

GAZI UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE

PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY



e-ISSN 2147-9526

GAZİ UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE

PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY

Editorial Team

Editor-in-Chief

Güngör BAL, Gazi University

Assistant Editors

Orhan KAPLAN, Gazi University

Associate Editors

Hasan KÖMÜRCÜGİL, Doğu Akdeniz University

Youcef Soufi, University Larbi Tebessi

Mustafa ŞAHMARAN, Hacettepe University

Suat ÖZDEMİR, Hacettepe University

İlyas ÇANKAYA, Ankara Yıldırım Beyazıt University

Metin İPEK, Sakarya University of Applied Science

Sabri ÖZTÜRK, Abant İzzet Baysal University

Saffet AYASUN, Gazi University

Mustafa AKTAŞ, Gazi University

Zafer BARLAS, Sakarya University of Applied Science

Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ, Gazi University

Köksal ERENTÜRK, Atatürk University

Alpay ÖZER, Gazi University

Cevdet Emin EKİNCİ, Fırat University,

Fehim KÖYLÜ, Erciyes University

Cemal KOÇAK, Gazi University

Mehmet DEMİRTAŞ, Gazi University

Orhan KAPLAN, Gazi University

M. Timur AYDEMİR, Kadir Has University

Cemil SUNGUR, Konya Teknik University

Aylin AYTAÇ, Gazi University

Haitham Ebu-Rub, Texas A&M University at Qatar

Alpaslan TURGUT, Dokuz Eylül University

Necmi ALTIN, Gazi University

Adem TATAROĞLU, Gazi University

Zeynel SEFEROĞLU, Gazi University

Çetin KARATAŞ, Gazi University

Can Haşimoğlu, Sakarya University of Applied Science

Mehmet ARSLAN, Karadeniz Technical University

Metin ARSLAN, Ankara University

Fecir DURAN, Gazi University

Hamit SOLMAZ, Gazi University

Mete ÇELİK, Erciyes University

Naci GENÇ, Yalova University

Gürhan İÇÖZ, Gazi University

Murat MAYDA, Karamanoğlu Mehmetbey University

Abdullah Cemil İLÇE, Abant İzzet Baysal University

Mehmet Rıdâ TÜR, Batman University

Mete ÇELİK, Erciyes University

İdris CANDAN, Kocaeli University

Onuralp ULUER, Gazi University

Süleyman ÖZÇELİK, Gazi University

Advisory Board

Jian-Xin Shen, Zhejiang University

Bekir Sami YILBAŞ, King Fahd University

Nesimi ERTUGRUL, University of Adelaide

Mustafa ERSÖZ, Selçuk University

Yusuf ÖZTÜRK, San Diego State University

Ali Fuat BOZ, Sakarya University of Applied Science

Homer RAHNEJAT, University of Central Lancashire

Nesimi ERTUGRUL, University of Adelaide

Behçet GÜLENÇ, Gazi University

İlhan M. KALYON, Stevens Institute of Technology

Fulya ALTIPARMAK, Gazi University

Murat SAATÇIOĞLU, The University of Ottawa

Mustafa M. ARAL, Georgia Institute of Technology

Ramazan BAYINDIR, Gazi University

Homer RAHNEJAT, University of Central Lancashire

Kraria HOCINE, Ferhat Abbas Sétif1 University

Vladimir Katic, University of Novi Sad

H. Serdar YÜCESU, Gazi University

Şemsettin ALTINDAL, Gazi University

Metin GÜRÜ, Gazi University

Fujio KUROKAWA, Nagasaki University

Sanjeevikumar PADMANABAN, Aalborg University

İlhami ÇOLAK, Nişantaşı University

Mehmet Bayram YILDIRIM, Wichita State University

Mustafa İLBAŞ, Gazi University

Orhan BÜYÜKALACA, Çukurova University

Ulvi ŞEKER, Gazi University

Technical Editor

Kenan ÜNAL, Gazi University

Kerim MARTİN, Gazi University

Volume 9 - Issue 2

Determining the Preferences of Office Workers Regarding the Seating Element They Use

Velittin KALINKARA, Kadir ÖZKAYA, Taner DİZEL*

Application Development on Gas Station and Consumers with the Representational State Transfer Approach

Hüseyin POLAT, Saadin OYUCU*

Estimation of Large Household Appliances Stock in the Residential Sector and Forecasting of Stock Electricity Consumption: Ex-Post and Ex-Ante Analyses

Bilal DÜZGÜN, Ramazan BAYINDIR, Merih AYDINALP KÖKSAL*

Investigation of the Standard Deviation of Ornstein-Uhlenbeck Noise in the DDPG Algorithm

*Mustafa Can BINGOL**

Detection of SSL/TLS Implementation Errors in Android Applications

Kaya Emre CİBALIK, Cemal KOÇAK*

Developing of a Virtual MCA to Acquire a Radiation Spectrum

Gözde TEKTAŞ, Cüneyt ÇELİKTAŞ*

A Comparison of Two Discrimination Spectrometers

Elif Ebru ERMIŞ, Cüneyt ÇELİKTAŞ*

Investigation of The Effect of Temperature on The Structural and Magnetic Properties of MgB₂ Superconductor Produced Using Boron Doped with Carbon by CVD Method

Naki KAYA, Şükrü ÇAVDAR, Haluk KORALAY*

An Investigation for the Potential of Biogas to be Produced from Animal Waste in Corum

Sertaç Samed SEYİTOĞLU, Emir AVCIOĞLU*

Investigation of the Relationship Between Power Consumption and Noise Level During Hard Turning of CBN Tools and DIN 1.2367 Steel

*Abidin ŞAHİNOĞLU, Mehtap YAVUZ, Mehmet AKKAŞ**

Free Vibration Analysis of a Functionally Graded Micro-Beam with Tapered Cross Section

Duygu İPCİ, Bora YILDIRIM*

Comparison of Control Techniques for Series Resonant Converter

Salih NACAR, Selim ÖNCÜ, Güngör BAL*

Efficiency and Performance Comparison Between Synchronous Reluctance and Induction Motor in Axial Flux Concept

Harun Serhat GERÇEKÇİOĞLU, Mehmet AKAR*

Design and Implementation of an Analog Controller Based on K-Factor Design Method for a Novel Isolated Z-Source DC-DC Converter with High Voltage Gain

Enes TURAN, Bülent DAĞ, Bünyamin TAMYÜREK, M.Timur AYDEMİR*

The Effects of Cutting Parameters on the Kerf and Surface Roughness on the Electrode in Electro Erosion Process

Ferhat CERİTBİNMEZ, Erdoğan KANCA*

Student Modelling On Language Teaching Based On Bayesian Networks



Selçuk ŞENER, Ali GÜNEŞ*

Investigation of the Effect of Using Fe + Pure Water Nanofluid on Thermal Performance in a Two Phase Closed Thermosiphon

*Kerim MARTİN**



Determining the Preferences of Office Workers Regarding the Seating Element They Use

Velittin KALINKARA , Kadir ÖZKAYA* , Taner DİZEL 

Pamukkale University, Denizli Vocational School of Technical Sciences, Department of Design, 20160, Pamukkale/DENİZLİ

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received:24/09/2020
Revision:19/03/2021
Accepted:23/03/2021

Highlights

- Age – sitting surface.
- The comfort of use.
- Adjustable dimensions.

Keywords

Office Staffs
Sitting Element
User Reviews
Ergonomics

A designer must have a grasp of the preferences and mental perceptions of the target group during the design process. This study was carried out in order to determine the satisfaction levels and discomforts experienced by office workers regarding the seating element they use. Seating element comfort is an important issue for individuals who work sitting for long periods of time. In order to determine these problems, first of all, literature research was conducted and survey questions were prepared. Then, a face-to-face survey was conducted on office workers in three different cities in Turkey and the survey results were evaluated.

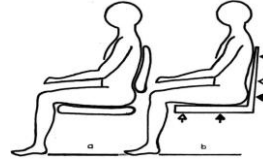


Figure A. Anatomical Adjustment of Sitting Position, A – True, B - False.

Purpose: In this study, it is aimed to reveal the opinions of the employees in office environments about the seating elements they use, and to form an idea for the designers in the designs of the seating elements. For this purpose, in the research, it has been tried to determine the preferences, priorities and discomforts of the office workers about the sitting element they use.

Theory and Methods: The research was conducted on office workers who mostly do their jobs sitting down. For this purpose; Face-to-face interviews were conducted using the questioning technique with 192 office workers from different occupational groups who agreed to participate in the study in three different cities in Turkey (Denizli, İzmir and Hatay). According to the hypotheses put forward, the questions asked in the questionnaire and sample sitting element models were created. In order to get information about the seating elements used by the employees in the research, 12 different seating element models were shown and they were asked to answer the survey questions by choosing the one similar to the model they used.

Results: According to the results obtained; It has been observed that there is a significant relationship between the characteristics of the seating element and the independent variable gender, age group, education level and occupation. In addition, it has been determined that usage features (functionality) are more important than esthetic features in expectations from the seating element. As the age progresses, the proportion of those who want a hard surface in the seating area increases. Those who want soft sponges are mostly in the 18-25 age group. Considering the gender, it was seen that men preferred the use of hard sponges on the seating surface. The results of the survey study are presented and discussed in Chapter 3.

Conclusion: This study was carried out in order to determine the expectations of the employees in the office environment from a sitting element and it was observed that the office workers who use the height-depth adjustable/wheeled-moving models do not have any problems with the sitting elements. In addition, in the design of seating elements, comfort and functionality should be taken into account before aesthetic features. For this reason, a seating element that is compatible with the user's body and increases working efficiency and comfort should be preferred, instead of ergonomically non-functional seating elements.

While designing user-oriented furniture, it is necessary to consider age, gender and occupation criteria.



Determining the Preferences of Office Workers Regarding the Seating Element They Use

Velittin KALINKARA , Kadir ÖZKAYA* , Taner DİZEL 

Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 20160, Pamukkale/DENİZLİ

Abstract

The human body should be comfortable in all actions required by the working environment. Otherwise, problems such as fatigue, decreased job comfort or low productivity will occur. This situation is an important problem especially for individuals such as office staff who work in the same position for a long time. This study was carried out to determine the discomfort and satisfaction levels of office workers with the seating element they use. In this context, a face to face survey was conducted with a total of 192 office employees including 70 female and 122 male in İzmir, Denizli, and Hatay cities. According to the results of the study; it has been shown that the office employees' satisfaction levels from the elements of sitting used by themselves are high and the usage of features in the element of sitting is more important instead of visual features. Besides, it has been observed that the proportion of those who prefer a hard seat surface has increased with age and the office workers who use the models with adjustable height and depth/wheeled-movable do not have any problems with the seating elements.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 24/09/2020
Düzelme: 19/03/2021
Kabul: 23/03/2021

Keywords

Office Staffs
Sitting Element
User Reviews
Ergonomics

Anahtar Kelimeler

Ofis Çalışanları
Oturma Elemanı
Kullanıcı Görüşleri
Ergonomi

Ofis Çalışanlarının Kullandığı Oturma Elemanı ile ilgili Tercihlerinin Belirlenmesi

Öz

İnsan bedeni, çalışma ortamının gerektirdiği tüm eylemlerde rahat olmalıdır. Aksi takdirde yorgunluk, iş konforunun azalması, verim düşüklüğü gibi olumsuzluklar ortaya çıkacaktır. Bu durum özellikle ofis çalışanları gibi uzun süre aynı konumda çalışan bireyler için önemli bir sorundur. Bu çalışma, ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanı ile ilgili memnuniyet durumları ve yaşanan rahatsızlıkların belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu kapsamda; İzmir, Denizli ve Hatay illerinde 70'i kadın, 122'si erkek olmak üzere toplam 192 ofis çalışanı ile yüz yüze anket çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanından memnuniyet düzeylerinin yüksek olduğu, oturma elemanında görsel özellikler yerine kullanım özelliklerinin daha önemli olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca yaş ilerledikçe sert oturma yüzeyini tercih edenlerin oranının arttığı ve yüksekliği ile derinliği ayarlanabilen/tekerlekli-hareketli modelleri kullanan ofis çalışanlarının oturma elemanları ile ilgili sorun yaşamadıkları görülmüştür.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Oturma, yaşamın her döneminde yapılan bireysel ve en temel eylemlerden biridir. Yüzyıllar içinde geçirilen yaşamsal değişiklikler farklı dönemlerde, kültür, mekân ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı oturma alışkanlıklarını da beraberinde getirmiştir [1]. Oturma pozisyonunda yapılan ofis çalışmaları, çalışma süresinin çoğunda kısa yürüme ve aralıklı ayakta durma ile daha çok oturmayı gerektirir. Döşemenin yapısı, oturma yüzeyinin şekli ve sertliği, koltuk ve sırtlığın deformitesi vb. ürünün genel yapısı ile birlikte oturma konforunu ve yorulma düzeyini belirler [2].

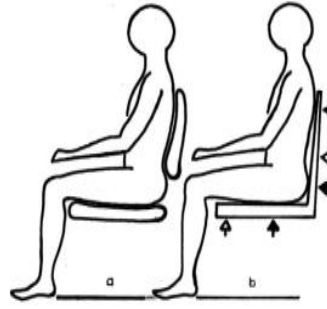
Oturma daha az kas gücü ve enerji tüketimini gerektirdiğinden ve özellikle incelikli işlerde elleri ve kolları sabit konumda tutabilmeyi sağladığından tercih edilir [3]. Tıbbi ve ergonomik çalışmalar, uygun olmayan ayakta durma ve oturma duruşlarına bazen kas ve tendon bağ dokularında, eklem kapsüllerinde

ve bağlarda ağrıların eşlik ettiğini göstermektedir. Bu tür ağrıların romatizmal bozukluklara atfedilen kronik hastalıkların semptomları haline gelebileceğine dair kanıtlar vardır[4]. Son zamanlarda yapılan ortopedik araştırmalar, duruş ve oturuş bozukluklarının intradiskal basınçta aşırı artışlara neden olduğunu ortaya koydu[5]. Grandjean ve Hünting'e (1975) göre oturmak, ayakta durmanın aksine, omurlararası disklere olan baskıyı% 35 kadar artırmaktadır. Ek olarak, uzun süreli oturmanın insan sağlığı üzerinde uzun vadede birçok dezavantajı olabilir [6].Bu ortopedik bulgular, oturma davranışı ve somatik sorunlar üzerine ergonomik araştırmalarla birlikte, dinlenme sandalyeleri ve ofis oturma materyallerinin yapımı için uygun alt yapı sağlar[2].

Oturma elemanları ile ilgili literatür daha çok rahatlık ve rahatsızlık arasındaki fark üzerine yoğunlaşmaktadır [5]. Rahatlık ve rahatsızlık konusundaki mevcut bilgi birikimi sınırlı olmakla birlikte, bu bilgiye duyulan ihtiyaç çok önemlidir [7]. Rahatlık ve rahatsızlık, özellikle iş istasyonları ve sandalyelerin değerlendirilmesi ilgili ergonomik çalışmalarda sıklıkla ölçülür [8]. Rahatlık, bir çevre veya duruma tepki olarak bireyin öznel iyi oluş duygusudur.Oturmada rahatlık ve rahatsızlık ofis çalışanlarının başlıca endişeleridir ve genellikle ofis ortamlarının ergonomik olarak değerlendirilmesini gerektirir [9]. Rahatsızlığa genellikle biyomekanik faktörler ve yorgunluk neden olur. Bu nedenle sandalyeler, çağdaş trendlere ve tasarıma cevap vermenin yanı sıra her şeyden önce kullanıcı için konfor - rahatlık sağlamalıdır. Oturma materyalinin rahatlığını doğru bir şekilde tanımlamak o kadar kolay değildir[5]. Oturma konforu, subjektif bir algı ve duyuşal deneyimdir ve ofis koltuklarının objektif düzenine mutlaka karşılık gelmeyebilir [10,11].Bunun bir nedeni, sandalyelerin ergonomik özelliklerinin sağladığı sınırlı farkındalık ve duyuşal uyarının bilişsel işleme olabilir. Koltuk ve sırtın şekli, minderlerin kalınlığı ve yoğunluğu veya minder kılıfının cinsi gibi ofis koltuklarının özellikleri, doğası gereği esasen dokunsal ve kinestetik olan çeşitli duyuşal etkiler sağlar. Bununla birlikte, bu duyuşal sistemden gelen girdiler, görsel veya işitsel duyuşal sistemden gelen girdilerden daha yaygın ve bütünsel algılar yaratma eğilimindedir [12].Bununla birlikte, oturma rahatlığı ve rahatsızlık iyi tanımlanmadığı için değerlendirmeler yetersizdir. Genel tabirle, rahatlık hem rahatlık hem de rahatsızlık anlamına gelebilir [9].Geçmişte rahatlık yumuşaklıkla ilişkilendirilirken, günümüzde önemli olan insan vücuduna uyum sağlamasıdır. Yumuşak mobilyalar insan vücuduna uyum sağlar, ancak bu gerçek bazı ek sorunları da beraberinde getirir. Çağdaş konforun temel faktörü, vücuda özel bir baskıdır. Ergonomik oturmanın amaçlarından bazıları, bireysel etkinliği artırmak, yorgunluğu azaltmak ve "doğru" oturma pozisyonunu sürdürmektir [5]. İnsan vücudunun temas yüzeyi daha büyük olduğunda bu basınç daha küçüktür. Döşemenin özellikleri rahatlık ve basıncın doğru dağılımı için önemlidir[13,14].

Kısa sürede daha fazla işin tamamlanması için insan, araç ve malzeme arasındaki en uygun ilişkilerin düzenlenmesini amaçlayan ergonomi bilimi, bunu sağlamak için mekân ve ürün tasarımındaki ayrıntılardan yola çıkar[15].Son yıllarda kurum ortamlarına bilgisayarın girmesi, bilgisayar kullanımı ile ilgili ergonomik sorunları da beraberinde getirmiştir. Özellikle gelişmiş ülkelerde üst ekstremité kas-iskelet sistemi rahatsızlarında (KİSR) önemli artışlar söz konusudur. Bu rahatsızlıklar çalışan-donanım uygunsuzluğundan kaynaklanabileceği gibi, kısa - uzun boy, engellilik, aşırı kilo vb. faktörlerden de kaynaklanabilmektedir [16,17,18]. Çalışma yerini ergonomik olarak düzenleyerek yorgunluk ve kas gerilmelerini engellemek, gereksiz hareketleri ortadan kaldırarak konforu artırmak olasıdır [18,19].

Ergonomik oturmanın amaçlarından bazıları, bireysel etkinliği artırmak, yorgunluğu azaltmak ve "doğru" oturma pozisyonunu sürdürmektir. Hatalı oturma materyali ve oturma pozisyonu çalışma sırasında performansın düşmesinin ana nedenidir [5].Kas-iskelet sistemi ile ilgili ağrılar uygun olmayan (sağlıksız) oturma postürü ve uzun süreli çalışma-aşırı yüklenmeden kaynaklanmaktadır. Oturma sınırlamaları kullanıcının sağlığını çeşitli biçimlerde etkiler. Bu etki kronik yapısal bozulmalara, kas ağrısına, abdominal kaslarda gevşemeye, dolaşım sisteminde bozulmaya neden olduğundan, sandalyelerin farklı oturma pozisyonlarına izin vermesi beklenmektedir [20,21]. Dik oturma, omurgaya yaklaşık % 25 daha az yük binmesini sağlar ve birçok sırt problemini önler. Bu nedenle çalışanın doğru pozisyonda oturması sağlanmalıdır (Şekil 1)[15].



Şekil 1. Oturma Pozisyonunun Anatomik Uyumu A - Doğru, B – Yanlış [15,22].

Hiçbir şey ofis masasında geçirilen zamanı gerçek bir eziyete dönüştürmek için, kötü tasarlanmış veya vücuda uymayan bir sandalyede oturaktan daha fazlasını yapamaz. Doğru sandalyeye sahip olmanın önemini gözden kaçırmak kolaydır ve çoğu insan işlerini yerine getirmek için kullanışlı olan sandalyeyi kullanmaya çalışır. Uzmanlar, sandalyenin sağlıklı bir çalışma ortamının belki de en önemli bileşeni olduğu konusunda hemfikirdir. Ergonominin amacı, çalışmayı veya diğer aktiviteleri daha rahat ve üretken hale getirmektir. Ergonomi bilimi, insan vücudundaki kasların ve eklemlerin nasıl hareket ettiğini ve yanlış duruşa nasıl tepki verdiğini öğrendikçe, istenilen görevleri yerine getirmek için daha rahat ve sağlıklı bir yol sağlamak için her türden ürün geliştirilmektedir. Bir sandalyede otururken vücudunun doğru desteğe ve rahatlığa ihtiyacı vardır[23].Uzun süre yanlış sandalyede oturmak bel ağrılarını neden olabilir veya mevcut bir sırt veya boyun problemini kötüleştirebilir. Bu sınırlamaların bir sonucu olarak, oturma sırt, boyun, omuzlar, kollar ve bacaklarda stresi artıran statik bir duruşa neden olabilir [24,25].Yanlış sandalye sırt kaslarına ve omurga disklerine büyük miktarda baskı uygulayabilir [23].Bu nedenle herkesin doğru oturma elemanlarını seçerken dikkate alması gereken pek çok faktör vardır.

Herkesin konfor kriterlerinin farklı olmasından dolayı, ev veya ofis için sandalye seçmek zor bir faaliyettir. Ofis oturma materyallerinin temel işlevi oturmada bireyin konforunu ve sağlıklı oturma pozisyonunu sağlamak olsa da çekici olması da gerekir. Bu, bir tasarımcının tasarım sürecinde hedef grubun tercihlerine ve zihinsel algılarına hakim olması gerektiği anlamına gelir, böylece ürün stili hedef grup tarafından beklenen özellikleri ve duyguları sunabilir. Değişen tüketici alışkanlıkları ve yaşam ortamları ile birlikte, bir kullanıcının bir ürünü kabul etmesi, ürünün işlevlerine ve görünümüne ek olarak rahatlık ve benzersizlik duygusundan etkilenir. Kullanıcılar yavaş yavaş tasarım zevkini ve ürün görünümünü vurgulamaktadır. Tasarımcıların üretim kalitesini artırmanın yanı sıra, farklı kullanıcıların tercihlerine göre şekillendirme estetiğine sahip yeni ofis koltukları yaratmaları gerekiyor [26].

Bu çalışmada, ofis ortamlarında çalışanların, kullandıkları oturma elemanları hakkında görüşlerini ortaya koyarak, bundan sonraki oturma elemanı tasarımlarında tasarımcılara fikir oluşturması hedeflenmiştir. Bu amaçla araştırmada, ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanı ile ilgili tercihleri, öncelikleri ve kullandıkları oturma elemanlarından kaynaklanan rahatsızlıklarının belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışmada yalnızca oturma elemanının seçilmesinin nedeni; ergonomik faktörlerin ve kullanıcı merkezli tasarımın detaylı olarak değerlendirildiği ürün olmasından kaynaklanmaktadır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Soru Formu Tasarımı (Question Form Design)

Ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanı ile ilgili tercihleri, öncelikleri ve kullandıkları oturma elemanlarından kaynaklanan rahatsızlıklarını belirlemek amacıyla mevcut literatür kullanılarak ve yazarların önceki araştırma sonuçlarına dayanarak bir soru formu geliştirilmiştir [27,28]. Soru formu iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışanlara ilişkin demografik bilgiler ve mevcut oturma elemanına ilişkin bilgiler; ikinci bölümde mobilya satın alma ve kullanmaya ilişkin özellikler, ofis oturma elemanlarının yüzeyinde istenen özellikler ve ofis oturma elemanlarıyla ilgili olarak karşılaşılan sorunlarla ilgili sorulardan oluşuyordu. Bireye ilişkin özellikler, mobilya özelliklerinin yordayıcıları olarak

kullanılmıştır. Mobilya satın alma ve kullanmaya ilişkin özellikler kalite, fiyat, kullanılan malzeme, dayanıklılık, diğer mobilyalarla uyumluluk, fonksiyonellik, görsel tasarım, ergonomi, güvenlik, marka, renk ve ekonomiklik tercihlerinde araştırılmıştır. Ofis oturma elemanlarının yüzeyinde istenen özellikler 8 cümleyle verilen “evet” ve “hayır” biçimindeki yanıtlardan oluşmaktadır. Ofis oturma elemanları ile karşılaşılan sorunlar 12 özellik üzerinden incelenmiştir. Uygulamada karşılaşılabilecek zor veya kafa karıştırıcı sorulardan kaçınmak için soru formu önceden test edilerek gerekli revizyonlar yapıldı.

