattern samples produced by Stereolithography (SLA) and Binder Jetting additive manufacturing methods were produced faster and higher visual quality than the prototypes produced by Fused Deposition Modeling method.
- Some parts of the prototypes produced by Fused Deposition Modeling method have been damaged during production. It is determined that Stereolithography (SLA) and Binder Jetting production methods did not cause any damage during the manufacturing of prototype parts.

- Comparing with the differences such as the image quality, production time and cost obtained from prototype parts; the printer using the Stereolithography (SLA) technology has been found to be more advantageous.
- Stereolithography (SLA) production technology offered higher resolution and quality prints than the Fused Deposition Modeling (FDM) production technology. It is determined that prototype models produced with FDM technology have clear layer traces. However, compared to cost of printer and material used, the printers using Stereolithography (SLA) and Fused Deposition Modeling technologies comes to the forefront.
- Maximum print dimensions of the printer with Stereolithography (SLA) technology; Since Fused Deposition Modeling (FDM) and Binder Jetting (3DP) technology is lower than printers, prototype tire pattern is produced 50% smaller than its actual design.

For these reasons, it is determined that the correct determination of the three-dimensional printing technology to be used in the prototype production provides important contributions in terms of prototype print dimension, image quality, production time and cost.

NOTES

This study was published and presented in The Fourth International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (3D-PTC2019) (11-14 April, 2019, Antalya, Turkey).

CONFLICT OF INTEREST (ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ)

No potential conflict of interest was reported by the authors.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] Erol, D., "Vehicle Tires" *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 37-50, 2011.
- [2] Graham, W. R., "Modelling the vibration of tyre sidewalls" *Journal of Sound and Vibration*, vol. 332, no. 21, pp. 5345-5374, October 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.04.047>
- [3] Wei, Y., Yang, Y., Chen, Y., Wang, H., Xiang, D., and Li, Z., "Analysis of coast-by noise of heavy truck tires" *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 172-179, March 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.006>
- [4] Curtiss, W. W., "Principles of Tire Design" *Tire Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 77-98, February 1973. Doi: <https://doi.org/10.2346/1.2167156>
- [5] Chu, C. H., Song, M. C., and Luo, V. C., "Computer aided parametric design for 3D tire mold production" *Computers in Industry*, vol. 57, no. 1, pp. 11-25, January 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2005.04.005>
- [6] Dong, Y., Su, F., Sun, G., Liu, Y., and Zhang, F., "A feature-based method for tire pattern reverse modeling" *Advances in Engineering Software*, vol. 124, no. 1, pp. 73-89, October 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.08.008>
- [7] Dizon, J. R. C., Espera Jr, A. H., Chen, Q., and Advincula, R. C., "Mechanical characterization of 3D-printed polymers" *Additive Manufacturing*, vol. 20, no. 1, pp. 44-67, March 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>
- [8] Hull, C. W., "Apparatus for production of three dimensional objects by stereolithography" *United States Patent No: US4575330*, 1986.
- [9] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., and Hui, D., "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges" *Composites Part B: Engineering*, vol. 143, no. 1, pp. 172-196, June 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- [10] "Stereolithography Technology (SLA)," www.additively.com, [Online]. Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/stereolithography> [Accessed: Jan.. 12, 2019].
- [11] Brenken, B., Barocio, E., Favaloro, A., Kunc, V., and Pipes, R. B., "Fused filament fabrication of fiber-reinforced polymers: A review" *Additive Manufacturing*, vol. 21, no. 1, pp. 1-16, May 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.01.002>
- [12] "Fused Deposition Modeling Technology (FDM)," www.additively.com, [Online]. Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling>, [Accessed: Jan.. 12, 2019].

[13] Holland, S., Tuck, C., and Foster, T., "Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting" *Carbohydrate Polymers*, vol. 200, no. 1, pp. 229-238, November 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.064>

[14] Liravi, F., and Toyserkani, E., "Additive manufacturing of silicone structures: A review and prospective" *Additive Manufacturing*, vol. 24, no. 1, pp. 232-242, December 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.002>

[15] Upadhyay, M., Sivarupan, T., and El Mansori, M., "3D printing for rapid sand casting-A review" *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 29, no. 1, pp. 211-220, October 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.017>

[16] "Binder Jetting Technology (3DP)," www.additively.com, [Online]. Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting>, [Accessed: Jan.. 12, 2019].

Derviş EROL

Derviş Erol was born in Kırşehir, Turkey, on 01 the of June, 1982. He received his BS degree in Automotive Technology Department, Faculty of Technology, Gazi University in 2006, Turkey. He earned his MS degree in the same university in 2009. He is currently a PhD student in Department of Mechanical Engineering, Hitit University. He has been working since 2012 as a lecturer in Automotive Technology Department. He is currently working as a lecturer in Kırıkkale University. His research areas of interest include internal combustion engine, vehicle tires, Stirling engine, alternative renewable fuels and exergy analysis in thermal systems. He has published more than 20 research papers in international and national journals/conferences.

Battal DOĞAN

Battal Doğan was born in Kırıkkale, Turkey, on 21 December 1974. He received his BS degree in Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kırıkkale university in 2000, Turkey. He earned his MS and PhD degrees in the same university. His main research interest is energy and exergy analyses in thermal systems. His research areas of interest include internal combustion engine, stirling engine, alternative renewable fuels, heat transfer and compressors. He is currently working as an assistant professor at the Department of Mechanical

Engineering of Karatekin university. He has published more than 50 research papers in international and national journals/conferences.

Mustafa BOZDEMİR

Mustafa Bozdemir was born in Kırıkkale, Turkey, on 01 January 1973. He received his MS degree in Mechanical Education (1996) and Ph.D. degree in Department of Mechanical Education (2003) from The Gazi University, Turkey. His research interests include design theory and methodology, 3D printers, weapon systems-ballistic, intelligent CAD, and Artificial intelligent. He is currently working as an Professor in Kırıkkale University. He has published more than 100 research papers in international and national journals/conferences.

Veri Madenciliği Birliktelik Kuralları ile Binaların Risk Durumlarının Analizi: Kaynaşlı, Düzce Örneği

Levent SABAH^{*,a}, Hüseyin BAYRAKTAR^b

^{a,*} Düzce Üniversitesi Rektörlük Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, ORCID:0000-0002-6911-4749, DÜZCE 81620, TÜRKİYE

^b Düzce Üniversitesi Kaynaşlı M.Y.O. Yapı Ressamlığı Bölümü, ORCID: 0000-0001-7277-0838, DÜZCE 81900, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 03.12.2019
Kabul: 28.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Birliktelik Kuralları,
Veri Madenciliği,
Yerel Deprem Puanı,
Coğrafi Bilgi
Sistemleri, Kaynaşlı

***Sorumlu Yazar:**

e-posta: leventsabah@
duzce.edu.tr

ÖZET

Çok çeşitli verinin analiziyle anlamlı sonuçlar elde edilmesine yönelik teknikler veri madenciliği kavramını ifade etmektedir. Birliktelik kuralları, veri madenciliğinin temel tekniklerinden birisidir. Genel olarak farklı olayların, birlikte gerçekleşebilme durumlarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Analizi yapılan veri setinde bulunan verilerin birbirleri arasında bulunan birliktelik bağıntıları bulunabilmektedir. Böylece bu bağıntılar arasında eğer bir yada daha fazla durum var ise, bu durumların sonucunda belli durumlar olabilir şeklinde çıkarımlar yapılabilmektedir. Bu çalışmada Kaynaşlı (Düzce) ilçesinde yer alan 2112 binaya ait deprem riski puanlama verileri kullanılmıştır. Bu verisetindeki sözel veriler; binalar ile ilgili kat yüksekliği, kullanım durumu, bina malzemesi, 1999 depremi öncesinde ya da sonrasında inşaa edilme durumu ve elde edilen risk puanlarından oluşmaktadır. Daha detaylı birliktelik analizi yapılması için coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak kesişim analizi yapılmış ve veri setinin mekansal verileri elde edilmiştir. Bunlar binaların buldukları konumlara bağlı olarak oluşturulan eğim, jeoloji, taşıma gücü, zemin titreşim, zemin sınıfı, zemin büyütme ve yer altı suyu verileridir. Elde edilen sonuçlara göre bir binanın yerel deprem puanı 93.5'den büyük ve zemin titreşimi 0.10-0.20 aralığında ise düşük riskli, bina 2 katlı ve düşük riskli ise yerel deprem puanı 93.5'den büyük ve meskenler gibi çıkarımlar yapılabilmektedir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.07>

Analysis of Risk Situations of Buildings with Data Mining Association Rules: Kaynaşlı, Düzce Example

ARTICLE INFO

Received: 03.12.2019
Accepted: 28.04.2020

Keywords:

Association Rules,
Data Mining, Local
Earthquake Score,
Geographical
Information Systems,
Kaynaşlı

***Corresponding**

Authors

e-mail:
leventsabah@
duzce.edu.tr

ABSTRACT

Techniques for obtaining meaningful results by analyzing a wide variety of data express the concept of data mining. Association rules are one of the basic techniques of data mining. It is generally used in determining the different events and their occurrence. The data in the analyzed dataset can have correlation relations between each other. Thus, if there are one or more situations between these relations, it can be inferred that there may be certain situations as a result of these situations. In this study, earthquake risk scoring data of 2112 buildings in Kaynaşlı (Düzce) district were used. Verbal data of this dataset; Consists of floor height, usage status, building material, construction status before or after the 1999 earthquake and the obtained risk points. In order to perform more detailed association rules analysis, intersection analysis was performed using geographic information systems and spatial data of the data set were obtained. These are the slope, geology, bearing capacity, ground vibration, ground class, ground magnification and groundwater data created depending on the locations of the buildings. According to the results obtained, the local earthquake score of a building is greater than 93.5 and the ground vibration is in the range of 0.10-0.20, the result is low risk. If the building has 2 floors and low risk, it can be deduced that the local earthquake score is greater than 93.5 and residential.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.07>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Günümüzde veriler her saniyede hızlı bir şekilde büyüdüğü için, verilerin işlenmesi büyük bir zorluk haline gelmiştir [1]. Veri madenciliği, büyük veri tabanlarından bilgi veya kalıp çıkarmak için kullanılan bilgi keşfi işlemlerinden biridir [2]. Veri madenciliği işleminin genel amacı bir veri setinden bilgi elde etmek ve daha sonra kullanmak üzere anlaşılabilir bir yapıya dönüştürmektir [3].

Veri madenciliği, önceden bilinmeyen ve karar verme bilgisi için potansiyel değeri ve çok miktarda veriden kuralları belirlemektir. Veri madenciliği pazarının sürekli genişlemesiyle birlikte, veri madenciliği ile ilgili çalışmalara sürekli olarak yer verilmektedir. Veri madenciliği, uygulamalı bir bilim ve en başından beri pratik bir teknolojidir. Bu nedenle, güçlü deneyselliği nedeniyle veri madenciliğinin bilgi analizinde uygun veri madenciliği araçlarını seçmek çok önemlidir [4].