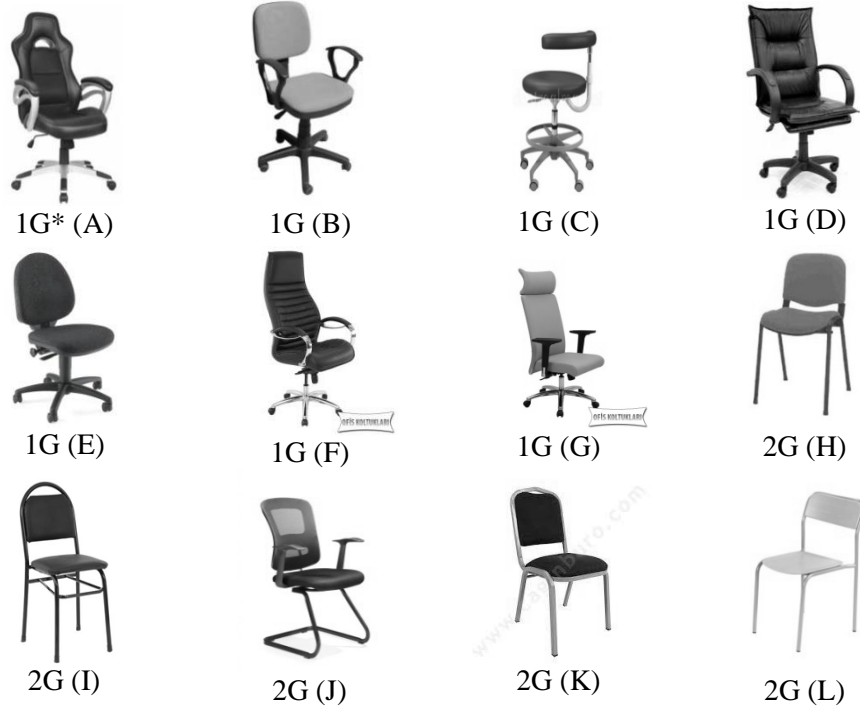
2.2. Örneklem ve Veri Toplama (Sampling and Data Collection)

Araştırma, işlerini çoğunlukla oturarak yapan ofis çalışanları üzerinde yürütülmüştür. Bu amaçla; üç farklı kentte (Denizli, İzmir ve Hatay) çalışmaya katılmayı kabul eden farklı meslek gruplarında 192 ofis çalışanı ile sorgulama tekniği kullanılarak Haziran – Eylül 2019 tarihleri arasında yüz yüze görüşme yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen soru formu uygulamasında Pamukkale Üniversitesi Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu öğrencilerinden her kent için üç kişi olmak üzere dokuz öğrenciden destek alınmıştır. Belirlenen üç kent bölge, kent kültürü ve yaşamı bakımından farklı; iklim, demografik yapı ve sanayi kentleri olması bakımından benzerlik gösterdiği için tercih edilmiştir. Bu şekilde araştırmaya katılan ofis çalışanlarının verdikleri cevapların daha gerçekçi ve Türkiye geneline yönelik daha doğru sonuçlar çıkaracağı düşünülmüştür. Bu çalışmanın odak noktası, ofis çalışanlarının demografik özellikleri ile mevcut oturma elemanlarının özellikleri ve oturma elemanlarından beklentiler arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Test edilecek iki hipotez oluşturduk:

H1: Ofis çalışanları için oturma elemanının işlevi ve konforu estetikten daha önemlidir.

H2: Ofis mobilyalarının satın alınmasında cinsiyet ve beden özellikleri belirleyici faktördür.

Ortaya konan hipotezlere göre, ankette sorulan sorular ve örnek oturma elemanı modelleri oluşturulmuştur. Araştırmada çalışanların kullandıkları oturma elemanları hakkında bilgi almak için onlara 7’si tekerlekli-hareketli, 5’i tekerleksiz-sabit olmak üzere 12 farklı oturma elemanı modeli gösterildi (A’dan L’ye) ve kullandıkları modele yakın olanını belirtmeleri istendi (Şekil 2). Oturma elemanları tekerlekli-hareketli (1) ve tekerleksiz-sabit (2) olarak iki grupta ele alındı. Bu sandalyelerden A-G arasında olanlar 1G grubunu, H-L arasında olanlar 2G grubunu oluşturdu.



*1G: Tekerlekli-Hareketli, 2G: Tekerleksiz-Sabit

Şekil 2. Kullanıcıların çalışma ortamında kullandıkları oturma elemanları

2.3. Veri Analizi(Data Analysis)

İstatistiksel değerlendirmeler 1G ve 2G sınıflamasına ve oturma elemanından kaynaklanan rahatsızlık durumuna ve bireyin cinsiyet, yaş grubu, eğitim düzeyi ve meslek grubu değişkenleri dikkate alınarak yapıldı. Oturma elemanının kalite, fiyat, kullanılan malzeme, dayanıklılık, diğer mobilyalarla uyumluluk, fonksiyonellik, görsel tasarım, ergonomi, güvenlik, marka, renk ve ekonomiklik faktörleri, tüketiciler tarafından bir satın alma kararının nasıl alındığı araştırmaya dahil edildi ve önemlilik sırasına göre - *en önemli ve en önemsiz üç özellik* - derecelendirmeleri istendi. Veriler, istatistiksel yazılım SPSS 18 kullanılarak analiz edildi. Nitel veriler (demografik özellikler), frekans farklılıklarının önemini değerlendirmek için Pearson'ın khi kare bağımsızlık testi (bir $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde) kullanılarak işlendi.

Araştırmadan elde edilen sonuçların, ofis mobilyaları üretimi yapan işletmeler için oturma elemanlarının tasarımında yararlı olabileceği ve bu konuda veri tabanı oluşturabileceği düşünülmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1. Ofis Çalışanlarına İlişkin Genel Bilgiler (General Information on Office Workers)

Ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanına dönük tercihleri, öncelikleri ve kullandıkları oturma elemanlarından kaynaklanan rahatsızlıklarını belirlemek amacıyla yapılan bu araştırmaya İzmir (% 26), Denizli (% 51,6) ve Hatay (% 22,4) illerinden 70'i kadın, 122'si erkek olmak üzere farklı mesleklerden toplam 192 çalışan alınmıştır. Çalışanların % 24'ü 18-25 yaş, % 39,1'i 26-35 yaş, % 25,0'i 36-45 yaş ve % 12'si 46+ yaş grubundan oluşmaktadır. Bunların % 7,3'ü ilköğretim, % 31,8'i lise, % 47,4'ü lisans ve % 13,5'i lisansüstü eğitim görmüştür. Yarıdan çoğu idari personel veya yönetici (% 57.3) olup gün boyu oturma elemanı kullanmaktadır (Tablo 1). Ofis çalışanlarının % 28.6'sı oturma materyalinden kaynaklanan bedensel sorunlar yaşamaktadır. Oturma elemanından kaynaklanan bedensel sorunlar kamu ve özel sektör çalışanlarında, özellikle yönetim kadrosundaki bireylerde daha yüksektir. Boy uzunluğu ortalamasının üzerinde (170+ cm) olanlarda (% 74.6) ve beden ağırlığı 70 kg üzerindeki bireylerde rahatsızlıkların daha yüksek olduğu (% 60.0) görülmektedir. Oturma materyalinden kaynaklanan rahatsızlıklar erkeklerde (% 74.5) kadınlardan (% 25.5) daha yüksektir ($F= 4,029$ $p < ,031$). Karşılaşılan rahatsızlıklar arasında bel ağrısı, boyun ağrısı, sırt ağrısı, omuz ve üst kol ağrısı en fazla karşılaşılan rahatsızlıklar arasındadır. Yine konum değiştirmeye olanak vermeyen oturma elemanları ve uzun süre sabit oturmaktan kaynaklanan basen bölgesi ve uyluk bölgesi rahatsızlıkları da bunları izlemektedir.

Tablo 1. Araştırmaya katılan kullanıcılara ilişkin bilgiler

Kullanıcı Bilgileri		Sayı	%
Çalışma yeri	Kamu kuruluşu	28	14,6
	Özel sektör	116	60,4
	Üniversite	28	14,6
	Öğrenci	20	10,4
	Yönetici	49	25,5
İşyerindeki konumu	İdari personel	61	31,8
	Satış danışmanı	35	18,2
	Akademik personel	29	15,1
	Diğer	18	9,4
Kullanılan oturma elemanı	Tekerlekli-hareketli (G1)	175	91,1
	Tekerleksiz-sabit (G2)	17	8,9

3.2. Oturma Elemanlarına İlişkin Bilgiler (Information on Seating Elements)

Çalışanların kullandıkları oturma elemanları hakkında bilgi almak için kendilerine iki grupta ele alınan (1G ve 2G) 12 farklı oturma elemanı modeli gösterilmiş ve kullandıkları modele yakın olanı belirtmeleri istenmiştir.

Şekil 2'den anlaşılacağı gibi 1G grubuna dahil edilen modellerden en fazla kullanılan ikinci ve dördüncü sırada verilen B ve D'dir. Buna karşılık 2G grubuna dahil edilenler birbirine daha yakın değerlerdedir ve oran olarak da düşüktür. Toplamda oturma elemanlarının % 91.1'i 1G grubunda yer almaktadır ve tekerlekli'dir. Buna karşılık 2G grubundayer alan sabit oturma elemanlarının oranı % 8.9'dur (Tablo 1). Bu oturma elemanlarından en çok kullanılan, kumaş kaplanmış / plastik kolçaklı / bel desteksiz / hareketli-5 tekerlekli / yüksekliği ayarlanabilir özelliklere sahip oturma elemanı (% 30,2) ve deri kaplama malzemeli / deri kolçaklı / bel destekli / hareketli-5 tekerlekli / yüksekliği ayarlanabilir özelliklere sahip oturma elemanıdır (% 28,1). Buna göre son yıllarda oturma elemanı olarak tercih hareketli, yüksekliği ayarlanabilir, kolçaklı, kaplamalı ve bel desteği olan materyaller yönündedir.

3.3. Mevcut Oturma Elemanlarına İlişkin Görüşler (Opinions on Available Seating Elements)

Araştırmaya alınan ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanlarından duydukları memnuniyet ve rahatsızlık durumu istatistiksel olarak irdelenmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Oturma elemanı özelliklerine ilişkin olarak memnuniyet, yüksekliğin ayarlanabilme durumu, yüzeyin dokusu, arkalığın ayarlanabilme durumu, oturma yüzeyinin sabit / hareketli olma durumu, oturma yüzeyinden kaynaklanan rahatsızlıklar bu bölümde ele alınmıştır. Bunlardan istatistiksel olarak anlamlı olan memnuniyet ve rahatsızlık Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanıcıların ofislerde kullandıkları oturma elemanları modellerinden memnuniyet ve rahatsızlık düzeyleri

Oturma elemanı özellikleri		Oturma elemanı modeli				χ^2
		1G(n=175)		2G(n=17)		
		N	%	N	%	
Oturma elemanından memnuniyet	Olumlu	137	78,3	9	52,9	5,463*
	Olumsuz	38	21,7	8	47,1	
Yükseklik ayarlanabilir mi?	Evet	161	92,0	7	41,2	36,593**
	Hayır	14	8,0	10	58,8	
Yüzey yumuşak dokulu mu?	Evet	140	80,0	11	64,7	2,158
	Hayır	35	20,0	6	35,3	
Arkalık ayarlanabilir mi?	Evet	123	70,3	4	23,5	15,127**
	Hayır	52	29,7	13	76,5	
Oturma yüzeyi sabit mi?	Evet	115	65,7	14	82,4	1,946
	Hayır	60	34,3	3	17,6	
Oturma elemanından rahatsızlık duyma	Evet	46	26,3	9	52,9	5,386*
	Hayır	129	73,7	8	47,1	

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

Tablo 2'ye göre; ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanlarından memnuniyetleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Hareketli oturma elemanlarından duyulan memnuniyet sabit olanlara göre daha yüksektir. Benzer şekilde oturma elemanlarından duyulan rahatsızlık düzeyleri arasındaki fark da istatistiksel olarak anlamlıdır. Buna göre; tekerlekli-hareketli oturma

elemanların kullanan çalışanların kullandıkları modelden memnun oldukları (% 78,3) ve çoğunluğun (% 73,7) rahatsızlık duymadıkları görülmüştür. Ancak tekerleksiz-sabit oturma elemanı kullanan çalışanların kullandıkları oturma elemanlarının modelinden memnuniyet (% 52,9) ve memnuniyetsizlikleri (% 47,1) birbirine yakın değerlerdedir.

2G sınıfı oturma materyallerinde oturanlarda (% 52,9) bedensel rahatsızlıklar, 1G'den (% 26,3) daha yüksektir ($F=5,386$ $p< ,024$). Yüksekliği ayarlanabilir olanlarda karşılaşılan rahatsızlık (% 25,0 / % 54,2) daha düşüktür ($F=8,740$ $p< ,004$). Sert dokulu yüzeylerde karşılaşılan rahatsızlıklar da daha yüksektir ($F=4,190$ $p< ,034$). Arkalığın ayarlanabilir olduğu durumlarda (% 23,6) bedensel rahatsızlıklar ayarlanamayanlarda oturanlara (% 38,5) göre daha düşüktür. Yüzeyin her iki gruptaki oturma elemanlarında sabit olması durumunda bedensel rahatsızlıklar değişmemektedir ($p> 0,05$).

Ofis çalışanlarının oturma elemanlarında karşılaştığı başlıca sorunlar Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de görüldüğü gibi ofis çalışanlarının oturma elemanlarında en çok karşılaştıkları sorunların başında oturma elemanı tekerleklerinin işlevini kaybetmesi (% 71,4) gelmektedir. Bunu sırasıyla döşeme süngerinin çökmesi / özelliğini kaybetmesi (% 64,1) ve kullanım sırasında istenmeyen sesler çıkarması (% 62,0) izlemektedir. Bu sonuç kullanıcının estetik görünümünden çok kullanım konforunu bozan sorunlara daha çok önem verdiklerini göstermektedir.

Tablo 3. Ofis oturma elemanlarında kullanıcıların karşılaştığı sorunlar (n=192)

Sorunlar	Sayı	%
Tekerleklerin işlevini kaybetmesi / kırılması	137	71,4
Döşeme süngerinin çökmesi / özelliğini kaybetmesi	123	64,1
Kullanım sırasında istenmeyen sesler çıkarması	119	62,0
Kumaş yıpranması	107	55,7
Hareket mekanizmalarının bozulması (öne-arkaya/aşağı-yukarı)	103	53,6
Kolçakların özelliğini kaybederek sağa-sola sallanması	86	44,8
Mobilyanın ek yerlerinde açılma / kırılma	84	43,8
Boya/vernikte solma-dökülme olması	79	41,1
Metal parçalarla ilgili sorunlar	77	40,1
Kumaşın dikiş yerlerinin açılması	76	39,6
Dengesizlik nedeniyle düşmeye neden olması	60	31,3
Kolçağın yüksek/alçak olması	59	30,7

Dengesizlik nedeniyle düşmeye neden olması ve kolçak yüksekliğinin uygun olmaması gibi ergonomik sorunlar ise daha az önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Ergonomi benim için önemli diyenlerin % 31,9'u oturma elemanının dengesizlik nedeniyle düşmeye neden olmasından, % 31,3'ü de kolçağın yüksekliğinden şikâyet etmektedir. Bu sonuçlara göre diğer kullanıcıların oturma elemanının ergonomik özelliklerinden memnun oldukları söylenebilir.

Tablo 4. Ofis oturma elemanı satın alırken dikkat edilen özellikler

Özellikler	En önemli		En önemsiz	
	Sayı	%	Sayı	%
Kalite	157 (1)	81,8	10	5,2
Dayanıklılık	122 (2)	63,5	14	7,3
Ergonomi	102 (3)	53,1	19	9,9
Kullanılan malzeme	92	47,9	23	12,0
Fiyat	91	47,4	59	30,7
Fonksiyonellik (işlevsellik)	86	44,8	30	15,6
Görsel tasarım	70	36,5	54	28,1
Güvenlik	68	35,4	32	16,7
Ekonomiklik	62	32,3	47	24,5
Diğer mobilyalarla uyumluluk	60	31,3	62 (3)	32,3
Renk	50	26,0	93 (2)	48,4
Marka	35	18,2	105 (1)	54,7

Katılımcılardan oturma elemanları ile ilgili en önemli ve en önemsiz üçer özelliği sıralamaları istenmiştir. Tablo 4’den de anlaşılacağı gibi ofis çalışanlarının oturma elemanı satın alırken dikkat ettikleri en önemli özellikler kalite (% 81,8), dayanıklılık (% 63,5) ve ergonomidir (% 53,1). Buna karşılık marka (% 54,7), renk (% 48,4) ve diğer mobilyalarla uyumluluk (% 32,3) ise en az dikkat edilen özellikler arasında yer almaktadır. Ofis çalışanlarının oturma elemanı tercihinde görsel özelliklerden çok işlevsel özellikleri tercih etmesi, oturma elemanı tasarımında bu özelliklerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca birçok ürün grubunda fiyat önemli bir özellik olmasına karşın oturma elemanında orta sıralarda yer almaktadır.

Oturma elemanlarından istenen kullanım özelliklerinin ofis çalışanlarının demografik özelliklerine göre değerlendirilmesi Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Ofis oturma elemanından istenen kullanım özellikleri ve bağımsız değişkenlerin etkisi (χ^2)

İstenen mobilya özellikleri	Cinsiyet	Yaş Grubu	Eğitim Düzeyi	Meslek Grubu
Sert sünger kullanılmalı	7,011**	16,710**	2,364	1,198
Yumuşak sünger kullanılmalı	4,096*	16.184**	1,361	2,803
Kullanılan döşeme (kılıf) değiştirilebilmeli	0,200	1,093	1,405	3,307
Kullanılan döşeme sabit, malzeme istenilen özellikte olmalı	1,053	5,103	3,760	2,307
Sabit bir eksen etrafında çok az güç harcanarak kullanılabilirmeli	0,290	4,028	3,922	3,766
Yer düzlemi ile yaptığı açı ayarlanabilirmeli	0,005	0,392	5,374	2,624
Genişlik ayarlanabilirmeli	0,041	0,927	3,460	9,426*
Derinlik ayarlanabilirmeli	0,160	2,944	8,148*	10,372*

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Tablo 5'e göre; oturma fontunda sert sünger kullanılmalı diyenler cinsiyet ($p < 0,01$) ve yaş grubuna göre farklılık göstermektedir ($p < 0,01$). Yapılan çalışmalarda rahat oturma için yumuşak yüzeyler önerilmesine karşın bu çalışmada sert yüzey istenen bir özelliktir. Erkekler oturma elemanı yüzeyinde sert sünger kullanılmasını istemektedirler. Benzer şekilde yaş ilerledikçe sert yüzey isteyenlerin oranı artmakta, bu artış 46 ve daha ileri yaştaki bireylerde diğerlerine göre büyük artış göstermektedir. Oturma elemanı yüzeyinde yumuşak sünger isteyenler ise daha çok 18-25 yaş grubundadır.

Oturma elemanı "genişliği ayarlanabilmeli" diyenler meslek grubuna göre farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). Günün önemli bölümünü oturarak geçiren akademisyenler ve öğrenciler oturma genişliğinin ayarlanmasından yana görüş bildirmişlerdir. Buna karşılık özel sektör çalışanlarında ve memurlarda bu oran oldukça düşük bulunmuştur. "Derinlik ayarlanabilmeli" diyenler ise eğitim düzeyi ve meslek grubuna göre farklılık göstermektedir ($p < 0,05$). Derinlik ayarlanabilmeli diyenler eğitim düzeyi yükseldikçe artmakta, bu lisans ve lisansüstü eğitim alanlarda en yüksek olmaktadır. Derinlik ayarlanabilmeli diyenler akademisyenlerde en yüksek olup bu oran % 89.3 olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre; oturma elemanı özellikleri ile bağımsız değişken olan cinsiyet, yaş grubu, eğitim düzeyi ve meslek arasında anlamlı bir ilişki olduğu, ancak bunun tüm oturma elemanı özelliklerini içermediği anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Ofis ortamında oturarak çalışanların kullandıkları oturma elemanında karşılaştıkları rahatsızlıklar ve bir oturma elemanından beklentilerini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada ofis çalışanlarının kullandıkları oturma elemanından memnuniyet düzeylerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Oturma elemanından beklentilerde kullanım özellikleri (işlevsellik) görsel özelliklerden daha önemlidir. Buna göre, ofis oturma elemanı tasarımında estetik özelliklerden önce konfor ve işlevselliğe dayalı özelliklerin dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Yapılan çalışmalarda ofis oturma elemanı tasarımında oturma yerinin, bel boşluğunun, kolların ve yüksekliğin insan vücudunun boyutsal (antropometrik) ölçüleri ile uyum sağlamanın önemli olduğu belirtilmektedir [21]. Bu çalışmada da yüksekliği ve derinliği ayarlanabilen / tekerlekli-hareketli modelleri kullanan ofis çalışanlarının oturma elemanları ile ilgili sorun yaşamadıkları görülmüştür. Bu nedenle ergonomik olarak işlevsel olmayan oturma elemanları değiştirilerek, insan vücuduna uyan, verimlilik ve konforu artıran bir çalışma ortamı sağlanabilir. Chandwani vd. (2019) tarafından ofis çalışanları üzerinde yapılan çalışma katılımcıların % 80'inin işyerinde en az bir kas-iskelet sistemi sorunu yaşadığını ortaya koymuştur. Araştırmaya katılanların çoğunluğu bel ağrısı, ardından sırasıyla boyun ağrısı, üst sırt ağrısı ve omuz ağrısı olduğunu bildirmiştir. Bu sonuçlar araştırma bulgularını destekler niteliktedir [29]. Ofis çalışanları üzerinde yapılan benzer bir çalışmada, bilgisayar çalışması sırasında baş pozisyonu ve boyun ağrısı arasında önemli bir ilişki bildirilmiştir[30]. Başka bir çalışmada da benzer bulgular bildirilmiştir; boyun, sırt, omuz ve kol ağrısı gibi kas-iskelet sistemi sorunları önemliydi[31,32]. Literatür ayrıca bilgisayar kullanım süresi ile üst ekstremité ağrısı, sırt ağrısı ve göz yorgunluğu arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum Yıldırım ve Akalın (2007)'in yaptığı araştırma sonuçlarıyla da benzerlik göstermektedir [33].

Kullanıcı odaklı mobilya tasarımı yaparken yaş, cinsiyet ve meslek kriterlerini dikkate almak gerekmektedir. Ofis ortamı için mobilya tasarımı yapılırken kullanıcının özelliklerinin önemli olduğu ve görüşlerinin alınmasının gerekliliği El-Zeiny (2012) ve Çağatay vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur[34,35].

Mobilya satın alma ile ilgili pek çok çalışmada da fiyat en önemli faktördür, bunu güzellik ve estetik duygusu izlemektedir. Mobilya ile çalışmalarda da tüketicilerin mobilya seçiminde bu üç faktör sıralamada en üstte yer almıştır [36]. Kullanıcılar için ofis sandalyesi, hem estetik kaygı, hem de işlevsellik açısından önemlidir. Kullanıcı tatmini de, en az ürünün işlevi kadar önemlidir. Çoğu zaman,

kullanıcı memnuniyeti bir ürünün hem görünümü hem de işlevselliği ile yakından ilgili olmaktadır [1,37,38].

Ofis ortamlarında uzun süreli oturma ve bilgisayar kullanımı temel çalışma biçimidir. Bu nedenle ofisler bu iki eylemi merkeze alarak ergonomik olarak tasarlanmalıdır. Bu mekanlarda ergonomi standartları, yönergeleri ve önerileri günümüzde kolayca ulaşılabilmesine rağmen zorunlu bir ön koşul değildir [39]. Ancak son yıllarda çalışanların sağlığına olumsuz etkilerin ortaya konduğu araştırmalar gösteriyor ki ilgili standart ve yönetmeliklerin acil revizyonu ve değiştirilmesi son derece önemlidir.

Türkiye’de ofis oturma elemanı konusundaki teknik araştırma ve çözümler, kullanıcı özelinde olmamaktadır [21]. Bu çalışma genel değerlendirmeyi amaçlayan pilot çalışma niteliği taşımaktadır. Analizler sonucunda belirlenen unsurların daha sonraki çalışmalar için bir yöntem ve farklı bir bakış açısı kazandıracakı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Göker,M.(2009). Türklerde oturma elemanlarının tarihsel gelişim süreci, ZfWT Journal of World of Turks, 1(1), 163-169.
- [2] Vlaovic, Z., Domljan, D., Zupcic, I.,& Grbac, I.(2016).Evaluation of office chair comfort, Drvna Industrija, 67(2), 171-176.
- [3] Lueder, R. (2004). “Ergonomics of seated movement, A review of the scientific literature: Considerations relevant to the SumTM chair”, www.humanics-es.com.
- [4] Grandjean, E.,&Hünting, W.(1977). Ergonomics of posture--review of various problems of standing and sitting posture, Applied Ergonomics, 8(3), 135-140.
- [5] Huang, M., Hajizadeh, K., Gibson, I.,&Lee, T.(2016).Analysis of compressive load on intervertebral joint in standing and sitting postures, Technology and Health Care, 24(2), 215-223.
- [6] Van Deursen, L.L.,Patijn, J., Durinck, J.R.,Brouwer, R.,Van Erven-Sommers, J.R.,&Vortman, B. J. (1998).Sitting and low back pain: The positive effect of rotatory dynamic stimuli during prolonged sitting. European Spine Journal, 83, 187-193.
- [7] Vink, P.,&Hallbeck, S.(2012). Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model, Applied Ergonomics, 43, 271-276.
- [8] Helander,M.G.,&Zhang, L.(1997).Field studies of comfort and discomfort in sitting. Applied Ergonomics, 40(9), 895-915.
- [9] Zhang, L., &Helander, M.G. (1996).Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. Human factors, 38(3),377-389.
- [10] Legg, S. J.,Mackie, H. W.,&Millicich, W.(2002).Evaluation of a prototype multi-posture office chair, Ergonomics, 45, 153–163.
- [11] Looze de, M. P.,Kuijt-Evers, L. F. M.,&Van Dieen, J.(2003). Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, Ergonomics, 46, 985–997.
- [12] Mueller, G. F.,&Hassenzahl, M.(2010).Sitting comfort of ergonomic office chairs—developed versus intuitive evaluation, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), 16(3), 369–374.
- [13] Ergic, T.(2002).Contribution to Research in Pressure Distribution on Contact Surfaces, Doctoral Thesis, University of Zagreb.
- [14] Grbac, I.,&Ivelic, Z. (2005).Upholstered furniture, University of Zagreb, Faculty of Forestry, Academy of Forestry Science, Zagreb.