Birliktelik kuralları, büyük hacimli işlemlerde ilginç ilişkilendirme veya korelasyon ilişkisi ortaya çıkarmaya yönelik veri madenciliği analiz yöntemlerinden biridir [5]. Agrawal [6], ilk olarak 1993 yılında müşteri işlemleri veri tabanında madencilik kümeleri madenciliğini ve 1994 yılında klasik Apriori algoritmasını önerdi [6], [7], [8]. Apriori tabanlı algoritmaların iki adımı vardır. İlk adım, işlemlerden ayarlanan sık öğeyi bulmaktır. İkinci adım, birliktelik kuralını oluşturmaktır [5].

Birliktelik kuralı, devasa veri setindeki eğilimleri ve örüntüleri tanımlamaya yardımcı olur [9], [10], [11]. Destek ve güven, birliktelik kuralı madenciliğinin iki ana parametresidir [2], [12]. Birliktelik kuralları ile veri setinde bulunan örnekler arasındaki temel ilişkiler ve bağlantılar hızlı ve basit bir şekilde keşfedilebilmektedir. Örnek sayısı ve öznitelik sayısı arttıkça veriler arasındaki ilginç ilişkileri ortaya çıkarma ihtimali artabilmektedir.

Bir ilişkilendirme kuralında, A ve B, ayrı öge kümeleridir. $A \rightarrow B$ 'in destek ve $A \rightarrow B$ 'in güven değerleri sırasıyla kullanıcı tarafından belirlenen minimum destek ve minimum güvenden daha az olmadığı $A \rightarrow B$ olarak oluşturulmaktadır [11].

Çalışmamızda bina verileri arasında muhtemel bağlantıların bulunması amaçlanmıştır. Bu bağlamda veri madenciliği tekniklerinden birliktelik kurallarını kullanarak, Kaynaşlı (Düzce) ilçesinde yer alan 2112

binaya ait sözel ve mekansal öznitelikler analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Çalışmada veri madenciliği araçlarından Weka [13] ve Orange [14] ile Bayraktar'ın doktora tez çalışmasından [15] Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde 7 mahallede 2112 binanın sokak taraması yöntemiyle depreme dayanım açısından oluşturduğu envanter kullanılmıştır. Bina verileri kimlik bilgisi (ID), mahalle, sokak, kapı no, kat yüksekliği, kullanım türü, yapım tarihi, malzeme, güçlendirme durumu, deprem öncesi mi?, deprem sonrası mı?, açıklama, ek açıklama, uygunluk ve risk puanı özniteliklerinden oluşmaktadır. Risk puanı "Yerel Deprem Puanı" [15] şeklinde oluşturulan yöntemle hesaplanarak binaların düşük, orta veya yüksek seviyede risk durumları tanımlanmaktadır. Bu envanter ile birliktelik kurallarının uygulanması için veri ön işleme yapılmıştır. Sonrasında bina özniteliklerine ek olarak mekansal veriler binalarla eşleştirilmiştir. Yani Açık Kaynak Kodlu Coğrafi Bilgi Sistemi QGIS [16] kullanılarak binaların kapalı alan (poligon) şeklinde bulunan mekansal verileri ile Kaynaşlı ilçesine ait eğitim, jeoloji, taşıma gücü, yer altı suyu, zemin, zemin büyültme, zemin sınıfı, zemin titreşim mekansal katmanları üzerinde kesişim (intersection) işlemi yapılarak her binaya ait bu katmanlarda eşleştiği veriler elde edilerek birliktelik analizinde kullanılmak üzere veri ön işleme adımları uygulanmıştır.

2.1. Veri Madenciliği (Data mining)

Teknolojik gelişmeler sayesinde artan bir ivme şeklinde veri üretimi artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte farklı birçok kaynaktan elde edilen verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmeleri için veri madenciliği teknikleri devamlı olarak gelişmekte ve yeni teknikler ortaya çıkmaktadır. Veri madenciliği sayesinde yığın haline gelmekte olan verilerden anlamlı sonuçlar, ilk bakışta görülemeyen, bilinemeyen ya da öngörülemeyen bağlantılar ve tahmin yöntemleri elde edilmektedir. Veriler üzerinden veri madenciliği tekniklerinin uygulanabilmesi için verilerin bazı veri ön işleme adımlarından geçmesi gerekebilmektedir [17], [18]. Genel olarak veri ön işleme adımları 4 adım şeklinde ifade edilebilir.

2.1.1. Veri Ön İşleme Adımları (Data Preprocessing Steps)

Bu bölümde veri madenciliğinde yapılacak analizlerin kalitesini ve anlamlı sonuçlar elde etme olasılığını arttıran veri ön işleme adımları anlatılacaktır. Şekil 1 de veri ön işleme adımları gösterilmektedir. Ham veri üzerinde veri ön işleme yapıldıktan sonra yapılandırılmış veriler elde edilmektedir.



Şekil 1. Yapılandırılmış verinin oluşturulması [19]
(Generation of structured data)

2.1.1.1. Veri temizleme (Data cleaning)

Birçok satır ve sütundan oluşan veri seti üzerinde tutarlı bir modelleme yapmak için öncelikli olarak eksik veriler sonuca etkisi az ya da hiç olacağı düşünülmüyorsa silinebilir, sabit bir değer verilebilir ya da sütunda bulunan diğer verilerin ortalamaları hesaplanarak eksik veri bu şekilde tamamlanabilir.

2.1.1.2. Veri bütünleştirme (Data integration)

Büyük veri kavramında farklı kaynaklardan farklı yapıda birçok veri bulunmaktadır. Bu farklı verilerin belirlenecek bir yapıda bütünleştirilmesi ile farklı kaynaklardan toplanan veriler aynı amaca uygun kullanılabilir hale getirilmelidir. Veri bütünleştirmeye örnek olarak bir kolonda tutulacak verilerin farklı kaynaklarda farklı kodlamalar şeklinde tutulması örnek olarak gösterilebilir (İl kolonunun bazı kaynaklarda plaka numarası ile ya da direkt ismiyle tutulması gibi). Çalışmamızda binalar 1999 depremi öncesi ya da sonrasında inşa edildiği bilgisi 2 farklı kolonda tutulmakta iken tek kolonda tanımlanmıştır.

2.1.1.3. Veri dönüştürme (Data conversion)

Veri dönüştürme işlemi, verinin içeriğinin aynı kalmasıyla birlikte şeklinin dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Veri dönüştürme işlemi kullanılacak modele uygun biçimde yapılmalıdır. Çalışmamızda bina envanteri ile ilgili “güçlendirme yapıldı mı?” kolonunda eğer binada güçlendirme yapılmış ise sadece evet şeklinde veri bulunmaktayken veri dönüştürme işlemi ile veri 0 ve 1 şeklinde kodlanmıştır. 1 güçlendirme için evet yazan verileri

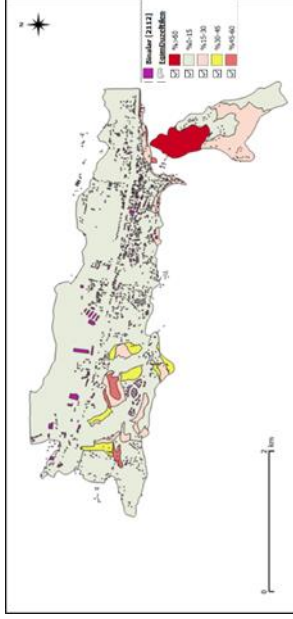
temsil ederken 0 veri kısmı boş olan satırlara eklenen kodlanmış veridir.

2.1.1.4. Veri indirgeme (Data reduction)

Veri madenciliği araçları ile analiz edilecek ve modellenecek verilerden amaca en uygun verilerin seçimi anlamlı bir sonuç elde edilebilmesi için önem teşkil etmektedir. Çalışmamızdaki veri setinden her binaya ait başta adres bilgileri olmak üzere (mahalle, sokak, kapı numarası, açıklama, ek açıklama) sonuca etki etmeyecek olan sütunlardaki veriler tamamen silinmiştir.

2.2. Mekânsal Verinin Elde Edilmesi (Obtaining Spatial Data)

Çalışmamızda mekansal verileri elde etmek için Açık Kaynak Kod bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) olan QGIS kullanılmıştır. Bir CBS uygulamasıyla, kullanıcılar bilgisayarlarında sayısal haritalar açabilir, bir haritaya eklemek için yeni mekansal bilgiler oluşturabilir, ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş basılı haritalar oluşturabilir ve mekansal analizler yapabilir [20]. Veri madenciliği analizlerinde verinin kalitesi önemlidir. Bunun için büyük veri üzerinde veri ön işleme adımları uygulanarak elde edilen veri setinin kurgulanacak modele göre anlamlı sonuçlar ortaya çıkarması için yeterli sayıda örneklem ve öz nitelik olmalıdır. Bundan dolayı çalışmamızda kullandığımız bina envanteri veri setine ek öz nitelikler eklemek için her binanın mekansal kesişim analizi ile bulunduğu yerdeki eğim, jeoloji, taşıma gücü, yer altı suyu, zemin, zemin büyültme, zemin sınıfı, zemin titreşim katmanları kullanılmıştır. Böylece daha fazla öz nitelik ile veriler arasındaki ilginç bağlantıları keşfetme olasılığı arttırılmıştır. Şekil 2’ de binalar eğim katmanı ile birlikte gösterilmektedir. Benzer şekilde diğer katmanlar üzerinde de kesişim analizler yapılmıştır.



Şekil 2. Kaynaşlı'daki Bina ve Eğim Verilerinin Birlikte Gösterimi (*Demonstration of Building and Slope Data in Kaynaşlı*)

2.3. Birliktelik analizi (*Association analysis*)

Birliktelik analizi, genel anlamda belli bir destek ve güven eşik değeri yardımıyla birlikte sık görülen işlemlerin, kayıtların veya verilerin tespit edilip analiz edilmesidir. Böylece destek ve güven eşik değerleri kullanılarak veri seti içindeki en önemli ilişkiler analiz edilerek tanımlanabilmektedir.

Birliktelik kurallarının genel bir örneği olarak market sepeti incelenecek olursa birlikte en çok satılan ürünler veya ürün grupları satış işlemleri içerisinde tespit edilebilmektedir. Böylece bu ürün grupları market içindeki raflarda birbirlerine daha yakın bir şekilde bir araya getirilmektedir [3], [17], [21].

Çalışmamızda bina verileri ile birliktelik analizi yapılmadan önce veri ön işleme adımları uygulanmıştır. Daha sonrasında bina envanter verilerine ek öznitelikler Kaynaşlı ilçesine ait sayısal haritalar QGIS coğrafi bilgi sistemi ile kesişim analizi yapılarak veri setinin son hali elde edilmiştir. Birliktelik analizi için Weka ve Orange veri madenciliği programları kullanılmıştır. Birliktelik analizinde yaygın bir algoritma olan Apriori algoritması bu iki programda uygulanmıştır.

Apriori, boolean ilişki kuralları için geçerli bir veri madenciliği algoritmasıdır. Algoritmanın ismi, bilgileri bir önceki adımdan aldığı için “prior”

anlamında “Apriori”dir. Bu algoritma özünde iteratif (tekrarlayan) bir niteliğe sahiptir ve hareket bilgileri içeren veri setinde sık geçen öge kümelerinin keşfedilmesinde kullanılmaktadır. Bu algoritmada temel yaklaşımı eğer k-öge kümesi minimum destek ölçütünü sağlıyorsa, bu kümenin alt kümeleri de minimum destek ölçütünü sağlamaktadır. Bir öğeler kümesinin destek değeri, alt kümesinin destek değerinden büyük olmamaktadır [22], [23].

2.3.1. Tanımlar (*Definitions*)

Elde edilen birliktelik kuralları ile birlikte bu kurallar ile ilgili çeşitli ölçütler elde edilmektedir. Bunlar Destek (Support), Güven (Confidence), Kapsam (Coverage) ve Kaldırma (Lift) dir. Burada destek ve güven değerlerinin değeri büyüdükçe elde edilen birliktelik kuralının o kadar güçlü olduğu çıkarımı yapılabilir. Analiz işlemlerinde uygulanacak algoritma için destek ve güven parametrelerinin uygun bir aralıkta seçimi önemlidir. Çok büyük değerlerde bazı kurallar tespit edilemeyebilir çok küçük seçildiğinde ise benzer birçok kural ortaya çıkabilir ve amaca uygun olarak bir kural tespit edilemeyebilir. Geçerli birliktelik kurallarının oluşturulabilmesi için minimum destek ve güven (eşik) değerlerinin sağlanması gereklidir.

2.3.1.1. Destek (*Support*)

Bir kuralın tüm veri setinde ne kadar tekrarlandığını belirtir.

$$\text{Destek}(A \rightarrow B) = \frac{\text{Sayı}(A,B)}{N} \quad (1)$$

2.3.1.2. Güven (*Confidence*)

Örnek bir A değişkeninin B değişkeni ile birlikte bulunma olasılığıdır.

$$\text{Güven}(A \rightarrow B) = \frac{\text{Sayı}(A,B)}{\text{Sayı}(A)} \quad (2)$$

Birliktelik kurallarının oluşturulmasında destek ve güven dışında çok sayıda farklı istatistikî ölçütler de kullanılır. Bu ölçütlerin birçoğu destek ve güven ölçütlerine bağlı hesaplanır [24].

2.3.1.3. Kapsam (*Coverage*)

$A \rightarrow B$ şeklinde bir kuralın ne kadar sıklıkta olduğudur. Öncül destek (antecedent support) şeklinde de tanımlanmaktadır.

$$Kapsam(A \rightarrow B) = Destek(A) \quad (3)$$

2.3.1.4. Kaldırma (Lift)

A ve B değerlerinin bağımsız olup olmadıklarının gösteren oransal destek değeridir. Değişkenler birbirine bağımlı olmalıdırlar, aksi takdirde bu değerlerle ilişkili kurallar çıkarılamaz. Kaldıraç değeri 1 den büyük ise değişkenler birbirine bağımlıdır. Bulunan kuralın ne kadar ilgi çekici olduğunu belirlemek için kullanılır.

$$Kaldırma(A \rightarrow B) = \frac{Destek(A,B)}{Destek(A)*Destek(B)} \quad (4)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Veri madenciliği programlarından Orange ve Weka ile yapılan birliktelik analizlerinin sonuçları sırasıyla Şekil 3' de Orange programında yapılan analiz sonucu elde edilen bağlantılar gösterilmektedir. Şekil 4' de ise Weka programı ile yapılan birliktelik analiz sonucu elde edilen kurallar gösterilmektedir.

Orange programı ile bina envanteri veri seti üzerinde yapılan birliktelik analiz sonuçları Tablo 1' de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde risk puanı 93.5'den büyük ve titreşim aralığı 0.10 - 0.20 ise binanın mesken ve düşük riskli olduğu söylenebilir. Bunun dışında 2 katlı ve düşük riskli binaların risk puanlarının 93.5'den büyük ve mesken oldukları gibi genelleştirmeler yapılabilir.

Supp	Conf	Covr	Strg	Lift	Levr	Antecedent	Consequent
0.314	0.950	0.331	2.073	1.385	0.087	risk_puanı ≥ 93.5, ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, riskderecesi=düşük
0.314	0.954	0.330	2.115	1.369	0.085	ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.301	0.933	0.323	2.158	1.338	0.076	kat_yuksekl=2, riskderecesi=düşük	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.301	0.912	0.330	2.079	1.330	0.075	kat_yuksekl=2, risk_puanı ≥ 93.5	kullanım=mesken, riskderecesi=düşük
0.314	0.901	0.349	1.966	1.313	0.075	ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, riskderecesi=düşük
0.314	0.901	0.349	1.966	1.313	0.075	ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5, riskderecesi=düşük
0.396	0.900	0.440	1.558	1.312	0.094	malzemesi=betonarme, risk_puanı ≥ 93.5	kullanım=mesken, riskderecesi=düşük
0.396	0.900	0.437	1.597	1.303	0.092	malzemesi=betonarme, riskderecesi=düşük	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.330	0.997	0.330	2.322	1.299	0.076	kat_yuksekl=1, risk_puanı ≥ 93.5	riskderecesi=düşük
0.316	0.905	0.349	1.997	1.299	0.073	ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.330	0.996	0.331	2.319	1.297	0.076	risk_puanı ≥ 93.5, ZeminTitresimWrtBina_d=0.10-0.20,	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.420	0.996	0.422	1.817	1.297	0.096	deprem_once_0_sonra_1=1.0, risk_puanı ≥ 93.5, EjinWrtBina_c= %0-15	riskderecesi=düşük
0.314	0.996	0.316	2.430	1.297	0.072	kullanım=mesken, deprem_once_0_sonra_1=1.0, risk_puanı ≥ 93.5,	riskderecesi=düşük
0.497	0.995	0.500	1.536	1.297	0.114	deprem_once_0_sonra_1=1.0, risk_puanı ≥ 93.5,	riskderecesi=düşük
0.366	0.995	0.367	2.089	1.296	0.084	kullanım=mesken, deprem_once_0_sonra_1=1.0, risk_puanı ≥ 93.5,	riskderecesi=düşük
0.440	0.995	0.442	1.736	1.296	0.100	kullanım=mesken, deprem_once_0_sonra_1=1.0, risk_puanı ≥ 93.5,	riskderecesi=düşük
0.339	0.902	0.376	1.832	1.294	0.077	malzemesi=betonarme, EjinWrtBina_c= %0-15, riskderecesi=düşük	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.437	0.991	0.440	1.743	1.292	0.099	malzemesi=betonarme, EjinWrtBina_c= %0-15, riskderecesi=düşük	kullanım=mesken, risk_puanı ≥ 93.5
0.376	0.991	0.380	2.021	1.292	0.085	malzemesi=betonarme, risk_puanı ≥ 93.5, EjinWrtBina_c= %0-15	riskderecesi=düşük
0.396	0.991	0.400	1.918	1.291	0.089	malzemesi=betonarme, risk_puanı ≥ 93.5, EjinWrtBina_c= %0-15	riskderecesi=düşük
0.339	0.990	0.343	2.239	1.290	0.076	kullanım=mesken, malzemesi=betonarme, risk_puanı ≥ 93.5,	riskderecesi=düşük
0.768	0.985	0.779	0.985	1.283	0.169	risk_puanı ≥ 93.5	riskderecesi=düşük

Şekil 3. Orange programı ile elde edilen birliktelik kuralları (Association rules obtained with the Orange)

Tablo 1. Orange Programı ile elde edilen bazı birliktelik kuralları (Some association rules obtained with the Orange)

Destek	Güven	Kapsam	Kaldırma	Öncülli	Sonucu
0,301	0,933	0,323	1,338	Risk Puanı ≥ 93.5 , Zemin Titreşim=0.10-0.20	Mesken, Düşük Riskli
0,314	0,950	0,331	1,385	Risk Puanı ≥ 93.5 , Zemin Titreşim=0.10-0.20	Mesken, Düşük Riskli
0,301	0,933	0,323	1,338	2 Katlı, Düşük Riskli	Risk Puanı ≥ 93.5 , Mesken

0,420	0,996	0,422	1,297	Depremden sonra inşa edilmiş, Risk Puanı ≥ 93.5 , Eğim=0-15	Düşük Riskli
-------	-------	-------	-------	---	-----------------

Şekil 4. Weka programı ile elde edilen birliktelik kuralları (Association rules obtained with the Weka)

Tablo 2' de Weka programı ile elde edilen bazı birliktelik kurallarına bakıldığında ise taşıma gücü 1.00 - 2.00 ise eğim %0 -15 aralığındadır ya da düşük riskli binaların zemin büyüklüğü 1.50-2.00 ve eğimi %0-15 aralığındadır şeklinde genelleme yapılabilir.

Tablo 2. Weka Programı ile elde edilen bazı birliktelik kuralları (Some association rules obtained with the Weka)

Destek	Güven	Kaldırma	Öncülli	Sonucu
0,3	0,94	1,08	Taşıma gücü = 1.00-2.00	Eğim %0- 15
0,3	0,91	1,19	Zemin büyüklüğü 1.50-2.00	Düşük riskli
0,3	0,9	1,17	Eğim %0-15, zemin büyüklüğü 1.50-2.00	Düşük riskli

Association rules:

```

1. taşıma_gücü_1.00-2.00 > eğim_0-15 93.5 0.94 1.08 1.08
2. eğim_0-15 > taşıma_gücü_1.00-2.00 1.08 0.94 1.08 1.08
3. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
4. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
5. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
6. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
7. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
8. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
9. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
10. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
11. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
12. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
13. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
14. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
15. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
16. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
17. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
18. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
19. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08
20. eğim_0-15 > eğim_0-15 1.08 1.08 1.08 1.08

```

Birliktelik analizi sonucunda Orange ve Weka ile çeşitli bağlantılar elde edilmiştir. Elde edilen birliktelik kuralları incelendiğinde her iki programda da veriler arasında bir takım bağlantılar bulmuştur. Aynı veri seti ile farklı bağlantıların ortaya çıkması nedenlerinden biri olarak veri setinin boyutunun küçük olması, rasgele oluşturulacak başlangıç koşullarında farklı sonuçlar çıkarabilmektedir. Ayrıca çevrimiçi kaynaklar incelendiğinde ise [25] verilen cevapta test ve eğitim verileri arasındaki farkların nedenleri üzerinde durulmuştur. Burada farklı programlarda aynı modellerin farklı doğruluk değerleri verebilmelerinin nedeni olarak düşünülebilir. Ayrıca kodlama farklılıklarında etkili olabileceği belirtilmiştir. Aynı sınıflandırma modeli için farklı programların verileri mesela ondalıklı kısımlarının farklı uzunlukta alınması, yuvarlanması, eğitim verilerinin farklı seçilmesi gibi nedenlerle de aynı veri setinde farklı sonuçlar alınabilmektedir. Bununla birlikte elde edilen farklı sonuçlar arasından uzmanlar tarafından uygun görülen çıkarımlar yapılabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmanın amacı bina envanter veri tabanında birbiriyle ilişkili olabilecek verilerin veri madenciliği yöntemlerinden biri olan birliktelik kuralı analizinin uygulanmasıdır. Bunun sonucunda elde edilen bağlantıların genelleştirilmesi ile daha kapsamlı veri setlerinde genel çıkarımlar yapılabileceği, binalar ile ilgili daha fazla öznitelik bilgileri ve daha fazla bina verisi ile analiz işlemlerinden daha fazla ve farklı çıkarımlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan birliktelik analizleriyle elde edilen sonuçlara göre bir binanın yerel deprem puanı 93.5'den büyük ve zemin titreşimi 0.10-0.20 aralığında ise düşük riskli, bina 2 katlı ve düşük riskli ise yerel deprem puanı 93.5'den büyük ve meskendir gibi çıkarımlar yapılabilmektedir.