- [15] Yetiz, A. (2009).Ofis Mobilyaları ve Ofis Mobilyalarının Tasarımını Etkileyen Ergonomi Faktörünün İncelenmesi - Adana'da Bir Banka Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [16] Gerr, F., Marcus, M., Monteilh, C., Hannan, L., Ortiz, D.,&Kleinbaum, D.(2005).A randomised controlled trial of postural interventions for prevention of musculoskeletal symptoms among computer users. *Occup. Environ. Med.*, 62(7), 478- 487.
- [17] OHS, (2013).Computer Workstations: Design and Adjustment, OH&S Training Module, Australia: The University of Queensland.
- [18] Kalinkara, V.,Sari, İ.,&Ozer, İ.(2016).Work-related musculoskeletal disorders and ergonomic risk factors in VDT workers. *Sylwan Journal*, 1, 477-488.
- [19] Baslo, M. (2002). Ofis ergonomisi-sırt ve boyun ağrılarını önlemek için ofis ortamını düzenlemek, İ. Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri, Baş-Boyun-Bel Ağrıları Sempozyum Dizisi, No: 30, İstanbul-Türkiye, 155-165.
- [20] Lueder, R. (2004). "Ergonomics of sitting and seating: the case for and against movement for its own sake, An Ergonomics review of the literature for Allsteel Seating", www.humanics-es.com/movement-ergonomics.htm
- [21] Öktem, B. (2014).Türkiye'de Ofis Mobilyası Sektöründe Kullanıcı Odaklı Tasarım: Ofis Sandalyesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] Haslegrave, C. (1994).What do we mean by a 'working posture'.*Ergonomics*, 37(4), 781-799.
- [23] Korell, L. "Buying the right chair for fit and comfort",www.heavenlyseating.com/pdf/Buying-the-right-chair-for-fit-and-comfort.pdf.
- [24] Smardzewski, J., Wilk, D.,&Pirog, A.(2014).Evaluation of seat comfort of office armchairs: An impact of articulated seat support and gas spring. *Drvna Industrija*, 65(3), 183-189.
- [25] Fernandez, J. E.,Agarwal, R.,Landwehr, H. R.,Poonawala, M. F.,&Garcia, D. T.(1999).The effects of arm supports during light assembly and computer work tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(5), 493-502.
- [26] Ko, Y-C.,Lee, C-H., &Chen C-C. (2018). Influence of personality traits on consumer preferences: The case of office chair selection by attractiveness. *Sustainability*, 10(11), 4183.
- [27] Kalinkara, V. (2016).Evle ilgili mobilyaların satın alınmasına yönelik tüketici davranışları. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 20(1), 233-247.
- [28] Kaputa, V., Pirc Barcic, A., Matova, H.,&Motik, D. (2018).Consumer preferences for wooden furniture in Croatia and Slovakia. *BioResources*, 13(3), 6280-6299.
- [29] Chandwani, A., Chauhan, M. K.,&Bhatnagar, A.(2019).Ergonomics assessment of office desk workers working in corporate offices. *International Journal of Health Sciences and Research*, 9(8), 367-375.
- [30] Chiu, T. T.,Ku, W. Y.,Lee, M. H.,Sum, W. K.,Wan, M. P.,Wong, C. Y.,&Yuen, C. K. A. (2002).Study on the prevalence of and risk factors for neck pain among university academic staff in Hong Kong. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 12(2), 77-91.
- [31] Ye, Z. Abe, Y. Kusano, Y. Takamura, N. Eida, K. Takemoto, T. et al.(2007).The influence of visual display terminal use on the physical and mental conditions of administrative staff in Japan. *Journal of Physiological Anthropology*. 26(2), 69-73.

- [32] Shikdar, A. A., & Al-Kindi, M. A. (2007). Office ergonomics: Deficiencies in computer workstation design, *International Journal of Occupational Health and Ergonomics*, 13(2), 215-223.
- [33] Yıldırım, K., & Akalın – Baskaya, A. (2007). Perceived crowding in a cafe/restaurant with different seating densities. *Building and Environment*, 42, 3410 – 3417.
- [34] El-Zeiny, R.M.A. (2012). The interior design of workplace and its impact on employees' performance: A case study of the private sector corporations in Egypt. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 35, 746 – 756.
- [35] Çağatay, K., Yıldırım, K., Gökbulut, N., & Subaşı, T. (2017). The effects of interior design in open offices on employee's motivation. *Mugla Journal of Science and Technology*, 3(1), 20-26.
- [36] Troian, D. (2011). Furniture Industry: The Consumers Furniture Preferences in Different Markets, Master Thesis, Trento University, Trento-Italy.
- [37] Dandavate, U., Sanders, E. B. N., & Stuart, S. (1996). Emotions matter: user empathy in the product development process. *Proceedings of the human factors and ergonomics society 40th annual meeting*, Philadelphia-USA, 415–418.
- [38] Yang, S., Nagamachi, M., & Lee, S. (1999). Rule-based inference model for the kansei engineering system. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 459-471.
- [39] Woo, E. H. C., White, P., & Lai, C. W. K. (2016). Ergonomics standards and guidelines for computer workstation design and the impact on users' health – a review. *Ergonomics*, 59(3), 464 – 475.

Application Development on Gas Station and Consumers with the Representational State Transfer Approach

Hüseyin POLAT^{1,*}  Saadin OYUCU² 

¹Gazi University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 02230, Merkez/ADIYAMAN

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 03.12.2020
Revision: 22.12.2020
Accepted: 31.12.2020

Highlights

- JSON.
- MongoDB.
- Location Services.

Keywords

Web Services
REST
NoSQL
AngularJS
Mobile Application

In this study, a system is proposed to provide interaction and communication between fuel stations and fuel consumers. In the proposed system, there are two basic layers as backend and frontend.

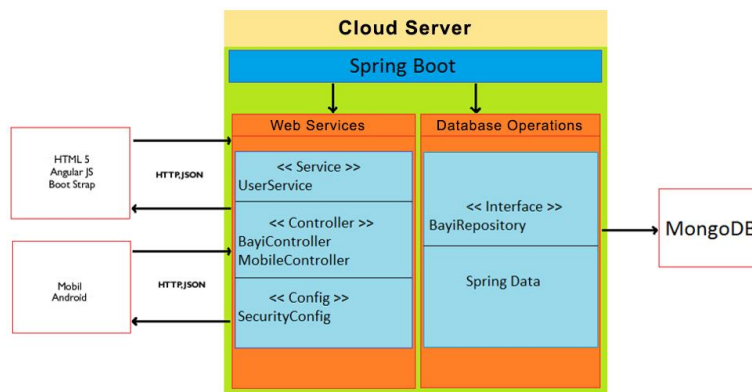


Figure A. Client and web service infrastructure of the proposed system

Purpose: In the backend, web services have been developed with the Representational State Transfer (REST) approach [2]. With the help of the developed web services, more than one fuel station and more than one user can perform transactions simultaneously. Through the developed web interface, fuel stations can save their services and fuel prices to the system. Consumers, on the other hand, can instantly monitor the services offered by fuel stations and fuel prices via the developed web interface or mobile application.

Theory and Methods: The proposed system requires the use of different technologies together. For this reason, the materials and methods used in the development of the proposed system are explained in detail under different headings. Web services, interface development library, non-relational database, location and mapping services are explained in detail.

Results: The basis of the proposed system is the web service structure. The developed web services are based on REST. The web interface is developed using AngularJS and HTML. A mobile application has been developed for users to access this system more easily and to benefit from the possibilities of mobile systems. The developed mobile application provides access to REST web services with its internet infrastructure, and web services to the database when necessary. JSON data format is preferred as a data structure. Thus, more efficient and faster data communication is provided.

Conclusion: In the usage tests of the developed system, it has been seen that the web services provide smooth service on mobile and web platforms. Thanks to the platform-independent operation of the system, it has been ensured that it can be integrated into different applications. The security of the web services is provided by using Spring security components by preferring the Spring Boot framework. With the proposed system, not only a system that will serve gas stations but also an architectural structure that will be used in different areas of use has been presented.



Application Development on Gas Station and Consumers with the Representational State Transfer Approach

Hüseyin POLAT^{1,*} Saadin OYUCU²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 02230, Merkez/ADYAMAN

Abstract

Although Turkey is close to countries with rich oil deposits, it is among the countries that use expensive fuel oil. This situation forces consumers to save on fuel expenditures. On the other hand, the high number of fuel stations and the variety of fuel products cause fuel stations to offer different services and prices in a competitive environment. This change in the services and prices offered affects the preferences of the consumers of the fuel stations. However, consumers should have more detailed information about fuel stations. In this study, an application model is proposed to provide communication and interaction between fuel stations and fuel consumers. For this purpose fuel prices and service information provided by the stations were sent to servers in the cloud using a representative state transfer approach. Then this information on cloud servers has been presented to consumers through developed web service, web interface and mobile application. In this way, services and fuel prices provided by fuel stations were monitored via web browsers and smartphones. On account of the proposed application model, the stations that are closest to the consumer, where they can find the service they want, and that offer the lowest fuel price, can be easily identified.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
 Başvuru: 03.12.2020
 Düzeltilme: 22.12.2020
 Kabul: 31.12.2020

Keywords

Web Services
 REST
 NoSQL
 AngularJS
 Mobile Application

Anahtar Kelimeler

Web Servisler
 REST
 NoSQL
 AngularJS
 Mobil Uygulama

Temsili Durum Transferi Yaklaşımı ile Akaryakıt İstasyonu ve Tüketicileri Üzerine Uygulama Geliştirme

Öz

Türkiye zengin petrol yataklarına sahip ülkelere yakın olmasına rağmen pahalı akaryakıt kullanan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu durum tüketicileri yakıt harcamalarında tasarruf etmeye zorlamaktadır. Öte yandan akaryakıt istasyonlarının çokluğu ve akaryakıt ürünlerinin çeşitliliği, akaryakıt istasyonlarının rekabet ortamında farklı hizmet ve fiyatlar sunmasına neden olmaktadır. Sunulan hizmet ve fiyatlardaki bu değişiklik tüketicilerin akaryakıt istasyonları tercihlerini etkilemektedir. Ancak tüketicilerin akaryakıt istasyonları hakkında daha detaylı bilgiye sahip olmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, akaryakıt istasyonları ile akaryakıt tüketicileri arasındaki iletişim ve etkileşimi sağlamak için bir uygulama modeli önerilmiştir. Bu amaçla istasyonlar tarafından sağlanan akaryakıt fiyatları ve hizmet bilgileri temsili durum transferi yaklaşımı kullanılarak buluttaki sunuculara gönderilmiştir. Daha sonra bulut sunucuları üzerindeki bu bilgiler, geliştirilen web servisi, web ara yüzü ve mobil uygulama aracılığıyla tüketicilere sunulmuştur. Bu sayede akaryakıt istasyonlarının sunduğu hizmetler ve akaryakıt fiyatları web tarayıcıları ve akıllı telefonlar üzerinden takip edildi. Önerilen uygulama modeli sayesinde tüketiciye en yakın, istediği hizmeti bulabileceği ve en düşük akaryakıt fiyatını sunan istasyonlar kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akaryakıt istasyonlarının sağladığı hizmetlerin ve akaryakıt fiyatlarının farklı istasyonlarda değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Örneğin bir akaryakıt istasyonu engelli tuvaleti hizmeti, ibadethane ve çocuk bakım odası gibi hizmetler sunarken, başka bir akaryakıt istasyonu bu hizmetleri sağlamayabilir. Akaryakıt istasyonlarının sunduğu hizmetlerin akaryakıt tüketicileri tarafından bilinmesi, akaryakıt

istasyonlarının tüketici tarafından tercih edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca akaryakıt istasyonu sayısı çok ve akaryakıt ürünlerinin çeşidi fazladır. Bu nedenle daha uygun fiyatlı akaryakıt satışı sunan istasyonlar hakkında tüketicilerin bilgi sahibi olmaları tüketicinin lehine olacaktır. Bunun yanı sıra hizmet ve uygun fiyat avantajı sağlayan akaryakıt istasyonunun en yakın hangi konumda olduğunun bilinmesi de tasarruf açısından önem arz etmektedir [1].

Günümüzde her sektörde tüketiciler, satın alacakları bir ürün ve hizmet hakkında daha önceki tüketici yorumlarını dikkate almaktadır. Akaryakıt tüketicilerinin de tercih edecekleri istasyonlar hakkında daha önceki tüketici yorumlarını okuyup bu yorumlara göre seçim yapması beklenmektedir. Diğer yandan tüketicinin akaryakıt istasyonları hakkında yaptığı yorumlar akaryakıt istasyonlarının fiyat ve hizmet kalitesini net olarak ortaya koyacaktır. Bu nedenle akaryakıt istasyonları ile tüketiciler arasındaki iletişimi, etkileşimi ve haberleşmeyi sağlayan bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada akaryakıt istasyonları ve akaryakıt tüketicileri arasındaki iletişimi, etkileşimi ve haberleşmeyi sağlayabilmek için bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistem içerisinde arka plan ve ön plan olarak iki temel katman yer almaktadır. Arka planda Temsili Durum Transferi (REST: Representational State Transfer) yaklaşımı ile web servisler geliştirilmiştir [2]. Geliştirilen web servisler yardımı ile birden fazla akaryakıt istasyonu ve birden fazla kullanıcının aynı anda işlem yapabilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen web arayüzü aracılığıyla akaryakıt istasyonları, sunmuş olduğu hizmetleri ve akaryakıt fiyatlarını sisteme kaydedebilmektedir. Tüketiciler ise geliştirilen web arayüzü veya mobil uygulama üzerinden akaryakıt istasyonlarının sunmuş olduğu hizmetleri ve akaryakıt fiyatlarını anlık olarak takip edebilmektedir.

Önerilen sistem sayesinde akaryakıt tüketicileri kendilerine en yakın konumda bulunan, en iyi hizmet alacakları ve en düşük akaryakıt fiyatı sunan istasyonları kolay bir şekilde tespit edebilmektedir. Tüketici, her istasyonun iletişim bilgilerini akaryakıt fiyatlarını, istasyonun verdiği hizmetlerin detaylarını (market, yeme-içme, tamir-bakım, ibadethane vb.) ve istasyonun kendi konumuna olan mesafesini görebilmektedir. Aynı zamanda tüketici seçtiği istasyona yol tarifi alabilmekte ve istasyon hakkında daha önce yapılmış kullanıcı yorumları var ise bu yorumları okuyabilmektedir. Mobil uygulama pazarındaki benzer uygulamalardan farklı olarak geliştirilen sistem, kullanıcılara harita üzerinden hizmet verebilmektedir. Kullanıcının konumuna göre yakınında bulunan akaryakıt istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir.

Önerilen sistem birden fazla bileşenin bir arada kullanılması ile oluşmaktadır. Harita, Küresel Konumlama Sistemi (GPS: Global Positioning System), web servisler, veri tabanı ve mobil uygulama önerilen sistemde birlikte kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde belirtilen farklı bileşenlerin kullanılarak çok farklı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Günay Gültekin 2014 yılındaki yüksek lisans tezinde [3], akıllı telefonların standart bir özelliği olan GPS özelliğini kullanmıştır. GPS sayesinde konum bilgilerini kullanarak kullanıcıya en yakın elektronik mağazaları bulan bir mobil uygulama geliştirmiştir. Bu çalışmadaki temel amaç kullanıcıların geliştirilen mobil uygulamayı kullanarak zamandan tasarruf etmelerini sağlamaktır. Aynı şekilde Patrick De Haan ve arkadaşlarının geliştirdiği GasBuddy uygulaması [4], kullanıcıların zaman tasarrufu elde edebilmesi için geliştirilmiş bir mobil uygulamadır. Akaryakıt istasyonları için geliştirilen ve yaklaşık 60 milyon kullanıcısı olan bu uygulama sadece Avusturalya, Amerika ve Kanada'da kullanılmaktadır. Akaryakıt fiyatlarını kullanıcılar güncellemektedir. Fiyat bilgisi kullanıcılar tarafından rapor edildikçe kullanıcılar ödüllendirilmektedir. GasBuddy uygulamasına benzer diğer bir uygulama ise Wikicamps şirketinin geliştirdiği Fuel Map uygulamasıdır [5]. Fuel Map Avusturalya genelinde akaryakıt istasyonlarının ve akaryakıt fiyatlarının takip edilebildiği bir uygulamadır. Bilgiler kullanıcılar tarafından uygulamaya eklenmektedir. Harita üzerinde gösterilen akaryakıt istasyonları arasında fiyata göre ve yakınlığa göre listeleme yapılabilmektedir.

Mevcut uygulamalar incelendiğinde her birinin farklı özellikleri olduğu ve farklı teknolojik alt yapı ile geliştirildiği görülmüştür. Bu teknolojilerden biri olan web servisler, önerilen sistemin arka planında iş yönetimini ve organizasyonunu yapacak temel bileşeni oluşturmaktadır. Literatürde web servis yaklaşımları değişik uygulamalarda farklı amaç ve hedefler için kullanılmıştır. Ramanathan ve Korte yaptıkları bir çalışmada web servisleri kullanarak hava durumu verilerine erişmek için yazılım servis mimarisi geliştirmişlerdir [6]. Menghui ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise Javascript Nesne Gösterimi (JSON: JavaScript Object Notation) tabanlı RESTful web servisleriyle tarayıcı tabanlı bir

harita çizme uygulaması geliştirmiştir [7]. Menghui ve arkadaşları, RESTful web servislerini kullanarak dağıtılmış veri entegrasyonu için bir çözüm önermiştir. Çalışmada, geleneksel web hizmetleri ve RESTful web hizmetleri hakkında derinlemesine bir analiz yapılmıştır. RESTful web hizmetlerinin dağıtılmış veri entegrasyonu için daha uygun olduğunu açıklanmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde benzer sistemleri geliştirmek için birçok mimarinin önerildiği görülmüştür. Ancak uygulamalar sadece kullanıcı odaklıdır ve kullanıcıların fiyat girmesini istemektedir. Önerilen sistemde ise akaryakıt istasyonları kendi fiyat ve hizmetlerini anlık olarak güncelleyebilmektedir. Tüketiciler ise bu hizmet ve fiyat değişikliği anlık olarak takip edebilmektedir. REST web servis yaklaşımı ile geliştirilen sistem, mobil veya bilgisayar gibi farklı platformlara cevap verebilmektedir. Önerilen sistemin geliştirilmesinde REST web servisleri basit ve kolayca ölçeklenebilir olduğu için tercih edilmiştir. REST sayesinde işlevsellik ve sistemin cevap verme performansı artırılmıştır. Bulut üzerinde JSON tabanlı ilişkisel olmayan bir veri tabanı kullanılarak isteklere karşı verilecek cevapların hızlı olması sağlanmıştır. Konum servisleri kullanılarak harita üzerinde kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmiştir. Geliştirilen arayüz mobil uygulama, mobil ve web tarayıcıda sorunsuz hizmet vermektedir. Geliştirilen sistem sayesinde akaryakıt istasyonlarının ve akaryakıt tüketicilerinin rahatlıkla kullanabilecekleri bir platform geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

Önerilen sistem farklı teknolojilerinin bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle önerilen sistemin geliştirilmesinde kullanılan materyal ve metotlar farklı başlıklar altında detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1. Web Servisler (Web Services)

Web servisler kendi iletişim protokollerini belirlemekte ve veri erişimi için genel bir arabirim oluşturmaktadır. Böylelikle birden fazla platformdaki istemci istenilen hizmete eşit haklara sahip olarak erişebilmektedir. Günümüzde web servis geliştirmek için iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunların ilki Basit Nesne Erişim Protokolü (SOAP: Simple Object Access Protocol) diğeri REST web servis yaklaşımıdır.

Basit bir nesne erişim protokolü olarak tanımlanan SOAP, bilgisayar ağlarında yapılandırılmış verinin alışverişinde kullanılan bir protokoldür [8]. Web Servis Tanımlama Dili (WSDL: Web Service Definition Language), iletileri web üzerinden erişilebilir hale getirmek için SOAP ile birlikte kullanılmaktadır [9]. SOAP, veri alışverişi için kodlama kuralları sağlamak ve genellikle uç nokta prensibine göre çalışan yaklaşımdır. REST web servis yaklaşımı ise web servisleri geliştirmek için Hiper Metin Transfer Protokolünü (HTTP: Hypertext Transfer Protocol) kullanan bir mimaridir [10]. REST mimarisindeki temel fikir, makineler arasında veri transferi için HTTP katmanının üstünde çalışan bir protokol kullanmak yerine gelişmiş HTTP mimarisi özelliklerini kullanmaktır. REST arayüzü HTTP standart işlemlerini (GET, PUT, POST ve DELETE) kullanarak web servis işlemlerini gerçekleştirmektedir. REST veri odaklı çalışmaktadır. Bu nedenle sunucunun yanıtı JSON tabanlı veri kümesi olarak elde edilebilmektedir. Bu durum kullanım kolaylığı ve esneklik sağlamaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen sistem hem mobil uygulama hem de web arayüzü üzerinden hizmet verecektir. Bu nedenle tercih edilecek alt yapının her iki platformda da sorunsuz çalışması gerekmektedir. Mobil uygulamada tercih edilecek mimari veya protokol, büyük ölçüde iş hedeflerine ve elde edilmesi gereken ihtiyaçlara bağlıdır. REST mimarisi basit istek-yanıt prensibine dayandığından SOAP'a göre kolay anlaşılabilir bir yapı içerisindedir. Bu basit istek-yanıt yapısı akıllı cihazlar için geliştirilen uygulamalarda iş hedeflerini oldukça kolaylaştırmaktadır. Ayrıca REST mimarisi herhangi bir teknolojiye bağlı değildir. REST mimarisi herhangi bir hata esnasında REST HTTP hatalarını geliştiriciye bildirdiği için test ve hata takip aşaması SOAP'a göre daha kolaydır. Bu nedenle çalışmada web servislerin REST yaklaşımı ile geliştirilmesinin daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Önerilen sistem için gerekli olan web servisler Spring kullanılarak geliştirilmiştir. Spring, Java 2 Kurumsal Sürüm (J2EE: Java 2 Enterprise Edition) belirtiminin eksikliklerini telafi etmek için hazırlanmış bir yapıdır [11]. Spring'in ana amacı, J2EE geliştirmenin karmaşıklığını azaltmaya yardımcı

olmaktadır. Temel olarak Java nesnelerini özelleştirmek ve yönetmekle görevlidir. Spring modülerdir ve bağımsız olarak çalışabilen bağımsız paketlere ayrılmıştır. Bu durum geliştiriciler için kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca, yapılandırma ve mesajlaşma dosyalarını kendi kurulumunda belirleyerek daha akıcı bir platform oluşturmaktadır.

2.2. Arayüz Geliştirme Kütüphanesi (Interface Development Library)

Önerilen sistem için gerekli olan arayüzlerin oluşturulmasında AngularJS açık kaynak kodlu web uygulama çatısı kullanılmıştır. AngularJS, Google tarafından desteklenen ve geliştirilmesi devam eden açık kaynaklı Javascript yapısıdır [12]. AngularJS'in amacı, yalnızca sunucu üzerinde geliştirilmiş mevcut araç ve yetenekleri web istemcisine kazandırmaktır. Böylelikle zengin ve karmaşık web uygulamaları rahatlıkla geliştirilmekte ve sunucu yükü azaltılmaktadır. AngularJS, test edilebilir ve kolayca genişletilebilir uygulamalar oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Bu nedenle önerilen sistem için gerekli olan arayüzlerin geliştirilmesinde tercih edilmiştir.

2.3. İlişkisel Olmayan Veri Tabanı (Non-Relational Database)

İstasyonlardan ve kullanıcılardan elde edilen ve önerilen sistemde saklanan veriler oldukça büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Büyük miktardaki verileri veri tabanına yazma, okuma ve analiz etme işlemlerinde bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Büyük miktardaki veriyi ilişkisel veri tabanlarında saklamak için ilişkisel veri tabanlarında çok fazla alan ve tablo oluşturmak gerekir. Tabloların önceden tanımlanması gerektiği için verinin standart hale getirilmesi işleri zorlaştırmaktadır. Ayrıca çok fazla tablonun oluşturulması çoklu okuma ve yazma işlemlerinde performansı düşürecektir.

Geliştirilen sisteme veriler bir veya birden fazla istasyon ve kullanıcı üzerinden alınmaktadır. Verilerin veri tabanından okunması esnasında birden ise birden fazla kullanıcı veri tabanından farklı isteklerde bulunabilir. Bu durumda veri tabanının cevap verme süresi geç olursa, sistemde kilitlenmeler yaşanır. Kilitlenmeyi engelleyebilmek için performansı yüksek bir belge tabanlı İlişkisel Olmayan Veri Tabanı (NoSQL: Not Only Structured Query Language) veri tabanı tercih nedeni olmalıdır. Bunun için ise MongoDB kendini kanıtlamış bir sistemdir. MongoDB belge tabanlı bir NoSQL veri tabanıdır. MongoDB belge veri modeli, zengin sorgu desteği, yatay ölçeklenebilirlik, yüksek kullanılabilirlik, esneklik ve dinamik şema gibi birçok özelliği sunmaktadır. MongoDB veri saklama işleminde JSON veri yapısını kullanmaya izin vermektedir [13].

NoSQL veri tabanı kavramı, yıllardır bilişim dünyasında kullanılan ilişkisel veri tabanı sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. NoSQL, günümüzde internet ortamında giderek büyüyen verileri depolayabilmek ve yüksek erişilebilirliğin yanında yatay ölçeklenebilen sistemlere verilen genel bir isim olarak tanımlanmaktadır. MongoDB doküman tabanlı bir NoSQL veritabanı yönetim sistemidir ve karmaşık sorgular için destek sağlamaktadır. İlişkisel veri tabanlarında olduğu gibi verileri tablolarda depolamak yerine, verileri JSON formatındaki dokümanlar da depolamaktadır. NoSQL veri tabanının avantajları veri okuma ve yazma hızı, toplu veri işlemlerini desteklemesi, genişletilmesinin kolay olması ve düşük maliyetli olmasıdır [14]. Bu nedenle önerilen sistemde MongoDB NoSQL veritabanı tercih edilmiştir.

2.4. Konum ve Haritalama Servisi (Location and Mapping Services)

Önerilen sistemin temel özelliklerinden biri olan en yakın akaryakıt istasyonunu bulma özelliğini sağlayabilmek için konum servislerinden yararlanmak gerekir. Android mobil işletim sistemi, geliştirilen mobil uygulamalar için kullanıcının konum bilgisini paylaşan bir kütüphane sunmaktadır. Android işletim sisteminde mobil cihazın konumu temel olarak üç farklı yöntem ile elde edilmektedir [15]. Bu yöntemler GPS, Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM: Global System for Mobile Communications) şebeke sinyali ve pasif konum sistemidir.

Pasif konum sisteminde gerçekleştirilen işlem işletim sisteminin bellekte tuttuğu eski konum bilgilerinden yola çıkarak kullanıcının konumuyla ilgili bilgi edinilmesidir. Diğer yöntemde ise cihazda aktif bir GSM bağlantısı var ise Android cihazın bağlı bulunduğu baz istasyonlarından kullanıcının yeri tahmin edilebilir. Burada yapılan işlem baz istasyonu bilgisinin merkezi bir veri tabanına gönderilerek bu istasyonların konum bilgilerinden kullanıcının yerinin tahmin edilmesidir. Belirtilen bu iki yöntem anlık

konum bilgisinin bulunmasında bazı kısıtlar sunmaktadır. Bu nedenle GPS kullanımını yaygınlaştırmıştır. Android işletim sistemi, herhangi bir uygulamadan konum talebi geldiğinde GPS'i devreye alarak kullanıcının konumunu uygulamaya bildirmektedir. GPS, teknolojisi gereği kapalı alanlarda çalışmamaktadır ve tam bağlantı sırasında aşırı derecede güç tüketmektedir. Bu olumsuz durumlarına karşın oldukça yüksek hassasiyette konum bildirdiğinden harita uygulamalarında GPS diğer yöntemlere göre daha çok tercih etmektedir. Bir uygulamanın konum bilgisi servislerinden yararlanması için AndroidManifest.xml dosyasında bazı izinlerin alınması gerekmektedir.

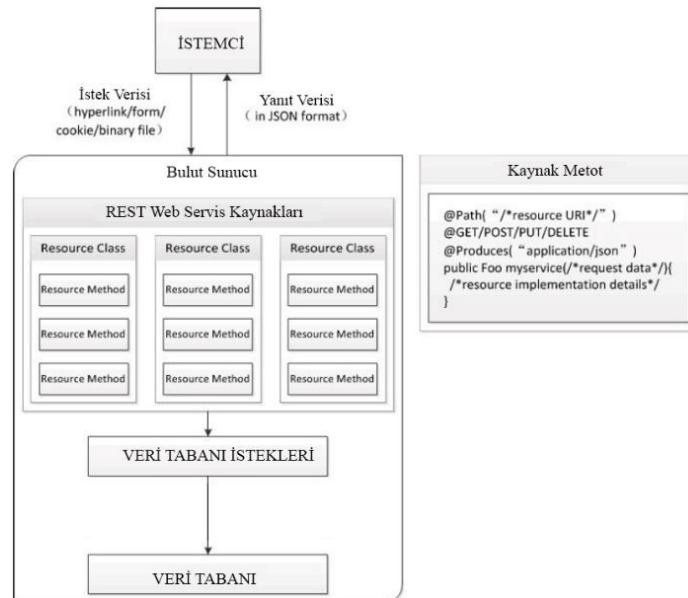
Konum servisleri birçok mobil uygulamanın önemli ve ayırt edici özelliklerinden biri olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Konum servislerinden alınan bilgilerin görselleştirilmesi için haritalar servisi kullanılmaktadır. Google, konum servisleri ile birlikte Android için uygulama geliştirene kullanıcıya bulunduğu yeri göstermek ya da aradığı bir konumu harita üzerinde göstermek için Google içinde yer alan Google Maps Android uygulama programlama arayüzünü sunmaktadır [16]. Bu uygulama programlama arayüzünü herhangi bir uygulamaya eklemek ve harita üzerinde istenilen işlemleri gerçekleştirebilmek için Google üzerinden bir uygulama programlama anahtarının elde edilmesi gerekir. Google, söz konusu anahtarı uygulamaya özel oluşturup kullanıcıya sunmaktadır.

3. UYGULAMA GELİŞTİRME (APPLICATION DEVELOPMENT)

Önerilen sistemin geliştirme adımları iki alt gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan ilki arka planda hizmet verecek web servis uygulamasının geliştirilmesi ikincisi ise on planda hizmet verecek mobil uygulama ve web arayüzünün geliştirilmesi olarak belirlenmiştir. Web servis uygulaması içerisinde web istemciler geliştirilerek web arayüzü üzerinden kullanıcıların sisteme erişimi sağlanmıştır. Web servis uygulaması, web ve mobil platformlarının etkileşimli olarak çalışmasını sağlayan REST tabanlı olarak geliştirilmiştir.

3.1. Web Servis Uygulaması (Web Service Application)

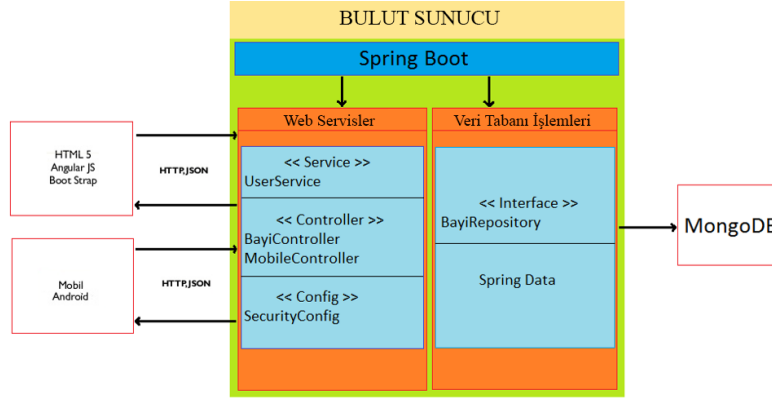
Web servis sunucusu üzerinde yer alan web servisler Spring Boot kullanılarak REST tabanlı geliştirilmiştir. Sunucuya bağlanması gereken web istemci arayüzü için ise Hiper Metin İşaretleme Dili (HTML: Hypertext Markup Language) ve AngularJs tercih edilmiştir. Şekil 1'de önerilen sistemin web servis mimarisi ve katmanları verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen sistemin web servis mimarisi ve katmanları

Şekil 1'de web servis mimarisi ve kaynak metotlar gösterilmiştir. Web servis sunucusu kendisine gelen iş isteklerini Spring'e, Spring ise gelen isteğin türüne göre işlemleri gerçekleştirmekte ve kullanıcıya yanıt

vermektedir. Kullanıcı isteklerinde veri tabanı işlemi gerekiyorsa veri tabanına ulaşım gerekli bilgiyi nesne halinde yanıtlama görevi de Spring'e verilmiştir. Kullanıcıya yanıtlar JSON formatında gönderilmiştir. Önerilen sistem için geliştirilen uygulamanın istemci ile etkileşimi gösteren alt yapı şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen sistemin istemci ve web servis alt yapısı

Şekil 2'deki yapıda belirtilen bileşenler referans alınarak web servis uygulamasının kodlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sunucu, Model – Görünüm – Denetleyici kalıbıyla kodlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem için geliştirilen uygulamada temel olarak iki yapılandırma bulunmaktadır. Bu yapılandırmalar güvenlik ve veri tabanı erişim yapılandırmalarıdır. Bu yapılandırmalar için web servis sunucusuna yapılacak isteklerin hangi parametreleri taşıyıp taşımayacağı, yapılan istek sonucunda cevapta taşınan nesnenin belirlenmesi ve yapılan isteğin HTTP metodunun belirlenmesi gerekir. Örnek olarak @RequestMapping ile bir web servis bağlantısı oluşturulduğunda web servis bağlantısının içerisinde bir adrsin tanımlanması gerekir. @RequestMapping anotasyonunun içinde "/bayiayrintikayi" adresi tanımlanmıştır. Web servis metodu ise POST olarak belirlenmiştir. Cevap olarak gönderilecek "return" değerinin ise JSON tipinde olması gerektiği belirtilmiştir. Gelen istek gövdesinde parametreler bulunmaktadır. Sunucuda bulunan web servisler istasyon girişi, istasyon kaydı, istasyon ayrıntıları oluşturma, istasyon ayrıntıları listeleme, kullanıcı yorum ekleme, kullanıcı yorum listeleme ve istasyon ayarları olarak belirlenmiştir.

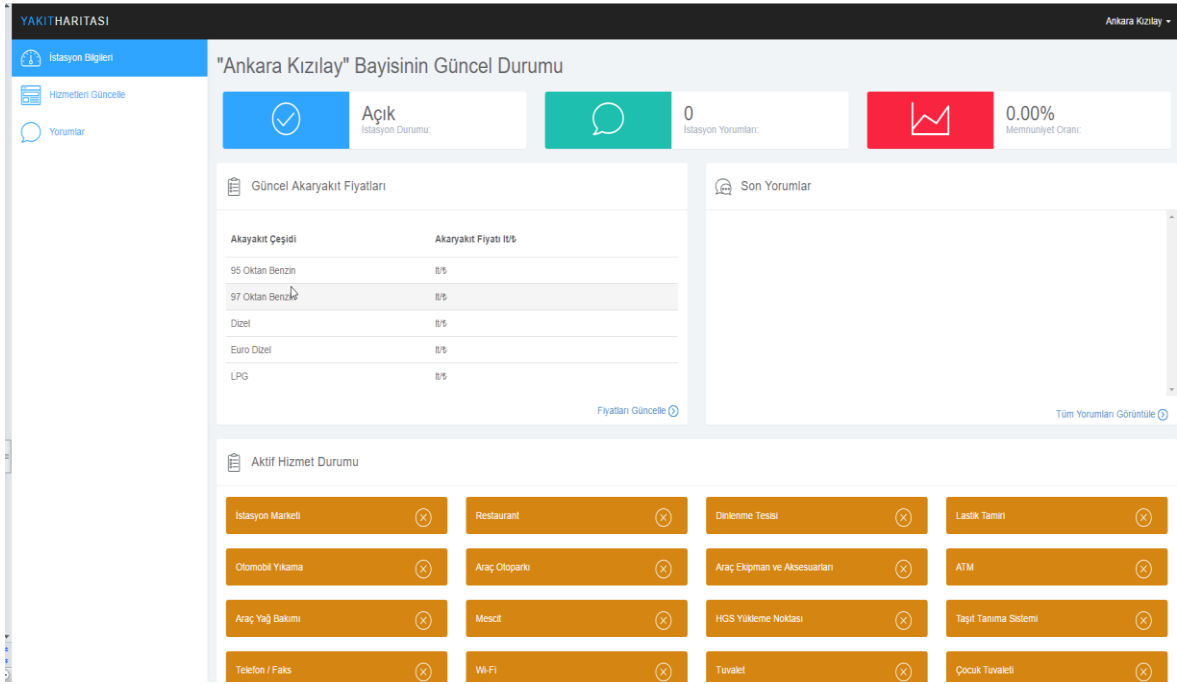
3.2. Mobil Uygulamanın Geliştirilmesi (Development of Mobile Application)

Geliştirilen mobil uygulamanın geliştirilmesinden önce fonksiyonel ihtiyaçlar analiz edilmiştir. Bu ihtiyaçlar yakındaki istasyonları bulma, yakındaki istasyonları listeleme ve sıralama, konuma göre istasyon bulma, seçilen mesafeye göre istasyon bulma, istasyonların akaryakıt fiyatlarını öğrenme ve istasyonların hizmetlerini öğrenme olarak belirlenmiştir.

Belirtilen fonksiyonel ihtiyaçlara göre geliştirilen mobil uygulama Android Studio kullanılarak geliştirilmiştir [17]. Geliştirilen uygulamada kullanıcılar web servis sunucusuna isteklerde bulunmaktadır. Web servisler kendisine gelen istekleri değerlendirmekte ve yapılan isteğe uygun cevabı hazırlayarak mobil uygulamaya göndermektedir. Kullanıcının mobil uygulama üzerinden gerçekleştirdiği isteklerde ve isteklere verilen cevaplarda kullanıcı – mobil uygulama – sunucu arasında çift yönlü bir iletişim yapısı kullanılmıştır.

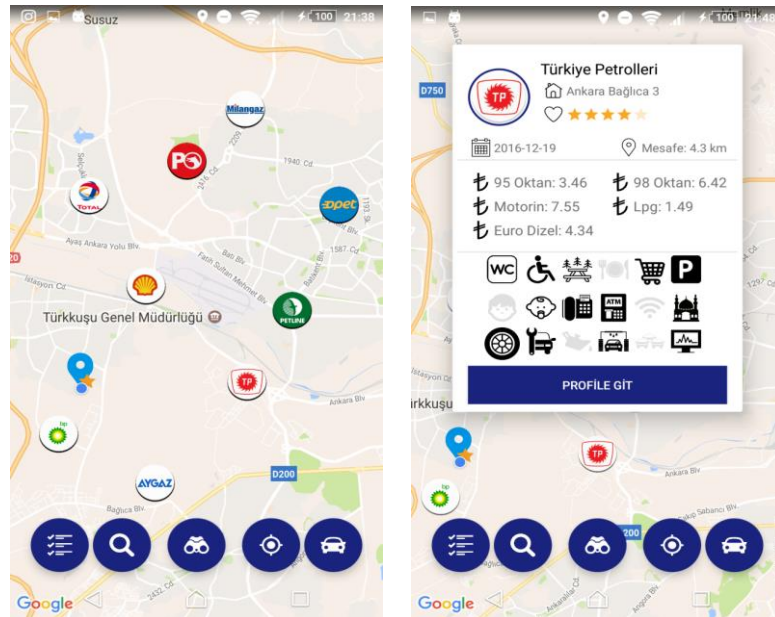
4. TEST İŞLEMLERİ (TEST PROCEDURES)

Önerilen sistemde akaryakıt istasyonlarının akaryakıt fiyatları ve sunduğu hizmetler ile ilgili veriler bir web istemci arayüzü yardımıyla uygulamaya girilmektedir. Akaryakıt istasyonu yetkili personeli uygulama üzerinden kayıt olup giriş yaptıktan sonra şekil 3'te görülen istasyon ekranı tarafından karşılanmaktadır.



Şekil 3. Akaryakıt istasyonu bilgi girişi

Şekil 3’te verilen bilgi girişi ekranı üzerinde bulunan seçenekler sayesinde istasyon ayrıntıları sisteme girilmektedir. Güncelle bölümünden akaryakıt istasyonunun sunduğu hizmetler veya akaryakıt fiyatları güncellenebilmektedir. Aynı şekilde akaryakıt tüketicileri de web arayüzü yardımıyla uygulamaya erişebilmekte ve akaryakıt istasyonunun ayrıntılarını görebilmektedir. Ayrıca kullanıcılar harita üzerinden belirlediği konuma en yakın akaryakıt istasyonunu görebilmekte ve belirlediği konumdan akaryakıt istasyonuna yol tarifi alabilmektedir.



Şekil 4. (a) Harita ekranı, (b) istasyon bilgi diyalogu ekranı

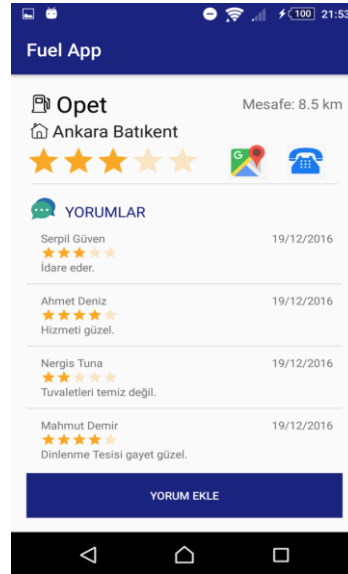
Mobil uygulamanın ana ekranı ise haritanın bulunduğu ekrandır. Ekranın alt bölümünde menü bulunmaktadır. Bu menü sırasıyla istasyon listeleme ve sıralama, konum arama, uzaklık mesafesi

belirleme ve mevcut konuma gitme görevlerini yerine getirmektedir. Harita ekranı üzerindeki herhangi bir akaryakıt istasyonu seçildiğinde bilgi diyalogu açılmaktadır. Bu diyalogda bulunan istasyon “profiline git” seçeneği ile yeni bir ekran açılmaktadır. Bu ekranda istasyon hakkında yorum ve puan ekleme, yol tarifi alma ve telefon etme vb. işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

Mobil uygulamanın kullanabilmesi için GPS aktif ise, harita otomatik olarak kullanıcının konumuna odaklanmaktadır. Uzaklık mesafesi varsayılan olarak 10 kilometre olarak ayarlanmıştır. Uygulama ilk başlatıldığında kullanıcıya 10 kilometre yakınlıktaki akaryakıt istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir. Harita ekranının ekran görüntüsü şekil 4(a)’da istasyon bilgi diyalogu ekranı ise şekil 4(b)’de verilmiştir.

Akaryakıt istasyonları bayi logosu ile haritada gösterilmiştir. Akaryakıt istasyonunun bilgilerini görüntülemek için bilgi alınacak istasyonun logosunun seçilmesi yeterlidir. Seçilen istasyonun bilgileri bir diyalog ile kullanıcıya sunulmuştur. Bilgi diyalogunda akaryakıt istasyonunun akaryakıt fiyatları, istasyon hizmetleri hakkında bilgi alınmaktadır. Diyalogda bulunan tarih ise akaryakıt fiyatlarının en son güncellendiği tarihi göstermektedir. Bir istasyonun sunduğu hizmetler bilgi diyalogunda koyu renkle gösterilmiştir. Eğer bir hizmet istasyonda bulunmuyor ise özelliğin logosu açık gri tonundan oluşmaktadır.

Önerilen sistemin diğer bir fonksiyonu da kullanıcılardan geri bildirim almaktır. Bu işlem için yorumlar ekranı hazırlanmıştır. Yorumlar ekranı kullanıcıların akaryakıt istasyonu hakkındaki fikirlerinin, önerilerinin, şikâyetlerinin, beğenilerinin, tavsiyelerinin yorum ve puan olarak paylaşmasına imkan vermektedir. Şekil 5’te yorumlar ekranının ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Yorumlar ekranı

Şekil 5’te verilen ekranın üst bölümünde akaryakıt istasyonunun adı, şube bilgisi, yorum derecelendirme bilgisi ve istasyonun kullanıcıya uzaklığı verilmiştir. Bu bölümün altında ise kullanıcıların yaptığı yorumlar bulunmaktadır. Kullanıcılar yoruma göre akaryakıt istasyonunu seçebilmekte kendi mesafesine göre uzaklığını göre bilmektedir. Ayrıca mesafe alanına göre, yorum puanına göre ve fiyat avantajına göre akaryakıt istasyonlarının listelenmesi gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Geliştirilen uygulama sayesinde akaryakıt istasyonlarının sunduğu hizmetlerin akaryakıt tüketicilerine bildirilmesi ve daha uygun fiyatlı akaryakıt satışı gerçekleştiren istasyonlar hakkında tüketicilerin bilgi sahibi olmaları sağlanmıştır. Daha kaliteli hizmet ve uygun fiyat avantajı sağlayan akaryakıt istasyonunun en yakın hangi konumda yer aldığı harita ekranı üzerinden kullanıcıya sunulmuştur. Akaryakıt

tüketicilerinin istasyonlar hakkında yorum yapmaları ve puan vermeleri sağlanmıştır. Bu sayede akaryakıt istasyonlarının fiyat avantajı ve hizmet kalitesi net olarak ortaya konulmuştur. Akaryakıt istasyonlarının kendilerini yenilemesi, artan rekabet şartlarında kendilerine iyi bir yer edinebilmesi için gerçek kullanıcıların yaptığı değerlendirmeler akaryakıt istasyonları ve tüketicilere sunulmuştur. Böylelikle akaryakıt istasyonlarının hizmet eksiklikleri, hizmet kalitesi ve diğer akaryakıt istasyonlarına göre fiyat avantajı belirlenmiştir.

Önerilen sistemin temelini web servis yapısı oluşturmaktadır. Web servisler ile arka plan iş kontrol yapıları hazırlanmıştır. Sistem mobil uygulama ve web arayüzüne sahip bir web istemci ile kullanıcıya sunulmuştur. Geliştirilen web servisler REST tabanlıdır. Web arayüzü AngularJS ve HTML kullanılarak geliştirilmiştir. Oluşturulan bu sisteme kullanıcıların daha rahat erişebilmeleri ve mobil sistemlerin imkânlarından faydalanabilmek için bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen mobil uygulama internet alt yapısı ile REST web servislerine, web serviler ise gerektiğinde veri tabanına erişim sağlamaktadır. Veri yapısı olarak JSON veri formatı tercih edilmiştir. Böylelikle daha verimli ve hızlı veri iletişimi sağlanmıştır.

Önerilen sistem web servisler, web arayüzü, mobil uygulama ve NoSQL veri tabanının birlikte kullanılması ile geliştirilmiştir. Kullanım senaryosu olarak birden fazla kullanıcı ve konum içeren akaryakıt istasyonları seçilmiştir. Böylelikle çoklu okuma/yazma işlemlerinde sorunsuz çalışabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin kullanım testlerinde web servislerin mobil ve web platformlarda sorunsuz hizmet verdiği görülmüştür. Sistemin platformdan bağımsız çalışması ile farklı uygulamalara entegre edilebilmesi sağlanmıştır. Web servislerin güvenliği Spring Boot çerçevesi tercih edilerek Spring güvenlik bileşenlerinden yararlanılarak sağlanmıştır. Önerilen sistem ile sadece akaryakıt istasyonlarına hizmet verecek bir sistem değil farklı kullanım alanlarında da kullanılacak bir mimari yapı sunulmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada sunulan web servislerin geliştirilmesindeki katkısından dolayı Erdem AYDEMİR'e ve mobil uygulamanın geliştirilmesindeki katkılarından dolayı Merve YOLCU'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Avcılar, M.Y., Açar., M.F.T. (2017). Tüketicilerin akaryakıt istasyonu tercihini etkileyen faktörlerin analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile tespitine yönelik Ankara ilince bir araştırma. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(2), 969-992.
- [2] Oyucu, S., Polat, H. (2017). M2M ve IoT platformları üzerinde prototip uygulama geliştirme. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 9(2), 11-20.
- [3] Gültekin, G. (2014). Akıllı Konum Tabanlı Mobil Alışveriş Android Uygulaması, İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [4] İnternet: Patrick, D. H, "GasBuddyhttps", www.gasbuddy.com, Son Erişim Tarihi: 16.04.2021.
- [5] İnternet: Wikicamps, "Fuel Map", http://www.microsoft.com/en-au/p/fuel-map-australia/, Son Erişim Tarihi: 16.04.2021.
- [6] Ramanathan, R., Korte, T. (2014). Software service architecture to access weather data using RESTful web services. Fifth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies Hefei, 1-8.
- [7] Yao, M., Ruixue, J. L., Chen, F. G., Zhao, J. (2017). REST based integrated efficient drawing method for reservoir geological profile. 6th International Conference on Measurement, Instrumentation and Automation, 1951-685.
- [8] Malik, S., Kim. D. (2017). A comparison of RESTful vs. SOAP web services in actuator networks. International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 753-755.

- [9] Oliveira, R.R., Vieira, R.V., Sanchez, J. C., Estrella, R., Brusamolin, V. (2013). Comparative evaluation of the maintainability of RESTful and SOAP-WSDL web services, IEEE 7th International Symposium on the Maintenance and Evolution of Service-Oriented and Cloud-Based Systems, 40-49.
- [10] Li, L., Chou, W. (2015). Designing large scale REST APIs based on REST chart. IEEE International Conference on Web Services, 631-638.
- [11] Pandey, H., Rastogi, H., Gupta Anuja, C. (2017). Web-based network management system implemented using Hibernate, JBoss and spring framework. International Conference on Telecommunication and Networks, 1-5.
- [12] Ramos, M., Valente, M.T., Terra, R. (2018). AngularJS Performance: A survey study. IEEE Software, 35(2),72-79.
- [13] Mearaj, I., Maheshwari, P., Kaur, M. J. (2018). Data conversion from traditional relational database to MongoDB using XAMPP and NoSQL. HCT Information Technology Trends, 94-98.
- [14] Polat, H., Oyucu, S. (2019). Heterojen Medikal IoT verilerinin depolanmasında ilişkisel olmayan veritabanına dayalı bir yaklaşım. Politeknik Dergisi, 22(4), 989-998.
- [15] İnternet: Geleceği Yazarlar, <https://gelecegiyazarlar.turkcell.com.tr/konu/android/egitim/android-301/androidde-konum-servisleri>, Son Erişim Tarihi: 16.03.2020.
- [16] Li, H., Zhijian, L. (2010). The study and implementation of mobile GPS navigation system based on Google Maps. International Conference on Computer and Information Application, 87-90.
- [17] Allison, L., Fuad, M.M. (2016). Inter-App communication between android apps developed in app-inventor and android studio. IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems, 17-18.