Birliktelik kurallarının kullanımı ile mevcut verilerin birbiri ile ilişki durumları ortaya çıkarılabilmektedir.

Daha büyük hacimli bir bina envanteri ile bina özelliklerinin hangi mekânsal özellikler ile ilişkili olabileceği üzerine daha detaylı bağlantılar çıkarılabileceği düşünülmektedir.

Seçilecek güven ve destek değerlerine göre kaldırma değeri en yüksek kurallar sıralanarak veri seti içinden ilginç bağlantılar elde edilebilir.

Birliktelik analizi yapılacak farklı veri madenciliği araçları ve algoritmaları ile daha farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Analiz yapılacak verisetinde ilave öznitelikler kullanılarak veriler arasındaki daha farklı bağlantılar elde edilebilir. Ayrıca veri kümesinin eleman sayısının artırılması ile daha tutarlı çıkarımlar yapılabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

[1] S. Daw, "Machine Learning Applications Using Waikato Environment for Knowledge Analysis," in Proc. of the 2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 11-13 March 2020, Erode, India [Online].

Available: IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9076531>

[2] R. Amornchewin and W. Kreesuradej, "Probability-based incremental association rule discovery algorithm," in Proc. of the International Symposium on Computer Science and Its Applications (CSA), 13-15 Oct. 2008, Hobart, ACT, Australia [Online]. Available: IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/4654088>. [Accessed: July, 15, 2019].

[3] J. K. Chahal, "Finding Association Rules in Medical Datasets," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 167-170, April 2019. Doi: <http://doi.org/10.32628/IJSRST>

[4] Y. Shen, J. Liu, and J. Shen, "The further development of Weka base on positive and negative association rules," in Proc. of the 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 11-12 May 2010, Changsha, China [Online]. Available: IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/5523114>. [Accessed: July, 15, 2019].

[5] K. Rameshkumar, M. Sambath, and S. Ravi, "Relevant association rule mining from medical dataset using new irrelevant rule elimination technique," in Proc. of the 2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 21-22 Feb. 2013, Chennai, India [Online]. Available: IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6508351>. [Accessed: July, 15, 2019].

[6] R. Agrawal, T. Imieliński, and A. Swami, "Mining association rules between sets of items in large databases," in *ACM SIGMOD Record*, vol. 22, no. 2, pp. 207-216, Jun. 1993. Doi: <https://doi.org/10.1145/170036.170072>

[7] Y. Zhong and Y. Liao, "Research of mining effective and weighted association rules based on dual confidence," in Proc. of the 4th International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS), 17-19 Aug. 2012, Chongqing, China [Online]. Available: IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6301339>. [Accessed: July, 15, 2019].

[8] J. Feng, Q. Zeng, and Z. Zhang, "A method of mining the meta-association rules for dynamic association rule based on the model of AR-markov," in Proc. of the 2nd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC), 24-25 Apr. 2010, Wuhan, Hubei, China [Online]. Available: IEEE Xplore,

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5480826>.
[Accessed: July, 15, 2019].

[9] S. Naredi and R. A. Deshmukh, "Improved extraction of quantitative rules using Best M Positive Negative Association Rules Algorithm," in Proc. of the 2015 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies, (CONECCT), 10-11 July 2016, Bangalore, India [Online]. Available: IEEE Xplore,

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7383857>.
[Accessed: July, 15, 2019].

[10] X. Piao, Z. Wang, and G. Liu, "Research on mining positive and negative association rules based on dual confidence," in Proc. of the 5th International Conference on Internet Computing for Science and Engineering, (ICICSE), 1-2 Nov. 2010, Heilongjiang, China [Online]. Available: IEEE Xplore,

<https://ieeexplore.ieee.org/document/6076550>.

[11] W. Ouyang and Q. Huang, "Mining direct and indirect weighted fuzzy association rules in large transaction databases," in Proc. of the 6th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD, 14-16 Aug. 2009, Tianjin, China [Online]. Available: IEEE Xplore,

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5358916>.
[Accessed: July, 15, 2019].

[12] X. S. Xiong, L. Fan, and Z. Lei, "Ontology-Based Association Rule Quality Evaluation Using Information Theory," in Proc. of the 2010 International Conference on Computational and Information Sciences, 17-19 Dec. 2010, Chengdu, China [Online]. Available: IEEE Xplore,

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5708913>.

[13] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, "The WEKA data mining software," in ACM SIGKDD Explorations Newsletter, vol. 11, no. 1, p. 10, Nov. 2009. Doi: <https://doi.org/10.1145/1656274.1656278>

[14] J. Demšar et al., "Orange: Data Mining Toolbox in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 14, no. 1, pp. 2349–2353, Jan. 2013. Doi: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2567709.2567736>

[15] H. Bayraktar, "CBS ve Sokak Taraması Yöntemleri Kullanılarak Düzce- Kaynaşlı İlçesinin Afet Riski Yönünden Yerleşim Durumunun Belirlenmesi ve Yerel Afet Risk Yönetimi," Ph.D. dissertation, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

[16] "QGIS." [Online]. Available: <https://www.qgis.org/en/site/about>. [Accessed: July, 15, 2019].

[17] İ. B. Aydılek, "Veri Kümelerindeki Eksik Değerlerin Yeni Yaklaşımlar Kullanılarak Hesaplanması," Ph.D. dissertation, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.

[18] D. Sağaltıcı, F. D. Alay, C. Efil, and N. İlhan, "Veri Madenciliği Yöntemleri İle Meteorolojik Verilerden Kayıp Güneş Işınım Değerlerinin Tahmini," *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, vol. 03, no. 2, pp. 49–53, Oct. 2018.

[19] Imran, S. Ahmad, and D. H. Kim, "Quantum GIS Based Descriptive and Predictive Data Analysis for Effective Planning of Waste Management," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 46193–46205, March 2020. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979015

[20] Q. Cai, "Cause Analysis of Traffic Accidents on Urban Roads Based on an Improved Association Rule Mining Algorithm," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, April 2020. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988288

[21] F. C. Özçakir and A. Y. Çamurcu, "Birliktelik Kuralı Yöntemi İçin Bir Veri Madenciliği Yazılımı Tasarımı Ve Uygulaması," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 12, pp. 21–37, Güz 2007/2.

[22] A. C. Gülce, "Veri Madenciliğinde Apriori Algoritması ve Apriori Algoritmasının Farklı Veri Kümelerinde Uygulanması," M.Sc. dissertation Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2010.

[23] H. Sever and B. Oğuz, "Veritabanlarında Bilgi Keşfine Formal bir Yaklaşım, Kısım 1: Eşleştirme Sorguları ve Algoritmalar," *Bilgi Dünyası*, vol. 3, no. 2, pp. 173-204, Jan. 2002.

[24] M. Hahsler, "A Probabilistic Comparison of Commonly Used Interest Measures for Association Rules." [Online]. Available: https://michael.hahsler.net/research/association_rules/measures.html. [Accessed: July, 15, 2019].

[25] "Validation and Testing accuracy widely different." [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/48718663/validation-and-testing-accuracy-widely-different>.

[Accessed: July, 15, 2019].

Levent SABAH

1986 yılında Eskişehir’ de doğmuştur. Düzce Üniversitesi Rektörlük Bilgi İşlem Daire Başkanlığı’ nda çalışmaktadır. Açık Kaynak Kodlu Coğrafi Bilgi Sistemleri ile web ve mobil uygulamalar geliştirmektedir. Güncel olarak salgın modellemeleri üzerine doktora çalışmaları yapmaktadır.

Hüseyin BAYRAKTAR

1977 yılında Manisa' da doğmuştur. Düzce Üniversitesi Kaynaşlı M.Y.O.' da çalışmaktadır. Kentsel Planlama, Deprem, Planlamada CBS ve Bilgi Teknolojileri, Afet Risk Yönetimi ve Sakınım Planlaması üzerine çalışmaktadır.

Mühendislik Yönetiminde Çevik Ölçeklendirmenin Önemi Ve Oecd Ülkelerinde Yüksek Teknoloji İhracatına Olan Katkısına Yönelik Bir Çalışma

Akif ONUR^{*,a}, İsmail EKMEKÇİ^b

^{a,*} İstanbul Ticaret Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-4286-8863, İSTANBUL 34134, TÜRKİYE

^b İstanbul Ticaret Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-2247-2549, İSTANBUL 34134, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 30.03.2020
Kabul: 30.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Mühendislik
Yönetimi, Çevik
Mühendislik
yaklaşımı, Çevik Proje
Yönetimi, Performans
ölçümü,

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
akif.onur34@gmail.co
m

ÖZET

Değişen dünya düzeninde geleneksel mühendislik yöntemi yerine küçük ama hızlı ve toplu hareket edebilen, pazar erişim sürelerini uzatmadan müşterilere ulaşabilen; girişimci ruhlu takımlar, mühendislik yaklaşımları tercih edilmektedir. Bu tercihlere rağmen akademi ve iş dünyasında çevik mühendislik takım kavramına uymayan lider sayısı son zamanlarda giderek azalmaktadır. Çalışma, OECD ülkelerindeki milli gelirden alınan Ar-Ge harcamalarının ve çevik mühendislik model kavramının benimsendiği mühendislik yönetimi takımlarının patent sayılarının ihracat verilerinde ilişkisi açıklanarak giriş'e bağlı literatür taraması, ölçütlerin paylaşıldığı modelin tanımı ve sonuç aşamasından oluşmaktadır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.08>

A Study On The Importance Of Agile Scalability In Engineering Management And Its Effect On High-Tech Exports In OECD

ARTICLE INFO

Received: 30.03.2020
Accepted: 30.04.2020

Keywords:

Engineering
Management, Agility
Engineering
Approaches, Agile
Project Management,
Performance
Measurement,

***Corresponding**

Authors

e-mail:
akif.onur34@gmail.co
m

ABSTRACT

As a new world order is formed, entrepreneurial teams and engineering approaches with small but quick and can mobilize collectively, reaching customers without extending market access time, are preferred instead of the traditional project method. Despite these preferences, the number of leaders in academia and business who adapt into the concept of agile engineering teams recently has been steadily decreasing. The study consists the literature review on introduction, the definition of the model which the criteria are shared in and the result stage and explains the relationship of R&D expenses from national income in OECD countries and the patent numbers of engineering management information systems, teams with the concept of agile models.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.08>

1. INTRODUCTION (*GİRİŞ*)

In classical economy, technological progress was not calculated directly so that it is accepted as a “manna from heaven” wherein modern growth theory it is clear that well-educated labour force is indispensable source for technology creation.