Estimation of Large Household Appliances Stock in the Residential Sector and Forecasting of Stock Electricity Consumption: Ex-Post and Ex-Ante Analyses

Bilal DÜZGÜN^{1,*} , Ramazan BAYINDIR¹ , Merih AYDINALP KÖKSAL² 

¹Gazi University Faculty of Technology, Department of Electrical Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Hacettepe University Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 06800, Beytepe/ANKARA

Article Info

Research article

Received: 01/02/2021

Revision: 27/03/2021

Accepted: 09/04/2021

Keywords

Stock accounting modeling

Large household appliances

Forecasting of electricity consumption

Electricity consumption in the residential sector

Abstract

Energy efficiency offers a wide variety of opportunities that will provide efficient resource utilization, alleviate the pressure of energy costs on the economy and reduce foreign energy dependency, and support in combating the harmful effects of climate change. This paper aims to develop necessary data sets to guide policymakers in their decision-making process to identify energy efficiency policy options through an ex-post analysis. One of the targets of this paper is to determine the large household appliances stock and its electricity consumption, which constitutes an important share in residential electricity consumption over the period of 2005-2019. In light of the findings from the ex-post analysis, electricity consumption scenarios for large household appliances were developed from 2020 to 2030. According to the results, the total stock consumption of the refrigerator and washing machine appliances has reached a plateau, leaving behind an increasing trend due to the improvements in efficiency despite the growth in the stock amounts. Besides, the electricity consumption of freezer, tumble dryer, and dishwasher stock has increased significantly due to the increase in the household ownership rates. The analyses also showed that the total electricity consumption of the large household appliances' stock increased from 17,973 GWh in 2005 to 23,067 GWh in 2019. In addition, the ex-ante analysis revealed that the electricity consumption of refrigerator stock would show most likely a downward trend until 2030, while deep freezers, tumble dryers, dishwashers, and electric ovens stocks would demand more electricity with the increase in ownership rates. However, the analysis showed an uncertain pathway for the electricity consumption of washing machine stock since annual sales during the projection period would show in which direction their consumption would evolve.

1. INTRODUCTION

After the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change held in Paris in 2015, many countries have declared their decarbonization targets for achieving carbon neutrality. The most ambitious target announced in this context is undoubtedly the European Commission's goal of making Europe the first carbon-neutral continent with the Green Deal Plan. Energy efficiency, which provides multiple benefits including preventing waste, alleviating the pressure of energy costs on the economy, and reducing the dependence on foreign energy resources in addition to tackling climate change, is one of the main policy tools that Europe will need to achieve the long-term climate targets set by the Green Deal.

Meanwhile, Turkey follows the developments in climate policies closely and restructures her policy and strategy plans within the framework of transformational change to cope with increasing energy demand driven by population growth and economic development.

The main framework of energy efficiency programs was drawn up by the Energy Efficiency Law published in 2007. The Law aims to prevent waste, reduce energy costs and protect the environment by using energy effectively and efficiently [1]. Its secondary legislation, the Regulation on Energy Performance in Buildings and the Regulation on Increasing Efficiency in the Use of Energy Resources and Energy, was published in 2008 and 2011 to ensure promoting energy efficiency in all processes from production to final consumption. With Turkey's Climate Change Strategy 2010-2023 published by the Ministry of Environment and Urbanization in 2010, dissemination of energy efficiency was determined as one of the main pillars of the national vision on climate change strategies.

Subsequently, the Energy Efficiency Strategy Document 2012-2023 was published in 2012 with the decision of the High Planning Council by aiming at reducing the energy intensity of Turkey by at least 20% compared to the 2011 level [2]. The actions to be taken in achieving the efficiency goals were announced with the National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) published in 2018. Under the NEEAP, it is aimed to reduce the primary energy consumption of Turkey by 14% until 2023 through 55 actions defined in six categories: buildings and services, energy, transport, industry and technology, agriculture and cross-cutting (horizontal) areas. The NEEAP targets to save 23.9 million toe cumulatively and mitigate 66.6 million tonnes of carbondioxide equivalent (MtCO₂-eq) by investing 10.9 billion USD [3].

The building sector was chosen as one of the focal areas within the NEEAP due to its high energy efficiency potential. A total of 12 actions were determined by focusing on increasing energy efficiency in existing buildings, making new buildings more efficient, carrying out building inventory studies, and conducting awareness-raising activities to benefit the most from the existing potential.

One of the actions defined in the building sector is the improvement of the energy efficiency of existing buildings (named as B5 in the NEEAP). In this context, the development of a mechanism that will include practices such as incentives, support schemes, taxation, and sanctions are targeted to disseminate the use of efficient equipment and technologies [3]. This action also indicates that the market transformation of efficient household appliances will be a focal point where in-depth analyses are needed.

On the other side, there is limited research on household appliance stock and its energy consumption for Turkey. For some household appliances, the ownership rates of households were determined in the survey study conducted in 2020 by the Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) within the scope of the Energy Efficiency Awareness Index Research [4]. Selçuk (2018) also used the Household Budget Survey conducted by the Turkish Statistical Institute (TurkStat) to determine the ownership rates [5]. Şahin (2012) identified the electricity consumption and CO₂ emissions of household appliances by conducting surveys and measurements in 201 households in Ankara [6]. However, the data on the breakdown of electricity consumption in residential buildings in the literature does not provide a clear picture of the end-use consumption shares. For example, the shares of major electricity consumers in households electricity consumption are listed in Şahin's (2012) study as refrigerator, television, and dishwasher with 31%, 10%, and 8%, respectively; in TEVEM's (2010) study as refrigerator, air conditioners and lighting with 31.1%, 15%, and 11.7%, respectively; in Yumartacı and Dönmez's (2013) study as refrigerator, lighting and electric ovens with 30.4%, 28.6%, and 10.4%, respectively [6], [7], [8]. Yet, these researches do not include any assessment regarding the total household appliance stock and its total electricity consumption in the Turkish residential sector.

Within the scope of this study, the evaluations and assessments will be made on large household appliances, which have a significant share in the electricity consumption of residential buildings, by developing data sets to contribute the analysis that policymakers may need. This study also aims to fill the existing gap in the literature on Turkey's large household stock and its electricity consumption with the analyses to be conducted.

For this purpose, the followed methodology to determine the appliance stock in use in the residential sector will be presented by explaining the scope and data limitations in Section 2. Then, the stock will be estimated in Section 3, and the calculations for the stock electricity consumption will be shown with the results obtained in Section 4. The stock electricity consumption forecast for 2030 will be made in Section 5, and the findings obtained from the analyses will be assessed in Section 6.

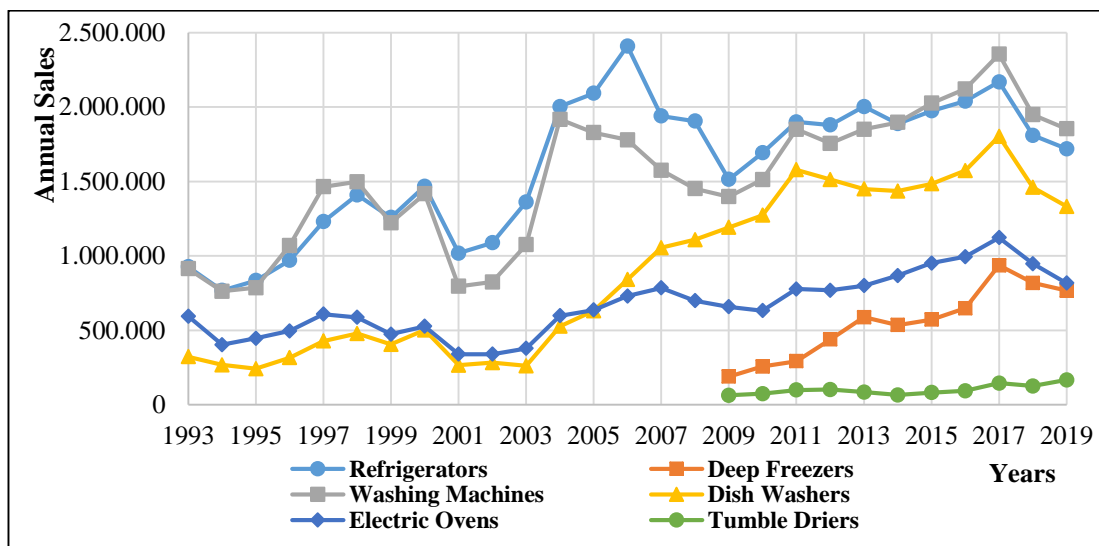
2. METHODOLOGY AND DATA SOURCES

Household appliances can be classified under two categories as large household appliances, also known as white goods, including refrigerators, deep freezers, tumble dryers, washing machines and dishwashers; and small household appliances including vacuum cleaners, microwaves, irons, televisions, computers, audio, video systems, etc. The European Statistical Office (Eurostat) categorizes electric ovens under use for cooking purposes [9].

Unfortunately, no official data source exists for appliance stock in Turkey. However, annual sales numbers for large household appliance products are shared by the White Goods Manufacturers' Association of Turkey (TÜRKBEŞD). The sales data provided by TÜRKBEŞD covers not only refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble dryers, and dishwashers but also electric ovens. The sales data of these six product groups between 1993 and 2019 are presented in Figure 1. Besides, no data source for the sales of small household appliances is available in Turkey. For this reason, six product groups, namely refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble dryers, dishwashers, and electric ovens, are analyzed in this study due to the availability of the data.

The equipment ownership rates can be estimated by conducting annual surveys on households. In the case of the surveys are not carried out regularly each year, the missing data on ownership rates can be predicted by interpolation methods since the ownership rates of large household appliances will not differ significantly from year to year [12]. If the ownership rates are known, the total appliance stock can be estimated by considering the total number of households. Another way to calculate the total stock is a bottom-up approach based on a stock accounting model whose inputs are annual sales numbers, and the average lifetime of the product can be used.

Selçuk (2018) calculated the household appliance ownership rates using the Household Budget Surveys which were conducted in 2003 and 2016 by TurkStat, and determined that 98% of households have a refrigerator, 97% have a washing machine, 18% have an air conditioner, and 44% have a computer [5]. Another survey conducted by the MENR in 2020 based on 3000 people showed that 99% of the households have a television, 98% have a washing machine, 97% have a refrigerator, 91% have a dishwasher, 87% have an electric oven, 46% have a deep freezer, 43% have an air conditioner, and 27% have a tumble dryer [4]. However, these researches do not provide any figures regarding total appliance stock in the Turkish residential sector.



The sales data for deep freezers and tumble dryers are available after 2009.

Figure 1. Annual sales data of six main product groups for the period of 1993-2019 (Adapted from [10] and [11]).

In developing countries where stock data lacks for the past years, the total stock in-use and annual sales can be estimated simply by multiplying the household appliance ownership rates to be obtained from the surveys by the total number of households as shown in Equation 1.

$$Stock_i^a = HH_i \times \gamma_i^a \quad 1$$

i : Analyzed year;

a : Appliance type representing refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble driers, dishwashers, or electric ovens;

$Stock_i^a$: Total number of units of appliance a in operation in year i ;

HH_i : Number of households in year i ;

γ_i^a : Ownership rate of appliance a at time i .

Within the scope of the UNDP/GEF Project on Increasing Energy Efficiency in Buildings under the coordination of the MENR, a monitoring study to profile residential electricity consumption was carried out in 55 households in 2015. The study revealed that some households had more than one product of the same type. For example, the refrigerator ownership rate of the surveyed households was found as 110.3% [13]. Although the sampling number in the study is comparatively low, the findings show that households may have more than one household appliance of the same type. For this reason, more accurate results can be obtained by employing comprehensive stock modeling in the case of data availability.

When sufficient data is available, the stock can be modeled with the sales data over the past years and survival rates [14]. Accordingly, the stock is calculated by adding the previous year's stock plus the appliance sales minus the stock of retired appliances in the current year, as shown in Equation (2).

$$Stock_i^a = Stock_{i-1}^a + S_i^a - AR_i^a \quad 2$$

$Stock_{i-1}^a$: Total number of units of appliance a in operation in year $i - 1$;

S_i^a : Sales of appliance a in year i ;

AR_i^a : Stock of retired appliance a in year i .

The total retired appliance stock is calculated as the total of retired appliances each year. In other words, the total retired appliances over the years are determined with the survival rates, which depend on the age distribution for the starting year. Consequently, the total of retired appliances from the previous years gives the total appliance stock as shown in Equation (3).

$$AR_i^a = S_i^a \times (1 - \varphi_a(0)) + \sum_{j=i-k}^{i-1} S_j^a \times (\varphi_a(i-j+1) - \varphi_a(i-j)) \quad 3$$

k : Age of appliance in terms of years

$\varphi_a(i-j+1), \varphi_a(i-j)$: Probability of survival of appliance a with age $(i-j+1)$ and $(i-j)$, respectively.

Martinez-Montejo and Sheinbaum-Pardo (2016) developed their model by assuming that all appliances would be in operation until the end of their lifetime, and all of them would retire at the end of their life, which was accepted as 16 years [15]. However, linear and nonlinear survival functions have been defined in the literature to identify survival rates, also called survival curves. Mahlia, Masjuki, and Choudhury (2002) employed linear survival function in their study and assumed that appliances would not retire before 2/3 of the life span of the appliances, all of those who are over 4/3 would be fully retired, and those in between would retire proportionally according to the life expectancy [16]. On the other hand, Welch and Rogers (2010) concluded that the retirement life of household appliances would follow the "Adapted Weibull Probability Density Function" proposed by Zachariadis, Samaras, and Zierock (1995) [17], [18]. Diawou et al. (2018) and Diawou et al. (2019) also used the survival curves suggested by Zachariadis, Samaras, and Zierock (1995) to calculate the number of retired appliances in their studies [19], [20]. The Adapted Weibull Probability Density Function proposed by Zachariadis, Samaras, and Zierock (1995) is presented in Equation 4.

$$\varphi^a(k) = \exp - \left[\left(\frac{k + b^a}{T^a} \right)^{b^a} \right]; \varphi^a(0) \cong 1 \tag{4}$$

$\varphi^a(k)$: Probability of survival of appliance a being k year old;

b^a : Failure steepness for appliance a ($b^a > 1$, i.e. survival rate decrease as appliance get older)

T^a : Characteristic service life for appliance a

The survival curves for large household appliances presented in Chapter 3 are determined using Equation (4). Then, the stock for each appliance group is calculated by years using the annual sales data for the period 1993-2019.

3. ESTIMATION OF LARGE HOUSEHOLD APPLIANCES STOCK USING STOCK ACCOUNTING MODEL

The most up-to-date research for the age status of the appliance stock for Turkey is the Energy Efficiency Awareness Index Survey conducted by MENR in 2020 [4]. The MENR study is used to estimate T^a value which is assumed as 19 years for six appliances. The stock in use for refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble dryers, dishwashers, and electric ovens show similar age distribution according to the survey results. Zachariadis, Samaras, and Zierock (1995) stated that the b^a value converges to 50% of the average life span [18]. With this information, survival curves are drawn for six appliances, as presented in Figure 2.

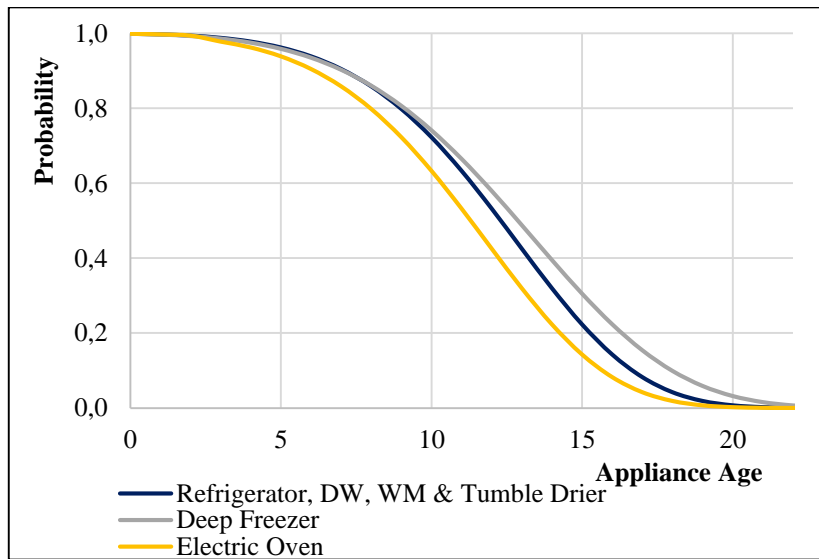


Figure 2. Survival Curves of Appliances

MENR’s completed Project on Market Transformation of Energy Efficient Appliances in Turkey and TURKBESD statistics on annual sales are used to calculate the total stock. However, the sales statistics extend until 1993 for refrigerators, washing machines, dishwashers, and electric ovens and until 2009 for deep freezers and tumble dryers. For the appliances that do not have annual sales statistics before 1993, the sales numbers are estimated backward by considering the annual average increase in the sales between 1993 and 2003. Likewise, for the appliances that do not have sales statistics before 2009, the sales numbers are estimated backward by taking the period of 2009-2019 as reference. The assumptions on sales data are summarized in Table 1.

Table 1. Years without sales data and assumptions on annual sales

<i>Appliances</i>	<i>Years without Sales Data</i>	<i>Assumed Annual Sales Growth Rate based on the Reference Period [%]</i>
<i>Refrigerators</i>	<i>Before 1993</i>	<i>5</i>
<i>Deep Freezers</i>	<i>Before 2009</i>	<i>15</i>
<i>Washing Machines</i>	<i>Before 1993</i>	<i>5</i>
<i>Tumble Driers</i>	<i>Before 2009</i>	<i>15</i>
<i>Dishwashers</i>	<i>Before 1993</i>	<i>2</i>
<i>Electric Ovens</i>	<i>Before 1993</i>	<i>2</i>

In the light of sales data and assumptions, the estimated total stock of large household appliances after 2005 is presented in Table 2, and the stock growth over the years is shown in Figure 3.

Table 2. Estimated stock for large household appliances calculated from stock modeling

Years	Refrigerators		Deep Freezers		Washing Machines		Tumble Driers		Dishwashers		Electric Ovens	
	Total Number of Units	Stock Growth Rate	Total Number of Units	Stock Growth Rate	Total Number of Units	Stock Growth Rate	Total Number of Units	Stock Growth Rate	Total Number of Units	Stock Growth Rate	Total Number of Units	Stock Growth Rate
2005	14,609,327		453,909		14,934,354		218,985		4,777,356		5,812,371	
2006	15,798,571	8.1%	547,612	20.6%	15,782,229	5.7%	251,759	15.0%	5,292,656	10.8%	6,000,923	3.2%
2007	16,498,885	4.4%	660,659	20.6%	16,377,680	3.8%	289,437	15.0%	6,014,829	13.6%	6,257,486	4.3%
2008	17,094,189	3.6%	797,042	20.6%	16,800,495	2.6%	332,754	15.0%	6,779,525	12.7%	6,439,107	2.9%
2009	17,515,230	2.5%	961,579	20.6%	17,117,852	1.9%	382,554	15.0%	7,614,264	12.3%	6,586,434	2.3%
2010	18,049,794	3.1%	1,189,369	23.7%	17,500,848	2.2%	442,276	15.6%	8,513,320	11.8%	6,711,824	1.9%
2011	18,722,810	3.7%	1,447,050	21.7%	18,172,704	3.8%	524,084	18.5%	9,697,883	13.9%	6,982,931	4.0%
2012	19,410,169	3.7%	1,842,172	27.3%	18,706,136	2.9%	606,202	15.7%	10,791,632	11.3%	7,243,618	3.7%
2013	20,160,095	3.9%	2,377,456	29.1%	19,293,839	3.1%	668,491	10.3%	11,790,633	9.3%	7,529,267	3.9%
2014	20,734,653	2.8%	2,849,691	19.9%	19,888,935	3.1%	707,942	5.9%	12,737,222	8.0%	7,869,645	4.5%
2015	21,333,471	2.9%	3,345,828	17.4%	20,574,073	3.4%	760,174	7.4%	13,683,596	7.4%	8,275,135	5.2%
2016	21,935,090	2.8%	3,903,176	16.7%	21,310,199	3.6%	819,945	7.9%	14,658,080	7.1%	8,699,624	5.1%
2017	22,603,676	3.0%	4,726,521	21.1%	22,229,044	4.3%	927,506	13.1%	15,787,405	7.7%	9,220,501	6.0%
2018	22,851,661	1.1%	5,411,146	14.5%	22,687,596	2.1%	1,010,586	9.0%	16,484,847	4.4%	9,532,470	3.4%
2019	22,953,045	0.4%	6,018,092	11.2%	22,997,003	1.4%	1,128,863	11.7%	16,954,196	2.8%	9,680,721	1.6%
Average Growth Rate	3.3%		20.4%		3.1%		12.5%		9.5%		3.7%	

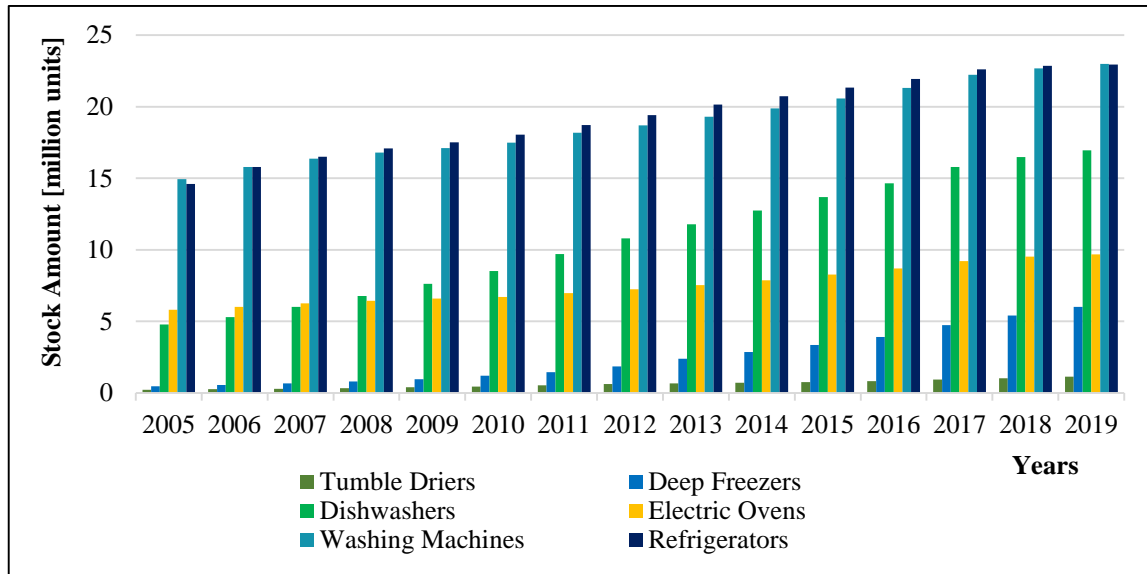


Figure 3. The total stock growth of large household stock by years

The total stock in use are estimated for 2019 as 22,953,045 units for refrigerators, 6,018,092 units for deep freezers, 22,997,003 units for washing machines, 1,128,863 units for tumble driers, 16,954,196 units for dishwashers and 9,680,721 units for electric ovens. If the estimated stock for each appliance group is divided by household numbers, the ownership rates can be calculated for the respected year. The ownership rates for refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble driers, dishwashers, and electric ovens are found for 2019 as 98%, 25%, 96%, 5%, 71%, and 40%, respectively. The results of the model overlap with the findings from Selçuk's (2018) and MENR's (2020) studies, except for tumble driers and electric ovens. The MENR's (2020) study indicates that 27% of households have a tumble drier, and 87% have an electric oven. In other words, the study depicts that the stock amount for tumble driers and electric ovens according to Equation 2 is expected to be 6,480,524 and 20,202,460 units, respectively. However, since the average sales of tumble dryers in the last ten years are approximately 100 thousand units per year and the characteristic service life is assumed 19 years, the tumble drier stock will never reach the findings in the MENR's study. On the other side, according to the MENR's study, the stock of electric ovens is more than two times compared to the calculated stock in this paper. As the reason for this difference, the participants who attended the MENR's study may have answered the question in the survey regarding electric ovens by considering their cooking equipment such as mini/midi ovens, microwave ovens, etc., which are classified under small household appliances. The other reason for the high results in the MENR study can be that the survey may focus on participants with high socioeconomic levels.

4. DETERMINING THE ELECTRICITY CONSUMPTION OF THE APPLIANCE STOCK

The electricity consumption of large household appliances can be determined by energy efficiency indexes and product electricity consumption formulas given in the energy labeling and eco-design communiqués. Due to the Customs Union agreement, Turkey harmonizes her legislation with the EU acquis. Therefore, the equations in this section are the same as given in the relevant EU legislation.

4.1. The Electricity Consumption of Refrigerators and Deep Freezers

The average electricity consumption of refrigerators and deep freezers is calculated by efficiency classes using the methodology based on the eco-design and labeling regulations on cooling products. The energy efficiency index (EEI) and the standard annual energy consumption (SAE) for household refrigerating

appliances are represented by Equation 5 and Equation 6 in the Communiqué on Environmentally Sensitive Design Requirements for Household Refrigerating Appliances (SGM 2011/17) [21];

$$EEI = \left(\frac{AE_a}{SAE_a} \right) \times 100 \quad 5$$

$$SAE_a = VE_{eq} \times M + N + CH \quad 6$$

EEI: Energy efficiency index;

AE_a : Annual energy consumption of the refrigerating appliance;

SAE_a : Standard annual energy consumption of the refrigerating appliance (kWh/yr);

VE_{eq} : Equivalent volume of the refrigerating appliance;

CH : Equal to 50 kWh/yr for refrigerating appliances with a chill compartment with a storage volume of at least 15 litres;

M ve N : Coefficients determined according to the refrigerating appliance categories defined in Table 7 of the Annex of the Communiqué.

The energy efficiency indexes are determined according to the energy efficiency classes put in practice as 01.07.2014, specified in the Communiqué on Energy Labeling of Household Refrigerating Appliances (SGM-2012/4) [22]. The average volumes for refrigerators and deep freezers are assumed as 500 and 200 liters, respectively. Accordingly, the stock electricity consumptions of refrigerators and deep freezers for 2019 are estimated as 9,630 GWh and 2,012 GWh, respectively.

4.2. The Electricity Consumption of Washing Machines

The EEI and the SAE for washing machines are presented by Equation 7 and Equation 8 in the Communiqué on Environmentally Sensitive Design Requirements for Household Washing Machines (SGM 2011/18) [23];

$$EEI = \left(\frac{AE_a}{SAE_a} \right) \times 100 \quad 7$$

$$SAE_a = 47 \times c + 51,7 \quad 8$$

AE_a : Annual energy consumption of the washing machine;

SAE_a : Standard annual energy consumption of the washing machine (kWh/yr);

c : Rated capacity of the washing machine for the standard 60°C cotton programme at full load or the standard 40 °C cotton programme at full load, whichever is the lower.

The energy efficiency indexes are determined according to the energy efficiency classes put in practice as of 22.06.2012, specified in the Communiqué on Energy Labeling of Household Washing Machines (SGM-2012/6) [24]. The capacity and washing cycles of washing machines are assumed as 7 kg and 220 cycles per year, respectively. Accordingly, the stock electricity consumption of washing machines for 2019 is estimated as 4,655 GWh.

4.3. The Electricity Consumption of Tumble Dryers

The EEI and the SAE for tumble driers are presented by Equation 9 and Equation 10 in the Communiqué on Environmentally Sensitive Design Requirements for Household Tumble Driers (SGM 2013/2) [25];

$$EEI = \left(\frac{AE_a}{SAE_a} \right) \times 100 \quad 9$$

$$SAE_a = 140 \times c^{0.8} \quad 10$$

AE_a : Annual energy consumption of the tumble driers;

SAE_a : Standard annual energy consumption of the tumble driers (kWh/yr);

c : Rated capacity of the tumble drier for the standard cotton programme.

The energy efficiency indexes are determined according to the energy efficiency classes put in practice as of 16.12.2015, specified in the Communiqué on Energy Labeling of Household Tumble Driers (SGM-2013/6) [26]. The capacity of the tumble driers is assumed as 7 kg. Accordingly, the stock electricity consumption of tumble driers for 2019 is estimated as 422 GWh.

4.4. The Electricity Consumption of Dishwashers

The EEI and the SAE for dishwashers are presented by Equation 11 and Equation 12 in the Communiqué on Environmentally Sensitive Design Requirements for Household Dishwashers (SGM 2011/19) [27];

$$EEI = \left(\frac{AE_a}{SAE_a} \right) \times 100 \quad 11$$

$$SAE_a = 7 \times ps + 378 \quad 12$$

AE_a : Annual energy consumption of the dishwashers;

SAE_a : Standard annual energy consumption of the dishwashers (kWh/yr);

ps : Number of place settings.

The energy efficiency indexes are determined according to the energy efficiency classes put in practice as of 22.06.2012, specified in the Communiqué on Energy Labeling of Household Dishwashers (SGM-2012/5) [28]. The number of place settings of dishwashers is assumed as 12. Accordingly, the stock electricity consumption of dishwashers for 2019 is estimated as 4,977 GWh.

4.5. The Electricity Consumption of Electric Ovens

The EEI and the SAE for electric ovens are presented by Equation 13 and Equation 14 in the Communiqué on Environmentally Sensitive Design Requirements for Domestic Ovens and Range Hoods (SGM 2015/7) [29];

$$EEI_{cavity} = \left(\frac{EC_{cavity}}{SEC_{cavity}} \right) \times 100 \quad 13$$

$$SEC_{cavity} = 0.0042 \times V + 0,55 \quad 14$$

EEI_{cavity} : Energy Efficiency Index for each cavity of a domestic oven;

EC_{cavity} : Energy consumption required to heat a standardised load in a cavity of an electrically heated oven during a cycle, expressed in kW;

SEC_{cavity} : Standard energy consumption required to heat a standardised load in a cavity of an electrically heated oven during a cycle, expressed in kWh;

V : Volume of the cavity of the electric oven in litres (L).

The energy efficiency indexes are determined according to the energy efficiency classes put in practice as of 14.01.2015, specified in the Communiqué on Energy Labeling of Domestic Ovens and Range Hoods (SGM-2015/8) [30]. The average capacity of electric ovens is assumed as 65 L. Accordingly, the stock electricity consumption of electric ovens for 2019 is estimated as 1,310 GWh.

4.6. An Assessment on the Electricity Consumption of Large Household Appliance Stock For the Period 2005-2019

The model results showed that the electricity consumption of large household appliances stock increased from 17,973 GWh in 2005 to 23,067 GWh in 2019. The stock represents 42.5% of residential electricity consumption in 2019.

One of the most remarkable findings in stock modeling is the decrease in electricity consumption of refrigerators by 47% in the period of 2005-2019. Thanks to improvements in energy efficiency, the total electricity consumption of the refrigerator stock firstly reached a plateau and then showed a slight downward trend, as presented in Figure 4. Although the energy efficiency of deep freezers has improved significantly over the years in parallel with the advancements in refrigerators, the increase in the deep freezers stock by 1,226% caused the stock consumption to increase approximately seven times in the last 15 years.

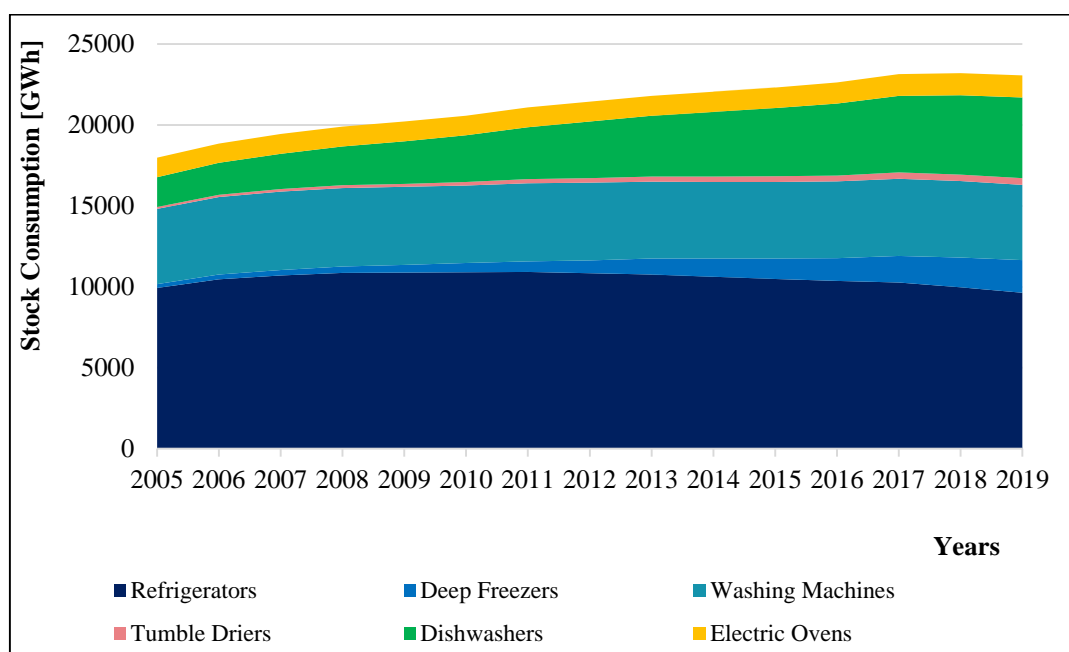


Figure 4. The estimated electricity consumption of large household appliances stock for the period 2005-2019

The model also revealed that the electricity consumption of washing machine stock followed similar trends with the electricity consumption of refrigerator stock. Despite a 38% improvement in energy efficiency in the washing machines, the electricity consumption of washing machine stock did not decrease due to the rise in the total stock by 54%. Although the energy efficiency of tumble driers showed a 44% improvement during the analyzed period, the electricity consumption of the tumble driers stock increased by 262% due to the rapid increase in the ownership rates.

Among the large household appliances, the modest energy efficiency improvement was seen in dishwashers with only 19% progress. The electricity consumption of dishwasher stock increased by 170% due to the increase in the stock by 255% over the analysis period. On the other hand, the electric ovens showed a 26% improvement in energy efficiency. The electric oven stock increased by 67%, leading to a rise in electricity consumption by only 15%.

Table 3 summarizes the increase in the stock amount of the large household appliances, the improvements in energy efficiency for each appliance group, and the total stock consumption over the analysis period.

Table 3. The total change in the stock, energy efficiency improvements in appliances and stock electricity consumption growth for the period 2015-2019

<i>Appliances</i>	<i>The Total Change in the Stock [%]</i>	<i>Energy Efficiency Improvements in Appliances [%]</i>	<i>Stock Electricity Consumption Growth [%]</i>
<i>Refrigerators</i>	57	47	-3
<i>Deep Freezers</i>	1,226	38	716
<i>Washing Machines</i>	54	38	1
<i>Tumble Driers</i>	415	44	262
<i>Dishwashers</i>	255	19	170
<i>Electric Ovens</i>	67	26	15

Nevertheless, a monitoring program for the large household appliances to meter real-time consumption in the residential sector by considering different socioeconomic groups is recommended for future analyses if the budget is available. Since the implementation of monitoring and audit programs is very costly, a bottom-up approach based on the stock accounting model can estimate the total electricity consumption of large household appliances. However, it is important to keep in mind that several factors may cause a significant difference between the results obtained from the real-time measurement and the stock model. One factor is that the equations in the eco-design and labeling communiqués are based on empirical formulas obtained from laboratory measurements. Thus the appliance usage practices in real life and consumer habits differ significantly from laboratory conditions. Another factor is that the increase in the welfare of the society encourages consumers to buy appliances with larger capacities that hamper to harvest energy efficiency potential.

5. THE FORECASTING OF STOCK ELECTRICITY CONSUMPTION UNTIL 2030

The development of the appliances stock and the progress in energy efficiency in the upcoming years will determine how the total electricity consumption of the household appliances stock evolves. As explained in Section 2, the stock can be estimated by household numbers and ownership rates according to Equation (1).

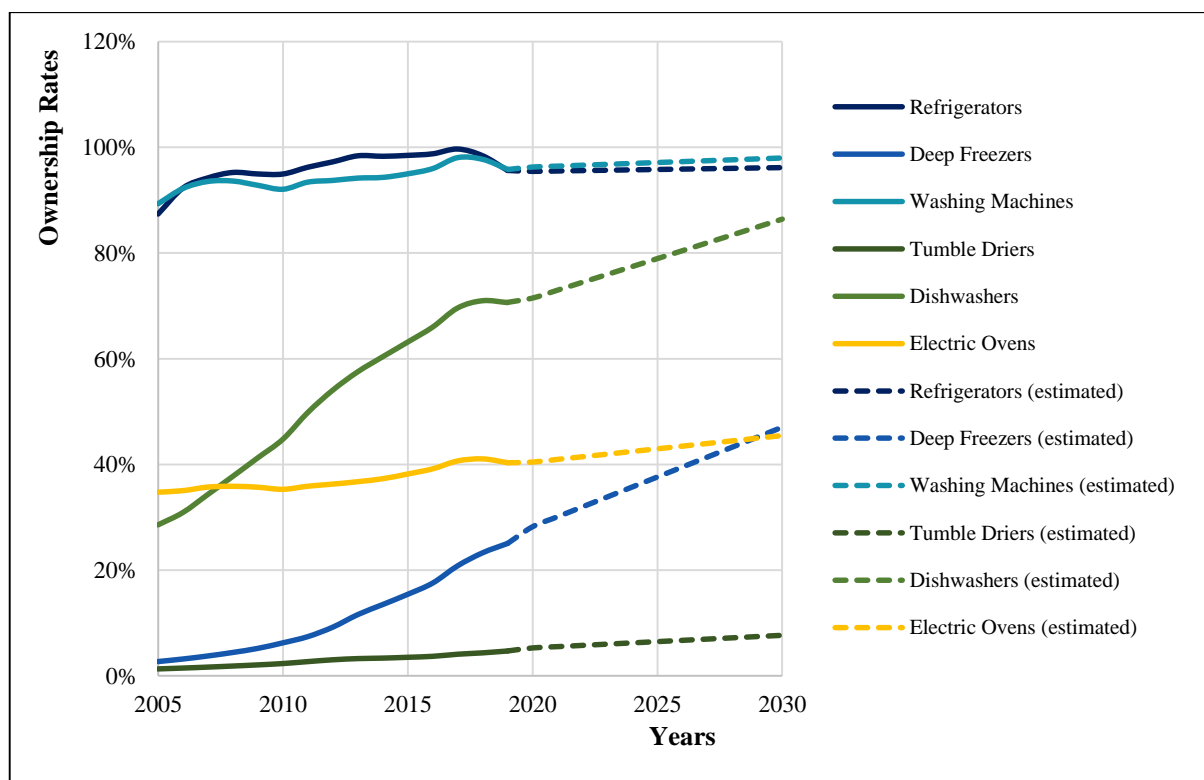
The correlation between the number of households and the population is examined to determine the number of households for the forecasting period of 2020-2030. Population and household statistics are taken from the TurkStat. The statistics are given in five-year periods between 1955 and 1990, for the years 2000 and 2011, and annually after 2014 by the TurkStat. As a result, a regression model is established and observed that a high positive correlation ($r = 0.9877$) between the number of households and the population exists.

The number of households is estimated for the analysis period with the polynomial regression model using the main scenario on the population projection of the TurkStat. The results are summarized in Table 4.

Table 4. Estimated number of households obtained from the regression model

Years	TurkStat Population Projection	Estimated Number of Households
2020	83,900,373	24,413,582
2021	84,908,658	24,993,914
2022	85,911,035	25,578,870
2023	86,907,367	26,168,226
2024	87,885,571	26,754,550
2025	88,844,934	27,336,981
2026	89,784,584	27,914,548
2027	90,703,600	28,486,233
2028	91,601,117	29,051,035
2029	92,476,323	29,607,975
2030	93,328,574	30,156,168

Equipment ownership rates are estimated by assuming that the equipment ownership rates will grow at the same scale in the 2020-2030 period in line with the growth rates from 2005 to 2019. The appliance ownership rates between 2005 and 2019 and estimated ownership rates between 2020 and 2030 are presented in Figure 6.

**Figure 6.** Development of ownership rates of large household appliances

Based on these assumptions, Equation (1) is used to calculate the stock amount of large household appliances by multiplying the number of households with the estimated ownership rates. After that, the

annual sales numbers between 2020 and 2030 are estimated. And finally, different scenarios are developed based on the expected sales numbers $\pm 5\%$. In addition, two different efficiency scenarios are developed to predict the total electricity consumption of large household appliances stock, assuming that the energy efficiency of the appliances will freeze and will not show any improvements after 2019; and the improvements in energy efficiency will follow the same trend as the improvements presented between 2005 and 2019. Accordingly, the obtained results for forecasted electricity consumption of the appliance stock by 2030 are presented in Table 5, and the electricity consumption projections until 2030 are shown in Figure 7.

Table 5. The forecasted appliance stock and its electricity consumption by 2030 based on the developed scenarios

Appliances	Stock in 2019	Forecasted Stock in 2030	Stock Electricity Consumption in 2019	Scenario 1: Sales=Estimated Efficiency=Frozen	Scenario 2: Sales=Estimated Efficiency=Past Trend	Scenario 3: Sales=Estimated-5% Efficiency=Frozen	Scenario 4: Sales=Estimated-5% Efficiency=Past Trend	Scenario 5: Sales=Estimated+5% Efficiency=Frozen	Scenario 6: Sales=Estimated+5% Efficiency=Past Trend
	Units		GWh	GWh (2030)					
Refrigerators	22,953,045	28,992,195	9,630	9,480	7,596	9,087	7,296	9,874	7,895
Deep Freezers	6,018,092	14,187,406	2,012	4,402	3,643	4,215	3,494	4,589	3,792
Washing Machines	22,997,003	29,536,540	4,655	5,126	4,320	4,913	4,148	5,338	4,492
Tumble Driers	1,128,863	2,310,043	422	645	519	617	498	672	540
Dishwashers	16,954,196	26,052,521	4,977	7,152	6,567	6,846	6,290	7,459	6,845
Electric Ovens	9,680,721	13,717,994	1,370	1,847	1,644	1,766	1,573	1,928	1,715
Total Stock Consumption			23,067	28,652	24,289	27,444	23,299	29,860	25,279

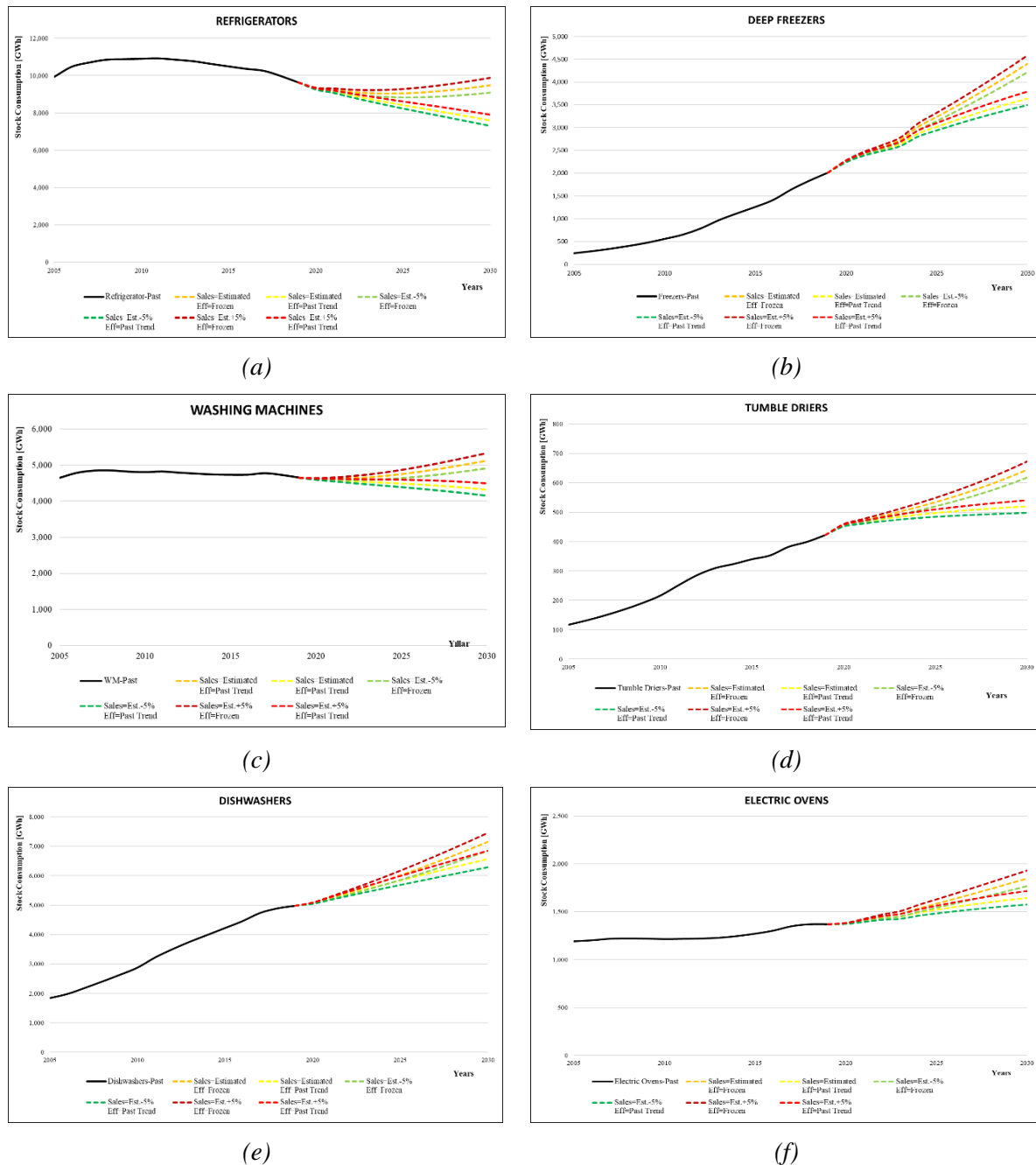


Figure 7. The projections on the electricity consumption of large household appliances by 2030 (a) Refrigerators (b) Deep freezers (c) Washing machines (d) Tumble driers (e) Dishwashers (f) Electric ovens

The forecast results on refrigerators show that the electricity consumption of the refrigerator stock will decrease in five scenarios, and a significant savings potential can be achieved through improvements in energy efficiency. With the decline in refrigerator sales and increase in energy efficiency, the stock electricity consumption may decrease to 24% until 2030 compared to the 2019 level.

In line with the projections indicating that deep freezer stock will increase more than twice, the electricity consumption of the deep freezer stock is expected to increase by at least 74% despite the improvements in energy efficiency.

On the other hand, the electricity consumption growth of the washing machine stock is more uncertain over the projection period. Depending on the sales and improvements in energy efficiency, the stock electricity consumption may increase, decrease or reach a plateau until 2030. Even in the scenario in

which the consumption is predicted to be the highest, the increase rate in the electricity consumption of the stock is expected to be 15%.

The electricity consumption of the tumble driers stock is expected to increase due to the rise in ownership rates. However, this rise is also expected to be suppressed by the improvements in energy efficiency. The increase in the rate of the stock electricity consumption is forecasted to be between 18% and 53%.

Based on the expectation of a 54% increase in the dishwasher stock, the electricity consumption is expected to rise by 26-50% until 2030. The decrease in sales and improvements in energy efficiency may pressure the rise in the stock electricity consumption.

The electricity consumption of electric ovens is expected to increase by 41%, depending on the increase in the electric ovens stock. Again, this increase may remain at more modest levels with the annual sales trends or efficiency gains.

6. CONCLUSION

As one of the most important policy tools in combating climate change, energy efficiency plays a significant role in meeting countries' energy demand, which is closely related to the increase in the population and welfare of society. Policymakers need to be supported with the analyses that show the main trends in energy consumption and how the consumption will evolve to determine the most appropriate energy efficiency policies in an environment with limited resources.

This study aims to contribute the analyses and research needed to determine the suitable policy options for the residential sector, representing one-fifth of Turkey's final energy consumption. For this purpose, a bottom-up approach based on the stock accounting model on large household appliances was implemented since appliances promise significant energy efficiency potential. Firstly, the stock of refrigerators, deep freezers, washing machines, tumble dryers, dishwashers, and electric ovens in use were estimated, and their electricity consumption was determined from 2005 to 2019. Analysis revealed that the stock electricity consumption increased by 42.5% compared to the 2005 level and reached 23,067 GWh in 2019.

The refrigerator and washing machine stock increased by 57% and 54%, respectively, between 2005 and 2019. On the other hand, the energy efficiency of refrigerators and washing machines improved by 20% and 25%, respectively. These activities caused the stock electricity consumption to surpass the upward trend and reach a plateau.

The stock electricity consumption of deep freezers, tumble driers, and dishwashers increased by 1.226%, 415%, and 255%, respectively, due to the rise in household ownership rates. The efficiencies of deep freezers, tumble driers, and dishwashers improved by 38%, 44%, and 19%, respectively. As a result of the rapid escalation in the stock, the stock electricity consumption of appliance groups increased by 1.7 to 7 times.

Consequently, the achieved gains through energy efficiency improvements in refrigerators and washing machines prevent the increase in energy consumption driven by the stock growth. However, the electricity consumption increased significantly for the rest of the appliance groups despite the improvements in energy efficiency since the household ownership rates grew dramatically between 2005 and 2019.

In addition, six different scenarios were developed, and projections were made depending on the estimated annual sales and the improvement in energy efficiency to forecast the development of the electricity consumption of large household appliance stock between 2020 and 2030. The results showed that the electricity consumption of refrigerator stock would decrease in five scenarios, although the refrigerator stock was expected to increase from 23 million in 2019 to 29 million in 2030. These results imply that the market transformation of efficient refrigerator appliances can be achieved without any social intervention, thanks to improvements in energy efficiency. Also, the deep freezer stock is expected to increase from 6 million to 14.2 million in the projection period, which will cause an increase from 2 TWh to over 4 TWh in the electricity consumption of deep freezer stock. Like the path followed by refrigerator stock, washing machine stock is predicted to rise from 23 million to 29.5 million. However,

the trend of the electricity consumption of washing machine stock is more uncertain. The future sales will determine how the electricity consumption of washing machine stock will evolve.