Since researchers are driving force of technology they need to be managed differently rather than usual labour force. An approach based on delivering requirements iteratively & incrementally which is called as “Agile” is a preferable way to manage teams to make R&D ending with technology and innovation. Otherwise the management causes technology failure and slipped down in competitiveness with technology creators and finalizes as “creative destruction”. Technological leader countries are also known as good export performer.

Firms cannot maintain their competitive power in the market with their classic project management practices and as a result, as a new approach, the project is directed to teams managed with different frameworks under the umbrella of the program and wants to update their processes in areas where it is inadequate [1]. It is stated that one of the most important factors preventing project and implementation success in traditional sectors is the lack of functional communication between stakeholders. However, in today's e-government applications, there has been a rapid transition to a period in which security is discussed, and technologies are compared, and customer satisfaction and product quality are more important than ever [2]. With this transition, digital identity, digital citizenship and Blockchain applications, the management of disruptive technologies that enable data owners to manage their data, enable transactions between the parties without trading intermediaries, eliminates the need for central authority, but only works with project applications developed with new methods and processes and produce solutions [3]. Performance measurement is one of the methods that can be used when making decisions. The most crucial stage of performance evaluation is to set appropriate criteria [4]

2.LITERATURE REVIEW (*LİTERATÜR TARAMASI*)

With the share allocated from the gross national product for R&D in our country, projects are encouraged, supported and followed by ministries, universities and TÜBİTAK. However, considering the number, content, quality and limited resources of the Research and Projects produced together, there is a scarce resource management requirement in which not

all projects can be supported [5]. Exiting this point, having a software measurement program with software and ensuring an objective and quantitative evaluation of software processes, continuous improvement and learning in the context of software development do not guarantee success, and in the light of the researches, more than 80% of these programs fail within the first 18 months [6]. This leads teams to present a running software to the requestor in short cycles, to move forward with more frequent approvals and feedback, and to unlike traditional methods, collecting tools to intuitively collect data. As a result of the above reasons, when the orientation is towards the Agile teams by professionals, some questions arise in which performance answers are sought. The most prominent of these questions is how companies can easily measure performance when forming a team, but how to measure and evaluate the performance of these teams if they create multiple teams? Besides, questions arise whether all business units in the organization will adopt working with this approach, whether agile work will improve the performance of the Information Technology Innovation Teams, but whether this work will have a positive impact on the overall performance of the organization. As can be seen, although it is possible to diversify the questions, the need for high competition in today's uncertainty makes the idea of having fast, agile and compatible teams attractive. However, institutions have difficulty in deciding to fulfil the criteria to make such a strategy a reality. Especially in projects requiring technology, situations that result in an unnecessary outcome are frequently encountered despite the large costs incurred for a long time [7]. When the outputs of R&D expenditures, such as patents at the firm level (micro) and country level (macro) and exports, are analysed, R&D expenditures sometimes do not result in positive output as expected. To analyse the relationship between R&D expenditures as a share of GDP, exports and patents at micro-level the biggest exporting firms with a large amount of R&D expenditure in Turkey and at macro level 36 OECD countries' and 7 emerging markets were taken into consideration. Finally, analyses were carried out for 43 countries at the macro level and 241 Turkish firms those export highest amounts. When the firms which are top exporters in Turkey are examined, it is seen that 241 of these firms spent on R&D. As a result of the analysis, it was determined that the export performance was high in line with the R&D expenditures made by 108 of these 241 firms, and 44 of the firms showed similar performance both in R&D expenditure and export performance, while the remaining 89 firms did not reach the expected export performance. When the results obtained for 43

countries are examined, it is clearly seen that; It is observed that there is no linear correlation for some countries between the R&D expenditures as a share of national income and the number of patents received in the field of H-TECH Engineering. In Figure 1, it is observed that the number of patent applications made in the field of Information and Communication

Technologies and R&D expenditures are not positively correlated in some OECD countries such as Canada, Australia, Chile, Ireland, Italy, Mexico, Netherlands, Poland, Spain, Turkey, United Kingdom and USA and in non-member economies such as China, Romania, Russia, and Republic of South Africa

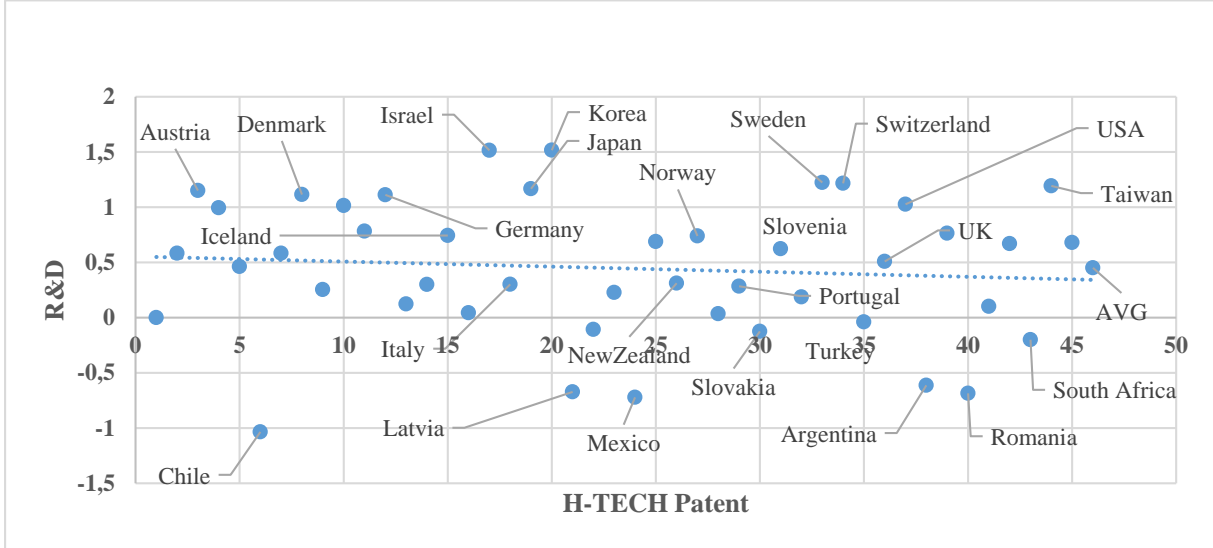


Figure 1. The relationship between R&D as a share of GDP and patent applications in the H-TECH Engineering sector in OECD countries and some Emerging Economies (2017). (*OECD ülkelerinde H-TECH Mühendislik sektöründe GSYİH payı olarak Ar-Ge ve patent başvuruları arasındaki ilişki ve bazı Gelişmekte Olan Ülkeler*) Source: OECD (R&D expenditures as a share of national income belong to 2016 for Mexico and South Africa; ln: natural logarithm)

The research carried out in Figure 2 shows that the share of R&D expenditures as a share of their national income is not correlated with the exports of Computer, Electronics and Optics sectors in these countries. Australia, Canada, Finland, Israel, Luxembourg, New Zealand, Norway, Sweden, Turkey as well as some non-OECD developing economies countries such as, Russia and South Africa

their R&D expenditures are not correlated with their exports in Computer, Electronics and Optics sectors.

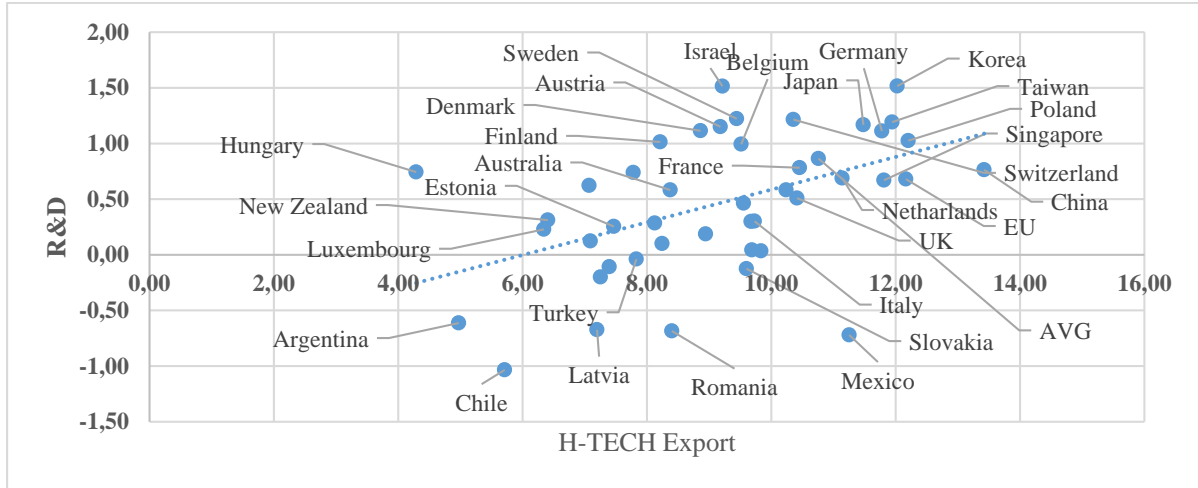


Figure 2: The relationship between OECD and the share of R&D expenditures in national income in some countries and the export in the H-TECH Engineering sector (2017) (*OECD ile bazı ülkelerde Ar-Ge harcamalarının milli gelir içindeki payı ve H-TECH Mühendislik sektöründe ihracat arasındaki ilişki*)

Source: OECD, the countries' data for 2017 but Mexico and South Africa data are for 2016.

In the figure above X axis stands for the natural logarithm value of H-TECH Engineering exports of the 43 countries' (millions USD) whereas Y axis stands for the R&D expenditures as a share of countries' GDPs. When both analyses results were evaluated, alongside the OECD countries such as Australia, Canada and Turkey, Russia and the Republic of South Africa's R&D expenditures cannot produce the expected positive outcomes as in other successful countries, and it is also seen that the expected result could not be achieved in the export of its products on Communication Technology Patent number as well as high-tech. It has been determined that projects and project teams whose analysis and outputs are not correctly described or suitable for scaling cannot provide desired outputs both on company and country basis.

Table 1 shows the R&D expenditures made by 36 OECD countries and 7 emerging market economies, the number of patents obtained in the field of Information and Communication Technology and their exports in the Computer, Electronics and Optics sectors. It can be clearly seen in the table that the R&D expenditures of some countries have resulted positively, both the number of patent applications and exports have shown positive performance in the Information, Communication and Technology sector. Although some countries make high R&D expenditures, the number of patent applications has been low and accordingly, exports in the high-tech, information and communication technology sector have not been concluded at the desired level.

Table 1. The country's R&D expenditures, the number of patent applications in the field of Information and H-TECH Engineering and their exports in the Computer, Electronics and Optics sectors (*Ülkenin Ar-Ge harcamaları, Bilgi ve H-TECH Mühendislik alanındaki patent başvurularının sayısı ve bunların Bilgisayar, Elektronik ve Optik sektörlerindeki ihracatı*)

Country	H-TECH Patent Applications	R&D Expenditure as a share of GDP (%)	H-TECH Exports (Million \$)
China	23.368	2,15	674.210
United States	17.831	2,79	199.303
Korea	5.317	4,55	166.757
Chinese Taipei	303	3,30	153.727
Singapore	240	1,95	134.847
Germany	2.850	3,04	130.316
Japan	11.840	3,21	96.572
Mexico	44	0,49	77.168
Netherlands	562	1,99	68.894
France	1.335	2,19	34.735
United Kingdom	1.459	1,66	33.294
Switzerland	356	3,37	31.415
Czech Republic	22	1,79	27.992
Poland	81	1,03	18.686
Italy	335	1,35	16.784
Ireland	190	1,04	16.102
Hungary	74	1,35	15.919
Slovak Republic	8	0,88	14.767
Canada	979	1,59	14.112
Belgium	200	2,70	13.551
Sweden	1.588	3,40	12.627
Israel	768	4,54	10.045
Austria	175	3,16	9.706
Spain	220	1,21	7.663
Denmark	137	3,05	7.055
Romania	19	0,50	4.449
Australia	417	1,79	4.333
Russia	277	1,11	3.801
Finland	541	2,76	3.686
Portugal	39	1,33	3.376
Turkey	133	0,96	2.516
Norway	90	2,09	2.396
Estonia	9	1,29	1.750
Lithuania	5	0,90	1.627
South Africa	46	0,82	1.411
Latvia	1	0,51	1.334
Greece	20	1,13	1.200
Slovenia	6	1,86	1.177
New Zealand	35	1,37	605
Luxembourg	30	1,26	568
Chile	8	0,36	302
Argentina	3	0,54	144
Iceland	0	2,10	73

Source: OECD, the countries' data for 2017 but Mexico and South Africa data are for 2016.

Agile Software Development (ASD) methodologies have been widely accepted in the software development industry. While the iterative and incremental approach of agile methodologies are the main attraction, it also complicates the prediction and predictability of agile software projects. Such data can be used as quantitative metrics for time and effort estimation, which can help reduce risk and avoid risk. While traditional agile formulations and suggestions highlight individuals and interactions on processes and tools, this article analyses today's complex software systems and distributed teams. Emphasis on processes and tools enables agile software projects to produce project metrics that can be effectively used in predictive analytics and risk management. The system introduced here highlights a quantitative approach to agile project planning and provides a management model that generates risk criteria used to help avoid and reduce the risk [8]. A form of this can be provided through structured assessment models or frameworks. Implementing structural assessment models can enable to identify where projects stand in terms of agility and by doing so define which areas should be improved. Such an improvement approach can enable the agile principles outlined in the Agile Manifesto to be interpreted to the point and enable a more efficient adaptation of agile practices. However, it should be noted that the ultimate goal for an organization to adopt agile methods is not to be agile but to find ways to improve performance, code quality, customer and employee satisfaction through the implementation of agile methods/practices [9]. ASD is a term that covers various iterative and incremental software development methodologies. In agile software development; not only the interaction between individuals and each other is more important than the process and the tools used but the operation of the software is more important than documentation in detail. Customer contributions are also more important than contracts and agreements whereas responding to changes is more important than following a flat plan [10].

The agile manifesto focuses on twelve principles. The first principle, it is the first priority to achieve customer satisfaction by providing the earliest and continuous delivery of the software that is important to the customer. The second principle, being open to changes even if there are delays. The agile process enables the customer to compete advantageously with these changes. The third principle, to deliver the software that works in a short time two-six weeks. Principle four, business people and software developers should come together for the project on a daily basis. Principle five, it is important to implement

the projects by motivating individuals and to trust them that they will meet their needs by providing them with the appropriate environment. Principle six, it is important to know that the most effective and short way of transferring information within the team is face to face interviews. Principle seven, the functioning software is the first indicator of the process. The agile process offers stable development. Principle eight, sponsors, developers and users are constantly in harmony. Principle nine, continuous attention to technical excellence and good design increases agility. Principle ten, simplicity is important. Principle eleven, the best architectures, requirements and designs come from teams that can organize themselves. Principle twelve, the team examines how his work can be more efficient and improves his behaviour accordingly [11].

The first item is about ensuring customer satisfaction. This means that customer needs are determined well, in other words, needs are analysed well. The subject highlighted in the second article is the answer to the changes. Changes in customer requirements or environmental conditions may require arrangements in the software to adapt to new conditions. This is possible through software improvement [12]. The third, fourth, fifth, eighth, eleventh and twelfth items are respectively; the completion of the software in a short time, the frequent gathering of stakeholders, the motivation of individuals, the constant harmony of sponsors, developers and users, and the need for teams to organize themselves and be productive [13]. In other words, since these items require effective use of time, communication, motivation, compliance and self-organization and efficiency, a good management activity is required for both the software process and motivation, compliance and efficiency. The sixth item is a topic that helps software developers to develop face-to-face communications during the planned phase and in accordance following the purpose. In the seventh article, he emphasizes that the operation of the software is the best criterion for evaluation. The improvement and perfecting of the software in the ninth and tenth articles and the simplification of the user depend on the realization of a radical change in a sense [14].

The development of large software systems requires project work, coordination of activities, project control and teamwork with tools to share information. Existing business sharing environments in collaborative software development often try to define and automate the development process. In addition to one-to-one communication, a shared

software development environment should be established based on the management of planning, definition, change and collaborative activities. This environment should be the basis for a high level of the dynamic development process, which can vary

according to the clearly defined cooperation model, leading to various activities and business processes. The study, which we expect to contribute, is designed in the literature to cover this importance and deficiency [15].

Table 2. The Top 10 Global Companies (2019) (*En İyi 10 Küresel Şirket*)

Company Name	Location	Sector	Rank +/-	Market Capitalisation (\$Bn)	Rank	Market Capitalisation (\$Bn)
Microsoft	United States	Technology	2	905	3	703
Apple	United States	Technology	-1	896	1	851
Amazon.Com	United States	Consumer Services	1	875	4	701
Alphabet	United States	Technology	-2	817	2	719
Berkshire Hathaway	United States	Financials	1	494	6	492
Facebook	United States	Technology	2	476	8	464
Alibaba	Greater China	Consumer Services	0	472	7	470
Tencent	Greater China	Technology	-3	438	5	496
Johnson & Johnson	United States	Healthcare	1	372	10	344
Exxon Mobil	United States	Oil & Gas	2	342	12	316

Source: PWC

Microsoft is ranked as the most valuable company in the World in 2019 with a market value of 905 billion dollars. Apple with 896 billion dollars market value and Amazon with 875 billion dollars market value followed Microsoft. Microsoft replaced Apple as a top scorer which is ranked as the most valuable

company in the World in 2018. Microsoft was ranked as the third valuable company in 2018 where Amazon was ranked as fourth in same year. It is seen that Alphabet which is another technology company was ranked as second in 2018 and fourth in 2019 (Table 2).

Table 3. The Top Ten Global Companies with Highest Absolute Increase in Market Capitalization Growth Rate (*Piyasa Değeri Artış Oramında En Yüksek Mutlak Artışa Sahip İlk 10 Küresel Şirket*)

Company Name	Location	Sector	Change In Market Capitalisation 2009-2019 (\$Bn)	Market Capitalisation 2019 (\$Bn)	Market Capitalisation 2009 (\$Bn)
Amazon.Com	United States	Consumer Services	843	875	31
Apple	United States	Technology	802	896	94
Microsoft	United States	Technology	742	905	163
Alphabet	United States	Technology	707	817	110
Tencent	China	Technology	425	438	13
Berkshire Hathaway	United States	Financials	360	494	134
Facebook	United States	Technology	394	479	81
Alibaba	China	Consumer Services	304	472	168
Visa	United States	Consumer Services	272	314	42
JP Morgan	United States	Financials	232	331	100

Source: PwC

In the Table 3 it is obviously seen that companies from United States also dominate the top global companies list in micro level as the country has a good performance in macro level. In the list Amazon is ranked as the most valuable company in the world with 875 billion dollars market capitalization whereas Apple with 802 billion dollars and Microsoft with 742 billion dollars market capitalization. Five technology and two e-commerce totally seven companies took place among top ten most valuable companies. When the absolute growth rates in the market capitalization of the companies are compared Amazon with an 843% growth rate between the 2009-2019 period is top ranked and is followed by Apple with 802% growth rate and Microsoft with 742% growth rate in same period. In top ten valuable companies list and top ten companies with highest growth rates in market capitalization one can easily see that the favour technology companies took place in both lists since they were managed by Agile framework.

Table 4. GDP of the Countries (*Ülkelerin GSYİH*)

Country	2009 (\$bn)	2018 (\$bn)
OECD - Total	42.663	52.676
United States	14.449	20.544
China	5.102	13.608
Japan	5.231	4.971
Germany	3.398	3.948
United Kingdom	2.411	2.855
France	2.690	2.778
Italy	2.191	2.084
Canada	1.371	1.713
Russia	1.223	1.658
Korea	902	1.619
Australia	928	1.434
Spain	1.486	1.419
Mexico	900	1.221
Netherlands	868	914
Turkey	645	771
Switzerland	542	705
Taiwan	392	590
Poland	440	586
Sweden	435	556
Belgium	481	543
Argentina	333	520
Country	2009 (\$bn)	2018 (\$bn)
Austria	400	455
Norway	386	434

Ireland	236	382
Israel	207	371
South Africa	296	368
Singapore	194	364
Denmark	321	356
Chile	172	298
Finland	252	277
Czechia	206	245
Portugal	244	241
Romania	174	240
Greece	330	218
New Zealand	121	205
Hungary	131	158
Slovak Republic	89	106
Luxembourg	51	71
Slovenia	50	54
Lithuania	37	53
Latvia	26	34
Estonia	20	31
Iceland	13	26

In Table 4 countries are listed with their GDP values in year 2009 and 2018. United States has the largest GDP with a 20,5 trillion dollar and is followed by China with 13,6 trillion dollars GDP and Japan with 5 trillion dollars GDP. One can easily see that technology companies listed Table 2 have much market value than some countries' GDP. Microsoft, Apple, Amazon and Alphabet have greater market value than 29 countries' GDP values where Facebook and Alibaba's market values are bigger than 22, Tencent's market value is bigger than 21 countries' GDP values.