The electricity consumption of tumble dryers, dishwashers, and electric ovens stock is expected to increase in all scenarios during the projection period. The tumble dryer stock will increase from 1.1 million to 2.3 million, the dishwasher stock from 17 million to 26 million, and the electric oven stock from 9.7 million to 13.7 million until 2030. According to the scenario in which estimated sales are used, and energy efficiency follows the past trends, the electricity consumptions of clothes dryers, dishwashers, and electric ovens stock are forecasted to reach 519 GWh from 422 GWh, 6,567 GWh from 4,977 GWh, and 1,644 GWh from 1,370 GWh, respectively. As a result, the total electricity consumption of large household appliances is expected to rise by 5.3% compared to the 2019 level and reach 24,289 GWh in 2030.

The ownership rates of large household appliances are expected to increase with the rise in household welfare. However, the stock electricity consumption is forecasted to increase more modestly than the past trend despite the increasing stock. The tendency of the electricity consumption of large household appliances is tried to be determined with the scenarios developed. In this way, this study aimed to provide the required data sets that policymakers will need to determine suitable policy options. Detailed policy analysis is recommended for promoting the market transformation of efficient appliances for future studies.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the experts from the Department of Energy Efficiency and Environment of the Turkish Ministry of Energy and Natural Resources who contributed to the maturation of this study with their valuable comments, and the anonymous referees for constructive criticism of the manuscript. The opinions and comments stated in this study are strictly those of the authors and do not purport to reflect the opinions or views of the institutions they are affiliated with.

REFERENCES

- [1] Energy Efficiency Law (Law Number: 5627). The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 02.05.2007.
- [2] Energy Efficiency Strategy Paper. The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 25.02.2012.
- [3] National Energy Efficiency Action Plan. The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 02.01.2018.
- [4] The Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, "Kamuoyunda Enerji Verimliliğine İlişkin Bilgi, İlgi ve Davranış Boyutunu Tespit Etme Araştırması, Kantitatif Araştırma Raporu," Ankara, 2020.
- [5] I. Ş. Selçuk, "Türkiye Hanehalkı Elektrik Tüketim Yapısı: Elektrikli Ev Aletleri ve Enerji Verimliliği," *Fiscaeconomia*, col 2(2), pp. 125-140, 2018.
- [6] M. Ç. Şahin, "Konutlardaki Elektrikli Cihazların Bekleme Konumunda Elektrik Tüketiminin ve Buna Bağlı CO₂ Emisyonunun Belirlenmesi," M.Sc. Thesis, Hacettepe University Institute of Science, Ankara, 2012.
- [7] TEVEM, "Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu," 2010. 2020. [Online]. Available: https://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_turkiye-enerji-ve-enerji-verimliliği-calismalari-raporu-Temmuz-2010.pdf [Accessed May 5, 2020].

- [8] Z. Yumurtacı and A. H. Dönmez, "Konutlarda Enerji Verimliliği", *MühendisveMakina*, vol 54, no. 637, pp. 38-43, 2013.
- [9] Eurostat, *Manual for Statistics on Energy Consumption in Households*, pp. 32, 2013.
- [10] Odyssee-Mure, "Definition of Data and Energy Efficiency Indicators in ODYSSEE Database", (n.d.). 2020. [Online]. Available: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/other/definitions-energy-efficiency-indicators.pdf>. [Accessed May 21, 2020].
- [11] EVÜDP UNDP/GEF, *Türkiye'de Enerji Verimli Ürünlerin Piyasaya Dönüşümü Projesi*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013.
- [12] TÜRKBEŞD, "İç Satış Rakamları", 2020. [Online]. Available: <http://www.turkbesd.org/bilgiler.php?P=25>. [Accessed May 17, 2020].
- [13] The Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, "Konutlarda Enerji Tüketimi İzleme Planı Anket Değerlendirme Raporu," UNDP/GEF Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi, Ankara, 2016.
- [14] M. Heidari, D. Majcen, N. van der Lans, I. Floret and M. K. Patel, "Analysis of the Energy Efficiency Potential of Household Lighting in Switzerland Using a Stock Model," *Energy and Buildings*, vol 158, pp. 536–548, 2018.
- [15] S. Martínez-Montejo and C. Sheinbaum-Pardo, "The Impact of Energy Efficiency Standards on Residential Electricity Consumption in Mexico," *Energy for Sustainable Development*, vol 32, pp. 50–61, 2016.
- [16] T. M. I. Mahlia, H. H. Masjuki and I. A. Choudhury, "Theory of Energy Efficiency Standards and Labels," *Energy Conversion and Management*, vol 43, no. 6, pp. 743–761, 2002.
- [17] C. Welch and B. Rogers, "Estimating the Remaining Useful Life of Residential Appliances," ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, California, 15-20 August 2010.
- [18] T. Zachariadis, Z. Samaras and K. H. Zierock, "Dynamic Modeling of Vehicle Populations - An Engineering Approach for Emissions Calculations," *Technological Forecasting and Social Change*, vol 50, no. 2, pp. 135–149, 1995.
- [19] F. A. Diawuo, M. Sakah, A. Pina, P. Baptista and C. A. Silva, "Disaggregation and Characterization of Residential Electricity Use: Analysis for Ghana," *Sustainable Cities and Society*, vol 48, 2019.
- [20] F. A. Diawuo, A. Pina, P. C. Baptista and C. A. Silva, "Energy Efficiency Deployment: A Pathway to Sustainable Electrification in Ghana," *Journal of Cleaner Production*, vol 186, pp. 544-557, 2018.
- [21] The Turkish Ministry of Industry and Technology, *Ev Tipi Soğutma Cihazları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM 2011/17)*, The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 23.09.2011.
- [22] The Turkish Ministry of Industry and Technology, *Ev Tipi Soğutma Cihazlarının Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/4)*, The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 22.06.2012.
- [23] The Turkish Ministry of Industry and Technology, *Ev Tipi Çamaşır Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/18)*, The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 23.09.2011.
- [24] The Turkish Ministry of Industry and Technology, *Ev Tipi Çamaşır Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/6)*, The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 22.06.2012.

- [25] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2013/2), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 17.07.2013.
- [26] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2013/6), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 15.05.2015.
- [27] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Bulaşık Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/19), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 23.09.2011.
- [28] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Bulaşık Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/5), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 22.06.2012.
- [29] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Fırınlar, Ocaklar ve Aspiratörler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2015/7), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 14.01.2015.
- [30] The Turkish Ministry of Industry and Technology, Ev Tipi Fırınların ve Aspiratörlerin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2015/8), The Official Gazette of the Republic of Turkey. Published on 14.01.2015



Investigation of the Standard Deviation of Ornstein - Uhlenbeck Noise in the DDPG Algorithm

Mustafa Can BINGOL

Firat University, Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering, 23160, Merkez/ELAZIG

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the Standard Deviation of Ornstein - Uhlenbeck Noise Found in the deep deterministic policy gradient (DDPG) method, which is one of the reinforcement learning (RL), was investigated. For this purpose, system block diagram (seen Figure A) was used.

Article Info:

Research article
Received:01/02/2021
Revision:17/04/2021
Accepted:30/04/2021

Highlights

- Reinforcement learning
- Hyperparameter choosing

Keywords

Deep deterministic policy gradient (DDPG)
Ornstein-Uhlenbeck noise
Reinforcement learning
Inverse kinematics
Standard deviation range

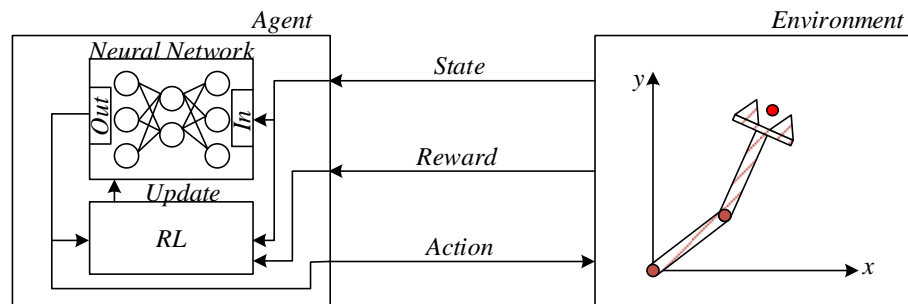


Figure A. RL algorithm block diagram

Purpose: In this study, the noise standard deviation of the deep deterministic policy gradient (DDPG) method, which is one of the policy learning algorithms, was examined.

Theory and Methods: Eight different functions were determined depending on the maximum value of the output of the action artificial neural network. Created artificial neural networks were trained by using these functions in 1000 iterations with 200 steps in each iteration. The best three groups were retrained 2500 iterations and 200 steps and tested for 100 different test scenarios after the training.

Results: After the training, the statistical difference between the groups was examined and it was found that there was no statistical difference between the three best groups. After testing, the inverse kinematic equation of a 2-DoF planar robot with minimal errors was obtained with the help of artificial neural networks.

Conclusion: In the light of the results, the importance of the choice of the standard deviation of noise and the correct range of selection was presented for researchers who will work in this field.



Investigation of the Standard Deviation of Ornstein - Uhlenbeck Noise in the DDPG Algorithm

Mustafa Can BİNGÖL 

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 23160, Merkez/ELAZIG

Abstract

Reinforcement learning is a learning method that many creatures often unwittingly use to gain abilities such as eating and walking. Inspired by this learning method, machine learning researchers have reduced this learning method to subheadings as value learning and policy learning. In this study, the noise standard deviation of the deep deterministic policy gradient (DDPG) method, which is one of the policy learning algorithms, was examined to solve inverse kinematics of a 2 degrees-of-freedom planar robot. For this examination, 8 different functions were determined depending on the maximum value of the output of the action artificial neural network. Created artificial neural networks were trained by using these functions in 1000 iterations with 200 steps in each iteration. After the training, the statistical difference between the three best groups was examined and it was found that there was no statistical difference between the three best groups. For this reason, the best three groups were retrained 2500 iterations and 200 steps and tested for 100 different test scenarios after the training. After testing, the inverse kinematic equation of the 2 degrees-of-freedom planar robot with minimal errors was obtained with the help of artificial neural networks. In the light of the results, the importance of the choice of the standard deviation of noise and the correct range of selection was presented for researchers who will work in this field.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başuru: 01/02/2021
Düzeltilme: 17/04/2021
Kabul: 30/04/2021

Keywords

Deep deterministic policy gradient (DDPG)
Ornstein-Uhlenbeck noise
Reinforcement learning
Inverse kinematics
Standard deviation range

Anahtar Kelimeler

Derin deterministik politika gradyanı (DDPG)
Ornstein-Uhlenbeck gürültüsü
Pekiştirmeli öğrenme
Ters kinematik
Standart sapma aralığı

DDPG Algoritmasında Bulunan Ornstein-Uhlenbeck Gürültüsünün Standart Sapmasının Araştırılması

Öz

Pekiştirmeli öğrenme, birçok canlının yemek yeme ve yürüme gibi beceriler kazanmak için genellikle farkında olmadan kullandığı bir öğrenme yöntemidir. Bu öğrenme yönteminden ilham alan makine öğrenmesi araştırmacıları, değer öğrenme ve politika öğrenme olarak bu öğrenme yöntemini alt başlıklara indirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada politika öğrenme algoritmalarından biri olan derin deterministik politika gradyanı (deep deterministic policy gradient-DDPG) yönteminin gürültü standart sapması bir adet 2 serbestlik dereceli düzlemsel robotunun ters kinematik çözümü için incelenmiştir. Yapılan bu inceleme için eylem yapay sinir ağının çıkışının maksimum değerine bağlı olarak 8 farklı fonksiyon belirlenmiştir. Oluşturulan yapay sinir ağları, bu fonksiyonlar kullanılarak her bir iterasyonda 200 adım olacak şekilde 1000 iterasyon eğitilmiştir. Eğitim sonrasında gruplar arası istatistiksel fark bakılmış ve en iyi üç grup arasında istatistiksel fark olmadığı saptanmıştır. Bu nedenle en iyi üç grup 2500 iterasyon ve 200 adım yeniden eğitilmiş ve eğitim sonrasında 100 farklı test senaryosu için test edilmiştir. Test işleminden sonra minimal hatalar ile 2 serbestlik dereceli düzlemsel robotunun ters kinematik denklemi yapay sinir ağları yardımı ile elde edilmiştir. Sonuçlar ışığında, gürültünün standart sapması seçiminin önemi ve hangi aralıkta seçilmesinin daha doğru olacağı bu alanda çalışacak olan araştırmacılar için sunulmuştur.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine öğrenmesi, öğrenme yöntemlerine göre denetimli (supervised), denetimsiz (unsupervised) ve pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning-RL) olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir [1]. Denetimli öğrenme, sayısal veya sözel ifadeler ile etiketlenmiş veri kümeleri kullanılarak belirlenen öğrenilebilir mimarilerin girişleri ile çıkışları arasındaki bağlantının kurulması işlemidir. Sınıflandırma

veya regresyon problemleri denetimli öğrenme yardımıyla çözülebilir. Denetimli öğrenmenin diğer öğrenme yöntemlerine göre en büyük dezavantajı veri kümesi oluşturma maliyetidir. Denetimsiz öğrenme, etiketlenmemiş verilerin belirlenen öğrenilebilir mimariler tarafından analiz edilmesi işlemidir. Denetimsiz öğrenme yardımı ile kümeleme veya matris tamamlama problemleri çözülebilir. Denetimsiz öğrenme ile denetimli öğrenme karşılaştırıldığında, denetimsiz öğrenmede veri kümesinin etiket verisi olmadığından veri kümesi daha hızlı oluşturulabilir. RL, doğrudan uygulanacağı çevrede deneme yanılma yöntemi ile oluşan ödül veya ceza değerlerine göre öğrenilebilir bir mimarinin eğitilmesi işlemidir. RL, robot kontrolü veya karmaşık kontrol problemlerini çözmek için kullanılabilir. RL, denetimli veya denetimsiz öğrenme gibi bir veri kümesine ihtiyaç duymadığı için diğer yöntemler ile kıyaslandığında daha maliyetsizdir.

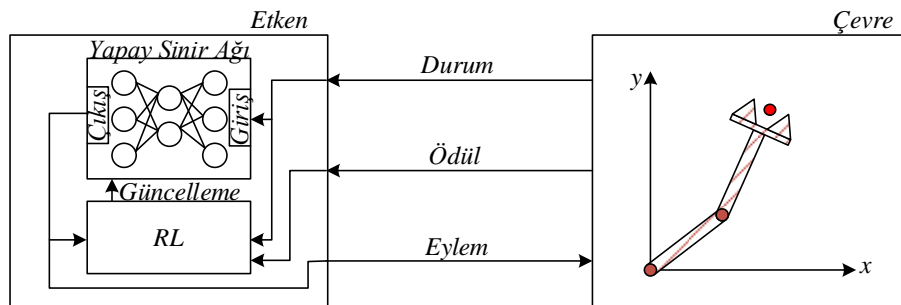
RL'nin temeli Markov karar sürecine dayanmaktadır. Markov karar süreci, ayrı zamanda gelişen skolaistik olayları anlık duruma (s) göre muhtemel eylem seçeneklerinin (a) ödülleri ($Q(s, a) = E[R(s, a)]$). dinamik olarak hesaplayarak en iyi bir sonraki durumu (s') tahmin etme yaklaşımıdır [2]. Derin RL algoritmaları, $Q(s, a)$ sonucunun tahmin edilerek $a = \operatorname{argmax}_{a'} Q(s, a')$ işlemini gerçekleştiren değer öğrenme (value learning) ve $a \simeq \pi(s)$ denklemini gerçekleştirmeye çalışan politika öğrenme (policy learning) olmak üzere iki farklı grupta incelenebilir. Derin deterministik politika gradyanı (deep deterministic policy gradient-DDPG) literatürde sıklık ile kullanılan bir mimaridir [3–9]. Örnek olarak 27 serbestlik derecesine (degree of freedom-DoF) sahip bir insansı robotun uç işlevcisinin hareketi sırasında robotun dengesini sağlama işlemi verilebilir [3]. Diğer bir çalışmada, özelleşmiş bir DDPG mimarisi olan ikiz gecikmiş DDPG yapısı kullanılarak 5-DoF robot kolunun ters kinematik çözümü yapılmıştır [4]. 7-DoF bir robotun nesnenin çalışma uzayında olup olmadığını algılama ve çalışma uzayında olan bir nesneye dokunabilme işlemi başka bir çalışmada DDPG yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [8]. Sadece eklemli robotlarda değil aynı zamanda doğrusal olmayan bir sistem olan insansız hava aracı gibi sistemlerde irtifa kontrolü DDPG yardımı ile gerçekleştirilmiştir [9].

Ornstein–Uhlenbeck süreci (OUS), matematikten [10] enerjiye [11] kadar birçok alanda sıklıkla kullanılan skolaistik türev işlemidir. Yapılan bir çalışmada, OUS kullanılarak rüzgâr gücünün tahmini çalışılmıştır [11]. Bir diğer çalışmada, uzun dönem tutarlı hedef tahmini OUS yardımı ile gerçekleştirilmiştir [12]. Robotik özelinde OUS incelendiğinde, RL'de bulunan etken (agent) yapısının keşfi için OUS kullanılmıştır [13]. Ayrıca, Çince kaligrafi robotu oluşturulması sırasında OUS bir gürültü terimi olarak kullanılmıştır [14].

Yürütülen bu çalışmada, DDPG algoritmasında yer alan gürültü terimi olarak OUS kullanılmıştır. Bu gürültü teriminin standart sapması 8 farklı fonksiyon ile kontrol edilmiştir. Oluşturulan bu sistem ile çok serbestlik dereceli bir robotun ters kinematik denkleminin çözümü sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

RL algoritması, etken (agent), çevre (environment), ödül (reward- r), durum (state- s) ve eylem (action- a) olmak üzere beş temel yapı üzerine kurulmuştur ve bu yapıların bir birleri ile ilişkisi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Derin RL algoritmasının blok diyagramı

Derin RL algoritmalarında, geleneksel RL algoritmalarında bulunan Q tabloları yerine yapay sinir ağı mimarileri kullanılmaktadır. Ayrı zamanda çalıştığı varsayılan RL sisteminin zaman indeksi t olmak üzere, gözlenen durum değişkenleri x_t , eylem a_t ve ödül r_t olur. Durum $s_t = (x_1, a_1, \dots, a_{t-1}, x_t)$

şeklinde gözlem ve eylem çiftleri halinde veya $s_t = x_t$ gösterilebilir. Eylemin modele giriş olarak verildiği RL sistemlerine model tabanlı RL denilirken aksi durum için modelden bağımsız RL olarak adlandırılabilir.

Politika tabanlı bir RL algoritmasında, durum uzayı (S), eylem uzayı (A) ve olasılık dağılımı ($\pi: S \rightarrow P(A)$) olarak tanımlanabilir. Bu algoritmalarda Markov yaklaşımı kullanarak işlem dinamiği $p(s_{t+1}|s_t, a_t)$ ve ödül fonksiyonu $r(s_t, a_t)$ olarak ifade edilebilir. Her hangi bir anda:

$$R_t = \sum_{i=t}^T \gamma^{(i-t)} r(s_i, a_i) \quad 1$$

eşitliği kullanılarak sadeleştirilmiş gelecek ödülü hesaplanabilir [15]. Sadeleştirme katsayısı ($\gamma \in [0,1]$) gelecek ödül değerinin (R) sonsuza gitmesini engellemek için kullanılmaktadır. RL algoritmasının amacı gelecek ödül değerini olabildiğince maksimum yapmaktır. Q değer fonksiyonu bu bilgiler ışığında:

$$Q(s_t, a_t) = E[R_t] \quad 2$$

şeklinde ifade edilir. Denklem 2 ve Bellman denklemi kullanılarak:

$$Q^*(s_t, a_t) = E[r(s_t, a_t) + \gamma Q^*(s_{t+1}, a'_{t+1})] = E[r(s_t, a_t) + \gamma Q^*(s_{t+1}, \mu(s_{t+1}))] \quad 3$$

optimal Q^* fonksiyonu elde edilir [16]. Hedef politika fonksiyonu $\mu: S \leftarrow A$ olarak tanımlanır.

2.1. DDPG Algoritması (DDPG Algorithm)

Değer öğrenme süreci ayrık zamanda çalışıp, sürekli zamanda yavaş çalıştığından dolayı geliştirilen DDPG algoritması Tablo 1'de sunulmuştur [16].

Tablo 1. DDPG Algoritması

Eleştirme ağı $Q(s, a \theta^Q)$ ve eylem ağını $\mu(s \theta^\mu)$ ağırlıkları θ^Q ile θ^μ başlat.
Hedef ağırları Q' ve μ' başlat ve $\theta^{Q'} \leftarrow \theta^Q, \theta^{\mu'} \leftarrow \theta^\mu$ ağırlıkları eşitle.
Tekrar oynatma hafızasını RB başlat.
for iterasyon=1:M
Keşif için gürültüyü η başlat.
İlk durum verileri s_1 'i al.
for t=1:T
$a_t = \mu(s_t \theta^\mu) + \eta_t$
$r_t, s_{t+1} = \text{Çevre}(a_t)$
$(s_t, a_t, r_t, s_{t+1}) \rightarrow RB$
RB 'den N tane örnek al.
$y_i = r_i + \gamma Q'(s_{t+1}, \mu'(s_{t+1} \theta^{\mu'})) \theta^{Q'}$
$L = \frac{1}{N} \sum_i (y_i - Q(s_i, a_i \theta^Q))^2$ fonksiyonunu minimize ederek eleştirme ağı güncelle
$\nabla_{\theta^\mu} J \simeq \frac{1}{N} \sum_i \nabla_a Q(s_i, \mu(s_i)) \nabla_{\theta^\mu} \mu(s_i \theta^\mu)$ gradyanı kullanarak eylem ağını güncelle
$\theta^{Q'} \leftarrow \tau \theta^Q + (1 - \tau) \theta^{Q'}$ hedef ağırların ağırlıklarını güncelle
$\theta^{\mu'} \leftarrow \tau \theta^\mu + (1 - \tau) \theta^{\mu'}$

RL algoritmalarının keşif ve sömürme olmak üzere iki temel özelliği vardır. Sömürme, çözüm uzayında bulunan en iyi sonuca yakın daha iyi bir sonuç olup olmadığını arama özelliğidir. Keşif özelliği ise çözüm uzayında bulunan en iyi sonuçtan bağımsız daha iyi bir sonucun olup olmadığını incelemesidir. Keşif özelliği genetik algoritmadaki mutasyon evresine benzetilebilir. DDPG algoritmasının yayınlandığı makalede keşif özelliği için OUS kullanılmıştır [16].

2.2. Ornstein–Uhlenbeck Süreci (Ornstein–Uhlenbeck Process)

OUS, Denklem 4’te sunulan skolaistik türev ifadesidir.

$$d\eta_t = -\theta\eta_t dt + \sigma dw_t \quad 4$$

Denklem 4’te η_t durum değışkeni türevinin ($d\eta_t$), hız katsayısı (θ), standart sapma (σ) ve Wiener işlemine (dw_t) bağı olduğı görölmektedir. Kayma katsayısı (ν) ve $d\eta_t = \frac{\eta_{t+1}-\eta_t}{dt}$ ileri fark eşitliğı kullanarak:

$$\eta_{t+1} = \eta_t + \theta(\nu - \eta_t)dt + \sigma w_t \quad 5$$

Denklem 4 revize edilebilir. Wiener işlemi:

$$w_n(t) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{1 \leq k \leq nt} \xi_k, t \in [0,1] \quad 6$$

denklemleri ile ifade edilir. Denklem 6’da kullanılan ξ_k ortalaması 0 varyansı 1 olan rasgele bir sayıdır. Yapılan çalışmada w_t yerine ortalaması 0 varyansı 1 olan Gauss dağılımlı beyaz gürültü kullanılmıştır. Ayrıca, θ , ν ve dt sırası ile sistemin maksimum çıkışı (upper bound-ub) $ub = \pi/18$, 0 ve 10^{-1} olarak seçilmiştir ve σ olarak:

$$SSF1 = \frac{ub}{10^5} \quad 7$$

$$SSF2 = \frac{ub}{10^4} \quad 8$$

$$SSF3 = \frac{ub}{10^3} \quad 9$$

$$SSF4 = \frac{ub}{10^2} \quad 10$$

$$SSF5 = \frac{ub}{10} \quad 11$$

$$SSF6 = \begin{cases} \frac{ub}{10^2} & i < 100 \\ \frac{ub}{10(i/10)} & DD \end{cases}, i = 1, 2, \dots, N \quad 12$$

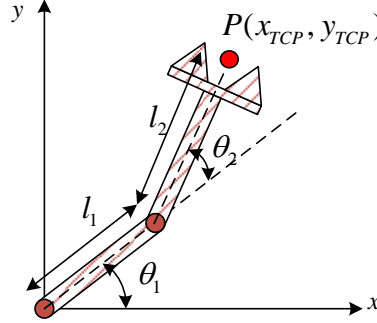
$$SSF7 = \begin{cases} \frac{ub}{10^2} & i < 100 \\ \frac{ub}{10\sqrt{i}} & DD \end{cases}, i = 1, 2, \dots, N \quad 13$$

$$SSF8 = \begin{cases} \frac{ub}{10^2} & i = 1 \\ \frac{SSF8}{10} & \text{mod}(i, 250) = 0 \\ SSF8 & DD \end{cases}, i = 1, 2, \dots, N \quad 14$$

standart sapma fonksiyonları (SSF) kullanılmıştır. Denklem 12-14’te i , N ve DD sırası ile anlık iterasyon numarasını, toplam iterasyon sayısını ve diğeri durumları sembolize etmektedir.