3.METHODOLOGY (*METODOLOJİ*)

Agile-Scrum is an application development framework. The main feature of this method is that it is based on observers, developers and repetitions. It assumes that many modern software projects are quite complex and it will be difficult to plan them all from the beginning. In order to reduce this confusion, the "Performance" six main criteria consisting "Agility", "Measurement", "Planned Iterations", "Goal", "Customer Satisfaction", "Team Wellness" is being established in terms of transparency, supervision and productivity. These six main criteria have got 84 sub-criteria so that totally there are 90 criteria in the framework (Figure 3).

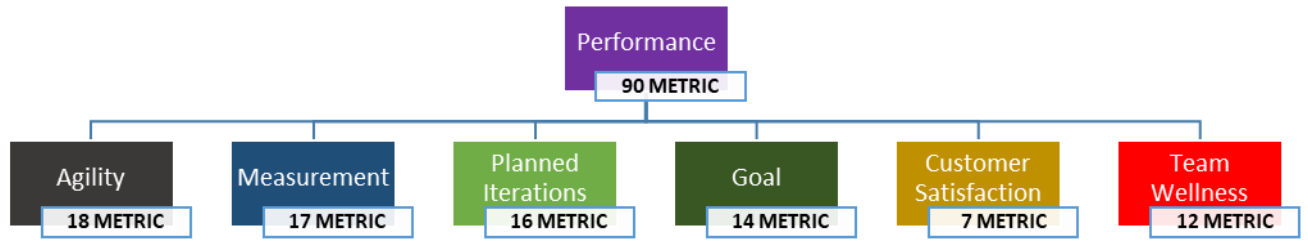


Figure 4. Level of Criteria (Kriterlerin Ölçüt Düzeyi)

3.1 Performance Index of Agility (Çeviklik Performans Endeksi)

It is the name given to a roof management for the management of agile-scrum complex projects to ensure that a product originally imagined and conformed to the design is produced at a fast, predictable cost and quality. The realization of the designed product is not carried out in the form of gradually realizing a list of requests prepared by the customer/user as detailed as possible [16]. Instead, the

functions requested and defined by the customer/user are developed and revised within two or four-week periods called Sprint. This user-based requirement definition is described as a User Story and included in the job list. At the end of each Sprint, a functional piece of software is finished and can be delivered to the customer. Scrum Agile is a method that implements the principles of software development and 17 metrics have been designed for proper follow-up.

Table 5. The explanations of Agility performance criteria (Çeviklik performans kriterlerinin açıklamaları)

CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS
C Agility	Criteria below C Level	C Agility	Criteria below C Level
C1 Artefacts	Aggregate Metrics		
C1.1 Burndown chart	The burndown chart shows representation of work left to do versus time	C2.4 Velocity for planning	Criteria determining the importance of participating in planning of team speed in iterations
C1.2 Documentation	Criterion that determines the importance of institutional memory without creating bureaucracy in iterations	C2.5 Updated product backlog	Criteria that determines the importance of keeping the worklist up to date in iterations
C1.3 Sprint backlog	Criteria determining the importance of tasks determined by the team to be completed in iterations	C2.6 Unique Roll	Criterion that determines the importance of decomposition of roles in iterations
C1.4 Product backlog	Criterion that shows the importance of new features, bug fixes, changes to achieve a certain result in iterations.	C2.7 Sprint backlog management	Criterion that determines the importance of tracking the works committed in operations
C2 Roles	Aggregate Metrics	C2.8 Impediments list	Criteria that determines the importance of listing obstacles encountered in iterations

C2.1	Product owner	Criteria that determines the importance of prioritization, identification and execution of work in iterations	C3	Timeboxed Iterations	Aggregate metrics
C2.2	Updated sprint backlog	Criteria that determine the importance of updating business frequently in iterations	C3.1	Time management	Criterion that determines the importance of time management in iterations
C2.3	Communication skills	Criterion that determines the importance of internal and external communication in the team in iterations	C3.2	Time Consistency	Criterion that determines the importance of time consistency in iterations

3.2 Performance Index of Measurement

(Performans Ölçüm Endeksi)

Performance evaluation has gained importance in a competitive environment. Decision making is one of the most important activities in the business world. Managers need accurate and reliable scientific predictions for decisions. Performance measurement is one of the methods that can be used when making

decisions. The most important stage of performance evaluation is to set appropriate criteria. It is presented with 18 criteria as the most basic interpretable indicators by considering many criteria in performance measurement of teams.

Table 6. The explanations of Measurement criteria (*Ölçüm kriterlerinin açıklamaları*)

CRITERIA		DEFINITIONS OF CRITERIAS	CRITERIA		DEFINITIONS OF CRITERIAS
D	Measurement	Criteria below D Level	D	Measurement	Criteria below D Level
D1	Velocity	Criterion that determines the importance of knowing the capacity dependent velocity in iterations	D10	Return Rate	Criterion for the importance of the works to be reworked in iterations
D2	Sprint burn-down	Criteria Determining the Importance of Burn-Down Shows How Much Work the Team Has Left Versus the Ideal Amount of Work Remaining in Iterations	D11	Focus Factor	The benchmark that determines the importance of the percentage of the team's effort that results in finished stories
D3	Release burn-up	Criteria determining the importance of how much a team has left to complete a release versus the ideal amount of work remaining in iterations	D12	Estimation accuracy	Objective: the ability of teams to accurately estimate their work.
D4	Sprint length	Criterion that determines the importance of sprint length in iterations.	D13	Reliability	Criterion that determines the ability of teams to meet the story points they committed to for a sprint

D5	Successful sprints	Criterion that determines the importance of successful sprints in estimation.	D14	Relative return on investment	Criterion that determines the importance of investment's added value
D6	Story completion ratio	Criteria determining the importance of completing the works in the estimated budget and time	D15	Total business value earned	Criterion that determines the importance of an accumulation of all the business value that was earned during a sprint
D7	Story lead time	Criterion that determines the importance of knowing the time it takes from which the job was added to the backlog to solving it.	D16	Process efficiency	Criterion that determines the importance of the process efficiency showing how efficient the team members spend their time working on committed stories.
D8	Productivity	The criterion that determines productivity team's capability to do business and its importance for customer satisfaction	D17	Team size	Criteria determining the importance of producing tools in cross-functional features within the limits specified for productivity
D9	Predictability	Criteria that determines the importance of presuming jobs	D18	Team & company turnover	Criterion that determines the importance of company turnover, team member turnover

3.3 Performance Index of Planned Iterations

(Planlanan Yinelemelerin Performans Endeksi)

Inspection with the scales metric in this section is intended to ensure that parts or functions of the product are delivered and evaluated regularly. 16 metrics were designed to increase the traceability by

keeping the progress and problems on a daily basis and to ensure that they are localized for the solution of the problems without any complaint from the customer.

Table 7. The explanations of Planned Iterations criteria (Planlı Yineleme kriterlerinin açıklamaları)

CRITERIA		DEFINITIONS OF CRITERIAS	CRITERIA		DEFINITIONS OF CRITERIAS
E	Planned Iterations	Criteria below E Level	E	Planned Iterations	Criteria below E Level
E1	Successful Meetings	Aggregate Metrics	E3	Successful Retrospective	Aggregate Metrics
E1.1	Participation	Criteria that Determines the Importance of Participation in Iterations	E3.1	Results İn Improvement	Criteria that Determines the Importance of Creating an Opportunity to Develop from Outputs
E1.2	Priorities	Criteria that Determines the Importance of Consensus Establishment on the Plan	E3.2	Discussed, Addressed Categorized Risk	Criteria Determining the Importance of Addressing and Categorizing Risks and Assumptions

E1.3	Estimation	Criterion that Determines the Importance of Forecasting in Planning	E3.3	Refactoring	Criteria that Determines the Importance of the System's Response to the Current and Future Needs
E1.4	Velocity for Planning	The criterion that determines the importance of using the production speed of the team in planning	E3.4	Achievable Plan	Optimizes the Probability That the Development Team Will Meet the Sprint Goal
E2	Daily Scrum	Aggregate Metrics			
E2.1	Sprint Burndown Chart	Criteria that Determine the Importance of Tracking the Daily Flow of Jobs.	E4	Successful Sprint Review Meetings	Aggregate Metrics
E2.2	Awareness	The Criterion that Determines the Importance of Being Aware of the Work of Another Team Member	E4.1	Demo	Criterion for Determining the Importance of Getting Approval for the Working Product Before Going Live
E2.3	Problems and Impediments	Criteria that Determines the Importance of Not Waiting for Problems to be Solved	E4.2	Feedback	Criteria Determining the Importance of Feedback
E2.4	Activity Time	Criterion that Determines the Importance of Activity Time	E5	Meeting Notes	Criterion that Determines the Importance of Note-taking in a Meeting

3.4 Performance Index of Goal (*Performans Hedef*

Endeksi)

Agile Goal is defined as a specific goal to ensure the team is gathered around a higher lofty goal that exceeds the goals of all stakeholders. Due to the nature of the work, the requirements for the product are not determined from the beginning once, but

there is a goal target and definition to guide the team in each iteration in order to be re-evaluated in each delivery and to make adaptations according to the situation.

Table 8. The explanations of "Goal" criteria ("*Hedef*" kriterlerinin açıklamaları)

CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	OF	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	OF
F	Goal	Aggregate Metrics	F	Goal	Aggregate Metrics
F1	Definition of Done	Criteria that Determines the Importance of Having Data Criteria Determined	F8	Blocked Time	Criterion that Determines the Importance of being blocked in Job Loss
F2	Team Respects	Criteria that Determines the Importance of Each Team Having Its Own Data Criteria	F9	Work Item Age	Criteria that Determines the Importance of the Time Between Starting and Ending in Iterations

F3	Goal	Criteria that determine the importance of having a clear goal definition made by all team members	F10	Story Acceptance Ratio	Criteria that Determine the Importance of the Acceptance of the Output
F4	Fixed Items	Criteria that Determines the Importance of Quality in Iterations	F11	Productivity	Criterion that Determines the Importance of Productivity in Iterations
F5	Well Defined Risks	Criteria that Determine the Importance of Well-Defined Risks in Iterations	F12	User Acceptance Test	Iterations Criteria Determining the Importance of User Acceptance Test
F6	Rework	The Criterion that Determines the Importance of Avoiding Works to be Reworked in Iterations	F13	On-Time Delivery	Criterion that Determines the Importance of Timely Delivery in Iterations
F7	Failed Deployments	Criterion that Determines the Importance of Preventing Loss of Work to be Created by Failed Deployment	F14	Defects in Production	Criteria that Determines the Importance of Reputational Deterioration Problems in the Production System

3.5 Performance Index of Customer Satisfaction

(Müşteri Memnuniyeti Performans Endeksi)

Agile approaches focus on logical customer satisfaction. After all, the customer is the reason to develop the product in the first place [17]. In this section, 12 metrics were designed to participate in the basic key performance indicator process by obtaining

a net promotor score calculation from the questions regarding the determination of customer dissatisfaction in order to identify some customer satisfaction problems that are common in the project.

Table 9. The explanations of “Customer Satisfaction” criteria (“Müşteri Memnuniyeti” kriterlerinin açıklamaları)

CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS
G	Customer Satisfaction	G	Customer Satisfaction
G1	Well Defined Processes	G5	Applied Stories
G2	Score	G6	Analysis

G3	Communication	Criterion that determines the importance of intra-team communication	G7	Team and Process	Criteria indicating the importance of the team determining development criteria that meet customer acceptance criteria
G4	Constructive criticism	Criterion that determines the importance of considering recommendations			

3.6 Performance Index of Team Wellness (*Takım Sağlığı Performans Endeksi*)

Exploring ways that motivate agile teams is positively correlated with output quality. Based on the work to be performed, it is necessary to employ the right resources to the teams and to control the team autonomously with a product backlog and product

owner where the need is addressed correctly. It is designed to participate in the basic key performance indicator process by obtaining a net promoter score calculation in terms of giving people time and opportunity to develop their expertise.

Table 10. The explanations of “Team Wellness” criteria (*Takım sağlık durumu kriterler*)

CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	OF	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS	
H	Team Wellness	Criteria below H Level	H	Team Wellness	Criteria below H Level
H1	Collaboration	Criterion that Determines the Importance of Intra-Team Communication and Collaboration	H7	Goal	Criteria that Determines the Importance of the Sprint Goal for Understanding the Sprint Scope and the Sprint Goal
H2	Team Enthusiasm	Criterion that Determines the Importance of Team Enthusiasm	H8	Responsibility	The Criterion that Determines the Importance of Scrum Master's Performance
H3	Lessons Learned	Criteria that Determine the Importance of Lessons Learned	H9	Sense of Mission	Criterion that Determines the Importance of the Mission That the Product Owner Will Put on the Team
H4	Communication	Criterion that Determines the Importance of Contribution of Business and Communication to Development	H10	Comprehensibility	Criteria Determining the Importance of Ensuring Understandability of Demands
H5	Agility	Criteria Determining the Importance of Team's Acting in Accordance with Agile Framework	H11	Reproductivity	Criteria that Determines the Importance of Creativity for the Solution of Demands
H6	Blame Culture	Criterion that Determines the Importance of No Blame Culture	H12	Coaching	Criterion that Determines the Importance of Coach Support

4. RESEARCH CONSTRAINTS (*ARAŞTIRMA KISITLARI*)

The use of Scrum does not necessarily solve the problems that exist in the development of the system, but it provides a good learning method from the errors that occur in a relatively short time. The application of metrics to Scrum and the role of the Scrum team in communication plays a major role in defining errors and internal monitoring of team performance. Scrum uncovers your product and engineering management, so you can continually improve the performance of your product, team, and work environment. There is a lack of data for R&D expenditures as a share of national income. So, the data for Mexico and South Africa belong to 2016 where the data belong to 2017 for the other 41 countries. Since there is a lack of data for the countries not included in the study we could analyse only 36 OECD members and 7 emerging economies.

5. CONCLUSION (SONUÇ)

To catch up the developed countries' income level the developing countries should make investments in R&D to increase their goods and service exports. This will not only decrease their current account deficit but also increase their citizens' prosperity as well. The team in R&D has crucial importance for the countries to reach their goals. So, management of these teams should be considered carefully.

If a company at a micro level and a country at macro level want to increase their export volume they should increase R&D expenditures resulting with technology creation and patents. To reach this goal Agility framework is strictly offered to apply for the management of team in R&D. Expenditures for teams which are not managed effectively will be resulted inefficient teams that are far from producing output. Although inefficiency has various adverse effects at both micro and macro levels, it has effects as it can be understood from The analysis made above, even by causing time losses and efficiency decreases. Using metrics in Scrum is useful for looking at the team's product performance and evaluating the maturity of a plan. Measurements made during the sprint run allow direct identification of problems while the team is working on jobs. Although Scrum prioritizes flexibility in the process, this measurement model built by us will allow careful planning of jobs, giving full priority to customer requests, avoiding risks, considering all possibilities. Our primary focus is to explore different ways to ensure the reliability of the metrics, as this is the only factor for long-term use of metric programs, which shows strong potential in dictation. This study is aimed to be guide for the future studies about measuring the behaviour of operational

process metrics and determining their impact on the development process of their company and using a ranking algorithm to include.

CONFLICT OF INTEREST (ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ)

No potential conflict of interest was reported by the authors.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] C. Budayan, "Project Portfolio Management Applications for Turkish Construction Industry in Istanbul Region", *Journal of Polytechnic*, vol.3, no.20, pp. 699-709, September 2017. Doi: 10.2339/politeknik.339403
- [2] A. Efe, N. Mühürdaroğlu, "Secure Software Development in Agile Development Processes of E-Government Applications", *The Journal of International Scientific Researches*, vol.3, no.1, pp. 73-84, April 2018. Doi: doi.org/10.23834/isrjournal.396735
- [3] Ç.Karahan, A. Tüfekci, "Blokzincir Teknolojisinin Dijital Kimlik Yönetiminde Kullanımı: Bir Sistematik Haritalama Çalışması", *Journal of Polytechnic* vol. 23, no. 2, pp. 483-496, June 2018. Doi: doi.org/10.2339/politeknik.654503
- [4] E, Nebati, İ. Ekmekçi, "A proposal of novel performance criterias development for shopping malls", *Journal of Polytechnic*, vol. 22, no. 2, pp. 495-507, June 2019. Doi:doi.org/10.2339/politeknik.470617
- [5] M. Arıbaş, U. Özcan, "Evaluation of Academic Research Projects Using AHP and TOPSIS Methods", *Journal of Polytechnic*, vol.19 no. 2, pp.163-173, 2016. Doi: 10.2339/2016.19.2 163-173
- [6] P. Ram, P. Rodriguez, M. Oivo and S. Martínez-Fernández, "Success Factors for Effective Process Metrics Operationalization in Agile Software Development: A Multiple Case Study," *2019 IEEE/ACM International Conference on Software and System Processes (ICSSP)*, Montreal, QC, Canada: 2019. pp. 14-23.
- [7] K. Darrell R, S. Jeff , N. Andy, "Scaling Agile Work", *Digital Journal of Harvard Business Review*, vol.5, pp. 60-69, 2018. [Online]. Available: <https://hbr.org/2018/05/agile-at-scale> [Accessed: 24 January 2020.]
- [8] K. Ghane, "Quantitative planning and risk management of Agile Software Development," *2017 IEEE Technology & Engineering Management*

Conference (TEMSCON), Santa Clara, CA: 2017. pp. 109-112.

[9] Ö.Top, O. Demirors, "Application of a software agility assessment model – AgilityMod in the field", *Journal of Computer Standards & Interfaces*, vol.62, pp. 1-16, February 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.07.002>

[10] K. Beck, M. Beedle, A. Bennekum, A. Cockburn, W. Cunningham, M. Fowler, R.C. Martin, Agile Alliance. (2019a). Agile Manifesto. Corryton, Tennessee, ABD: Agile Alliance. [Online]. Available: <https://www.agilealliance.org/agile101/>. [Accessed: 24 January 2020].

[11] S. Mellor, D. Thomas, J. Grenning, J. Highsmith, A. Hunt, R. Jeffries, J. Kern, B. Marick, K. Schwaber, J. Sutherland, Agile Alliance. Agile Manifesto. (2019b). Corryton, Tennessee, ABD: Agile Alliance. [Online]. Available: <https://www.agilealliance.org/agile101/12-principlesbehind-the-agile-manifesto/>. [Accessed: 24 January 2020].

[12] M. Cohn, "User Stories Applied: For Agile Software Development", Signature: K. Beck, Addison-Wesley, 10th, Boston, 2007.

[13] P. McMahon, "Integrating CMMI and Agile Development: Case Studies and Proven Techniques for Faster Performance Improvement", M. Phillips, Addison-Wesley, 1th, Boston, 2010.

[14] M. Olszewska, J. Heidenbergc, M. Weijolaa, K. Mikkonenc, I. Porres, "Quantitatively measuring a large-scale agile transformation", *Journal of Systems and Software*, vol. 117, pp. 258-273, July 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.03.029>

[15] M. Layton, S.J., Ostermiller, " How to Use the Agile Principles of Customer Satisfaction in Your Project " *Agile Project Management For Dummies*, 2nd Edition, USA, 2017.

[16] M. B. Firdaus, I. M. Patulak, A. Tejawati, A. Bryantama, G. M. Putra and H. S. Pakpahan, "Agile-scrum Software Development Monitoring System," 2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE), Denpasar, Bali, Indonesia: 2019. pp. 288-293.

[17] PwC, Global Top 100 companies by market capitalisation. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/gx/en/audit-services/publications/assets/global-top-100-companies-2019.pdf> [Accessed: 24 January 2020.]

Akif ONUR

He was born in Kütahya, Turkey, on 21 March 1988. He graduated from the Computer Engineering

Department, Istanbul, Turkey, he also had master degree from ICT-Law Programme at Bilgi University ,he is a Ph.D. student in industrial engineering from Istanbul Commerce University. Analytical and solutions oriented Senior professional with 10+ years in both Certified Agile Coach and IT-Strategic Business Project Management. Technical and managerial lead with experience in guiding teams to improve efficiency on time and under budget. He hands on experience with large government transformation programs.

İsmail EKMEKÇİ

He was born in 1957, Bursa. He graduated from Yıldız Technical University (IDMMA) Mechanical Engineering Department in 1980. Higher Mechanical Engineering in 1983 from the same university; Industrial Engineering from Istanbul Technical University in 1984; In 1993, he got the title of doctor in Yıldız Technical University Mechanical Engineering Heat Technique Department. In 1997, Mechanical Eng. He received the title of Associate Professor in Heat Technique Science. Research Assistant in YTU Mechanical Engineering Department between 1981-1996; Between 1997 and 1998, he worked at Sakarya University (SAU) Assist. Assoc. Dr. as; Between 1998 and 2003 as associate professor at SAU; Professor at SAU between 2003-2006. Dr. as; Professor at Marmara University between 2006-2011. Dr. served as; Since 2011, Professor at the Faculty of Engineering and Design, Istanbul Commerce University. Dr. works as. Between 2009 and 2010, he served as the Dean of the Technical Education Faculty at Kırklareli University; Between 2010 and 2011, Marmara University Technical Sciences Vocational School Directorate; Between 2013 and 2014, he served as the Founding Dean of the Faculty of Applied Sciences, Istanbul Commerce University. Heat Technique; Energy; He works on optimization and numerical methods.