2.3. Sistemin Kinematik Modeli (Kinematic Model of System)

Hem standart sapma fonksiyonlarının araştırılabilmesi hem de sistemin kolay anlaşılabilmesi için yürütülen bu çalışmada Şekil 2’de sunulan 2 DoF düzlemsel robottan yararlanılmıştır.



Şekil 2. 2 DoF düzlemsel robot

$\theta = \{\theta_1, \theta_2\} \in \mathbb{R}$ ve $K: \mathbb{R}^{2 \times 1} \rightarrow \mathbb{R}^{2 \times 1}$ olmak üzere robot manipülâtörünün araç-merkez noktası (tool-center point-TCP) $P = K(\theta)$ şeklinde ifade edilebilir. K fonksiyonu sistemin kinematik modelini sembolize etmektedir. Yapılan çalışmada bu fonksiyon DH yöntemi ile elde edilmiştir ve DH parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. 2 DoF Düzlemsel Robot DH Parametreleri

Eksen-i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	-	$l_1 = 0.1m$	-
2	θ_2	-	$l_2 = 0.1m$	-

Elde edilen Tablo 2 ve:

$$T_i^{i-1} = R_{Z_{i-1}}(\theta_i) T_{Z_{i-1}}(d_i) T_{X_i}(a_i) R_{X_i}(\alpha_i) \quad 15$$

$$K(\omega) = T_1^0 T_2^1 \quad 16$$

homojen dönüşüm matrisi (T_i^{i-1}) kullanılarak sistemin kinematik modeli oluşturulmuştur. Denklem 15’te bulunan R_{Eksen} ve T_{Eksen} sırası ile eksene ait dönme ve öteleme işlemlerini ifade etmektedir.

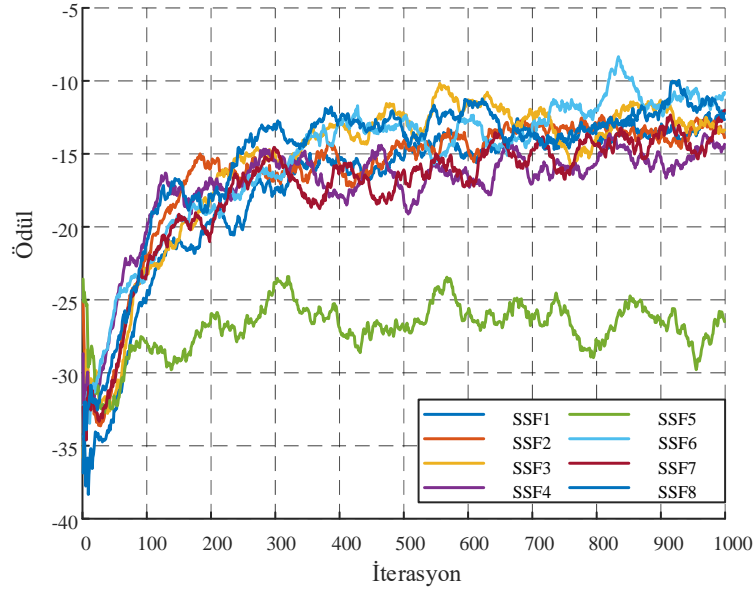
Yapılan bu çalışmada, DDPG algoritması ile sistemin ters kinematiği olan $\omega = K^{-1}(P)$ eşitliğini sağlayan K^{-1} fonksiyonun elde edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan bu sistemde ödül denklemi:

$$r(x_{TCP}, y_{TCP}, x_{REF}, y_{REF}) = -\sqrt{(x_{TCP} - x_{REF})^2 + (y_{TCP} - y_{REF})^2} \quad 17$$

kullanılmıştır. Denklem 17’de kullanılan (x_{TCP}, y_{TCP}) noktaları Şekil 2’de bahsedildiği üzere manipülâtörün araç-merkez noktasının koordinatlarını ifade etmektedir. Bu koordinatlar RL’nin ürettiği eklem açıları sayesinde güncellenmektedir. (x_{REF}, y_{REF}) koordinatı ise referans noktasını temsil etmektedir ve oluşturulan ortam sayesinde robotun çalışma uzayında bulunan noktalardan rasgele birinin seçilmesi ile belirlenmektedir.

3. BULGULAR (RESULTS)

Yapılan çalışmada, ilk olarak 1000 iterasyonda robotun çalışma uzayına uygun olarak farklı rastlantısal (x_{REF}, y_{REF}) noktası belirlenmiştir. Her bir iterasyon 200 adım çalıştırılmıştır ve elde edilen ödüllerin son 40 adıma göre ortalamaları Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Ortalama ödül değerleri

Farklı standart sapma fonksiyonlarına göre elde edilen Şekil 3, istatistiksel olarak Tablo 3 ve 4'te incelenmiştir.

Tablo 3. Ortalama Ödül Değerlerinin Ortalamaları ve Standart Sapmaları

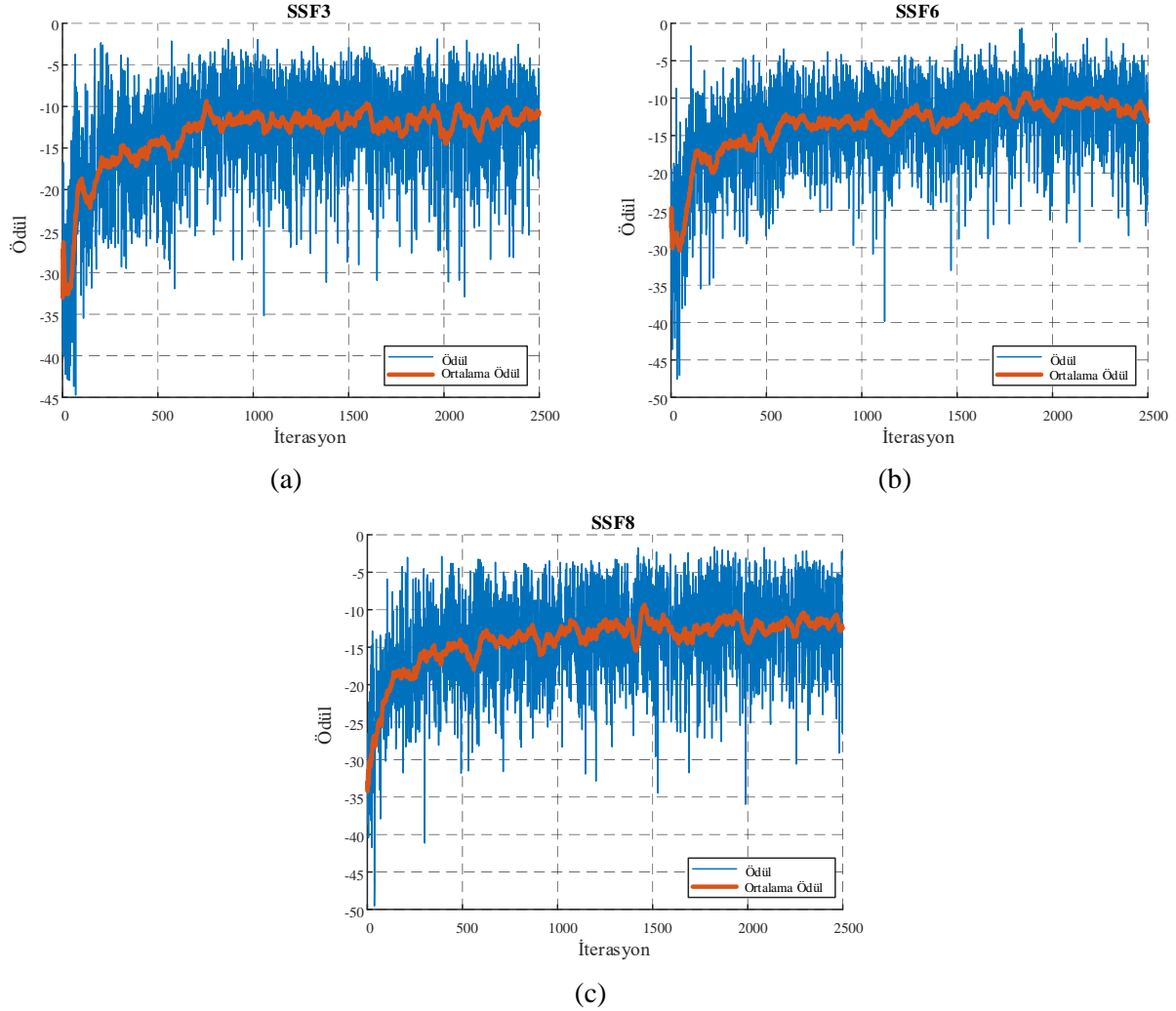
SSF (n)	Ortalama (\bar{X})	Standart Sapma (SS)
SSF1 (n:1000)	-17.289	5.520
SSF2 (n:1000)	-16.246	4.622
SSF3 (n:1000)	-15.600	5.413
SSF4 (n:1000)	-17.253	3.518
SSF5 (n:1000)	-26.864	1.695
SSF6 (n:1000)	-15.388	4.903
SSF7 (n:1000)	-17.489	4.549
SSF8 (n:1000)	-15.125	4.976

Ödül değerlerinin genel ortalaması yükseldikçe sistemin başarısı artmaktadır. Bütün gruplar istatistiksel olarak Tukey çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır. Bu testin kullanılma nedeni grup sayısının 2'den fazla olması ve gruplardaki örneklem sayısının eşit olmasıdır. Karşılaştırma sonrasında SSF3-6-8 gruplarının diğer gruplar ile aralarında istatistiksel bir fark olduğu sonucuna varılmıştır ($p < 0.05$). Ödül değerlerinin genel ortalaması karşılaştırma testi ile yorumlandığında, SSF3-6-8 gruplarının belirlenen problemin çözümünde diğer gruplardan daha başarılı olduğu görülmektedir. SSF3-6-8 gruplarının diğer gruplar ile istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Standart Sapma Fonksiyonlarının Karşılaştırılması

SSF-11	SSF-J1	p(11-J1)	SSF-12	SSF-J2	p(12-J2)	SSF-13	SSF-J3	p(13-J3)
	SSF1	<0.05		SSF1	<0.05		SSF1	<0.05
	SSF2	<0.05		SSF2	<0.05		SSF2	<0.05
	SSF4	<0.05		SSF3	0.969		SSF3	0.278
SSF3	SSF5	<0.05	SSF6	SSF4	<0.05	SSF8	SSF4	<0.05
	SSF6	0.969		SSF5	<0.05		SSF5	<0.05
	SSF7	<0.05		SSF7	<0.05		SSF6	0.903
	SSF8	0.278		SSF8	0.903		SSF7	<0.05

SSF3-6-8 diğer standart sapma fonksiyonlarına göre istatistiksel olarak farklı çıkarken ($p < 0.05$) kendi aralarında bir istatistiksel fark bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı SSF3-6-8 2500 iterasyon ve 200 adım tekrar eğitilmiştir. Bu eğitim sırasında oluşan ödül ve ortalama ödül grafikleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. 2500 iterasyon eğitim sonrası ödül ve ortalama ödül değerleri; (a) SSF3 ile eğitim sırasında oluşan ödül değerleri, (b) SSF6 ile eğitim sırasında oluşan ödül değerleri, (c) SSF8 ile eğitim sırasında oluşan ödül değerleri

Elde edilen ortalama ödül değerleri Tablo 5 ve 6'da sunulduğu üzere istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 5. Ortalama Ödül Değerlerinin Ortalamaları ve Standart Sapmaları

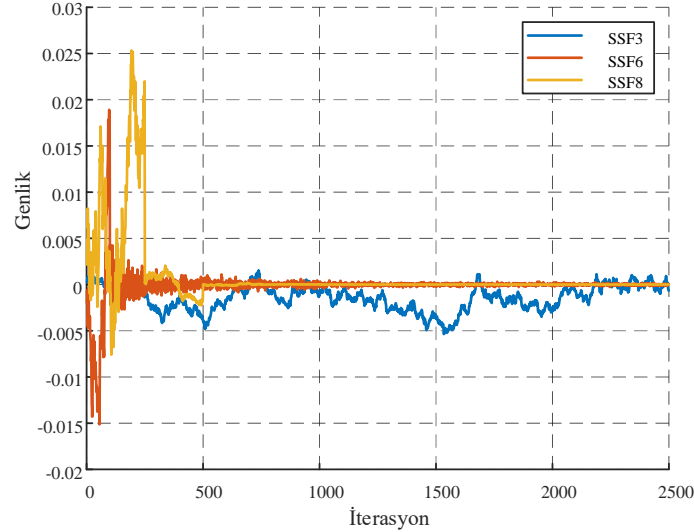
SSF (n)	Ortalama (\bar{X})	Standart Sapma (SS)
SSF3 (n:2500)	-13.332	3.693
SSF6 (n: 2500)	-13.605	3.618
SSF8 (n: 2500)	-14.075	3.362

Ortalama ödül değerlerinin ortalamaları çok yakın değerlerlerdir ve üç grup kendi aralarında yeniden Tukey karşılaştırma testine Tablo 6'da sunulduğu gibi tabi tutulmuştur.

Tablo 6. Belirlenen Standart Sapma Fonksiyonlarının Karşılaştırılması

SSF-I1	SSF-J1	p(I1-J1)	SSF-I2	SSF-J2	p(I2-J2)	SSF-I3	SSF-J3	p(I3-J3)
SSF3	SSF6	<0.05	SSF6	SSF3	<0.05	SSF8	SSF3	<0.05
	SSF8	<0.05		SSF8	<0.05		SSF6	<0.05

Karşılaştırma testinde üç grup birbirlerinden istatistiksel olarak farklı çıkmıştır ($p<0.05$). Bu deney sırasında oluşturulan gürültü Şekil 5'te sunulmuştur.

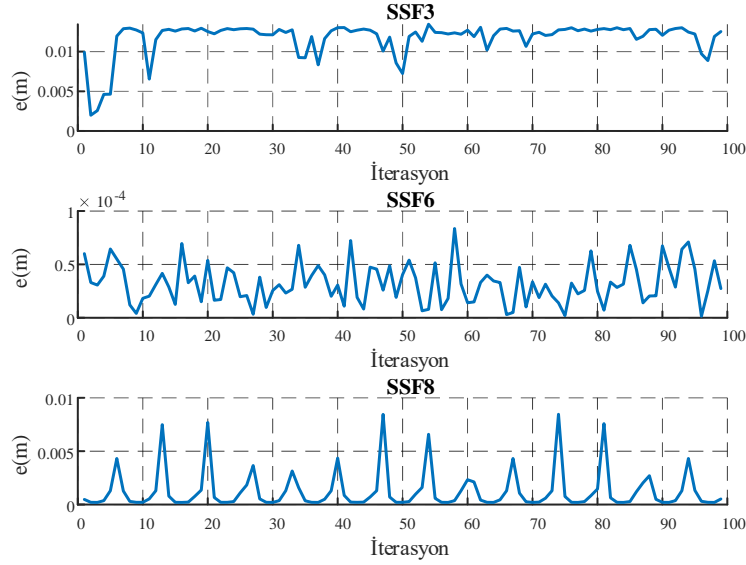


Şekil 5. Oluşturulan gürültüler

Yürütülen bu çalışmada bulunan yapay sinir ağları grafik işlem birimi (graphic processor unit-GPU) vasıtası ile eğitilmiştir. SSF3'ün eğitildiği PC özellikleri; 2 çekirdekli Intel Xeon CPU 2.00GHz, 12.72GB RAM, 147.15GB disk hafızası ve GPU olarak Nvidia Tesla V100-16GB-5120 Cuda- 640 Tensor çekirdeğidir. SSF6 ve 8'in eğitildiği PC özellikleri; 2 çekirdekli Intel Xeon CPU 2.00GHz, 12.72GB RAM, 147.15GB disk hafızası ve GPU olarak Nvidia Tesla P100-16GB-3584 Cuda çekirdeğidir. SSF3-6-8'in eğitim süreleri sırası ile 3335.451s, 2871.760s ve 2908.519s'dir. Bu üç SSF ile eğitilen yapılar eğitim aşamasına benzer şekilde 100 farklı referans noktası için test edilmiş, her bir test için oluşan hata Denklem 18 kullanılarak hesaplanmış ve bu testler sırasında oluşan minimum hatalar Şekil 6'da gösterilmiştir.

$$e(x_{TCP}, y_{TCP}, x_{REF}, y_{REF}) = \sqrt{(x_{TCP} - x_{REF})^2 + (y_{TCP} - y_{REF})^2}$$

18



Şekil 6. Test hata sonuçları

Şekil 6’da sunulduğu üzere çok serbestlik dereceli K^{-1} fonksiyonu üç farklı SSF fonksiyonu yardımıyla minimal hatalı olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

RL, doğada sıklıkla kullanılan bir öğrenme yöntemidir. RL’ye doğal bir örnek olarak bir çitanın herhangi bir öğreticisi olmadan doğumundan saatler sonrasında yüksek hızla koşması verilebilir. Yapılan bu çalışmada yapay sinir ağlarının 2 DoF düzlemsel robotun ters kinematiğini öğrenmesi için bir çevre oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistem içerisinde bulunan yapay sinir ağları (eleştirilen-eylem) DDPG algoritması yardımı ile eğitilmiştir. Bu eğitimler sırasında DDPG algoritmasında bulunan gürültünün standart sapmasının araştırılması için 8 farklı standart sapma fonksiyonu belirlenmiştir. Belirlenen bu standart sapma fonksiyonları, 1000 iterasyon ve her iterasyonda 200 adım olacak şekilde eğitilmiştir. Eğitim sonrası gruplar arası farka bakılmış ve en iyi üç standart sapma fonksiyonu 2500 iterasyon-200 adım eğitilmiştir. Bu eğitimlerde SSF3 kullanılan eğitimde Tesla V100, SSF6-8’de Tesla P100 GPU kullanılmıştır. V100 GPU gerek işlemci saatleri gerekse hem fazla sayıda hem de farklı mimaride bulunan çekirdekleri ile P100’dan 3 kat daha hızlıdır. Buna rağmen SSF3 3335.451s ile en çok vakit alan eğitim süresine sahiptir. Diğer iki fonksiyon ise bire bir aynı özelliklere sahip PC’lerde eğitilmiş ve SSF6, SSF8’den 36.759s daha hızlı eğitilmiştir. Hem oluşturulan gürültüler (Şekil 5) hem de Denklem 9-12-14 incelendiğinde SSF3 sürekli rejime sahip bir gürültü iken SSF6 ve 8 sifıra yakınsayan gürültülerdir. Bu sebepten dolayı eğitim süresinde farklılıklar oluştuğu düşünülmektedir. Eğitim performansı olarak Tablo 5 ve 6’da görüldüğü üzere üç grup istatistiksel olarak farklıdır. Test hata sonuçları (Şekil 6) incelendiğinde, SSF6 ile eğitilen yapay sinir ağlarının test sırasında en düşük hata üreten sinir ağı olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sebeplerden dolayı, çözülmesi planlanan 2 DoF düzlemsel robotun ters kinematiği için en uygun standart sapma fonksiyonu, SSF6’dır. Yapılan bu çalışma sayesinde, sistem dinamiği içermeyen benzer problemlerin çözümü için doğrudan belirtilen SSF3-6-8 kullanımı araştırmacıların çalışmalarına hız kazandırabilir. Gelecek çalışmalarda, farklı gürültü denklemlerinin farklı sistemler üzerine etkisi araştırılacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Murphy, K.P. (2012). Machine learning: a probabilistic perspective. MIT press. <https://doi.org/10.1109/pes.2005.1489456>
- [2] Geron, A. (2019). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow:

- Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. O'Reilly Media.
- [3] Phaniteja, S., Dewangan, P., Guhan, P., Sarkar, A. ve Krishna, K.M. (2017). A deep reinforcement learning approach for dynamically stable inverse kinematics of humanoid robots. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), s. 1818–23.
 - [4] Shi, X., Guo, Z., Huang, J., Shen, Y. ve Xia, L. (2020). A Distributed Reward Algorithm for Inverse Kinematics of Arm Robot. Proceedings - 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering, CACRE 2020, s. 92–6. <https://doi.org/10.1109/CACRE50138.2020.9230347>
 - [5] Wang, Y., Tong, J., Song, T.Y. ve Wan, Z.H. (2018). Unmanned surface vehicle course tracking control based on neural network and deep deterministic policy gradient algorithm. 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans, OCEANS - Kobe 2018, IEEE. s. 3–7. <https://doi.org/10.1109/OCEANSKOB.2018.8559329>
 - [6] Tuyen, L.P. ve Chung, T.C. (2017). Controlling bicycle using deep deterministic policy gradient algorithm. 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2017, s. 413–7. <https://doi.org/10.1109/URAI.2017.7992765>
 - [7] Wang, W.Y., Ma, F. ve Liu, J. (2019). Course tracking control for smart ships based on a deep deterministic policy gradient-based algorithm. ICTIS 2019 - 5th International Conference on Transportation Information and Safety, IEEE. s. 1400–4. <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2019.8883840>
 - [8] De La Bourdonnaye, F., Teuliere, C., Chateau, T. ve Triesch, J. (2019). Within Reach? Learning to touch objects without prior models. 2019 Joint IEEE 9th International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics, ICDL-EpiRob 2019, s. 93–8. <https://doi.org/10.1109/DEVLRN.2019.8850702>
 - [9] Ghouri, U.H., Zafar, M.U., Bari, S., Khan, H. ve Khan, M.U. (2019). Attitude Control of Quadcopter using Deterministic Policy Gradient Algorithms (DPGA). 2019 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital Systems, C-CODE 2019, IEEE. s. 149–53. <https://doi.org/10.1109/C-CODE.2019.8681003>
 - [10] Ayoubi, T. ve Bao, H. (2020). Persistence and extinction in stochastic delay Logistic equation by incorporating Ornstein-Uhlenbeck process. Applied Mathematics and Computation, Elsevier Inc. C.386, 125465. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2020.125465>
 - [11] Arenas-López, J.P. ve Badaoui, M. (2020). The Ornstein-Uhlenbeck process for estimating wind power under a memoryless transformation. Energy, C.213. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118842>
 - [12] Millefiori, L.M., Braca, P. ve Willett, P. (2016). Consistent Estimation of Randomly Sampled Ornstein-Uhlenbeck Process Long-Run Mean for Long-Term Target State Prediction. IEEE Signal Processing Letters, IEEE. C.23, Sayı 11, 1562–6. <https://doi.org/10.1109/LSP.2016.2605705>
 - [13] Nauta, J., Khaluf, Y. ve Simoons, P. (2019). Using the Ornstein-Uhlenbeck process for random exploration. COMPLEXIS 2019 - Proceedings of the 4th International Conference on Complexity, Future Information Systems and Risk, s. 59–66. <https://doi.org/10.5220/0007724500590066>
 - [14] Wu, R., Zhou, C., Chao, F., Yang, L., Lin, C.M. ve Shang, C. (2020). Integration of an actor-critic model and generative adversarial networks for a Chinese calligraphy robot. Neurocomputing, Elsevier B.V. C.388, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.01.043>
 - [15] Hou, Y., Liu, L., Wei, Q., Xu, X. ve Chen, C. (2017). A novel DDPG method with prioritized experience replay. 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2017, s. 316–21. <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8122622>
 - [16] Lillicrap, T.P., Hunt, J.J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y. vd. (2016). Continuous control with deep reinforcement learning. 4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016 - Conference Track Proceedings .



Detection of SSL/TLS Implementation Errors in Android Applications

Kaya Emre CİBALIK^{1,*} Cemal KOÇAK²

¹Gazi University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Department of Information Security Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi University Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Article Info

Research article
Received:10/02/2021
Revision:24/03/2021
Accepted:05/05/2021

Keywords

Android
Application Security
SSL/TLS
Mobile Security

Abstract

Security Socket Layer (SSL) / Transport Layer Security (TLS) protocols are utilized to secure network communication (e.g., transmitting user data). Failing to properly implement SSL/TLS configuration during the app development results in security risks. The weak implementations include trusting all host names, trusting all certificates, ignoring certificate verification errors, even lack of SSL public key pinning usage. These unsecured implementations may cause Man-In-The-Middle (MITM) attacks. The major aim of this research is to detect configuration errors of SSL/TLS implementation in Android apps. It consists of the common use of existing open source tools in the static analysis phase and the combination of manual method in the dynamic analysis phase. During the static analysis phase, dynamic analysis of the findings obtained by scanning four types of vulnerabilities is used to verify the abuse status of SSL/TLS by testing. The dynamic analysis is essential for eliminating false positives generated at the static analysis stage. We analyze 109 apps from Google Play Store and the experimental results show that 45 (41.28%) apps contain potential security errors in the application of SSL/TLS. We verify that 19 (17.43%) out of 109 apps are vulnerable to MITM attacks.

1. INTRODUCTION

In recent years with the wide usage of smartphones, we have used many mobile applications in our daily life. Along with these developments, people start using smartphones instead of traditional desktop computers. The number of smartphone users worldwide today surpasses three billion and is forecast to further grow by several hundred million in the next few years [1]. Today, the leading smartphone vendors are Samsung, Apple, and Huawei. As of the second quarter of 2017, Android drives the worldwide market with an 87.9 percent piece of the overall industry, while Apple's iOS is second. Android is likewise the frequently utilized working framework for tablet PCs around the world, with a 66 percent portion of the worldwide market in 2016 [2]. The number of accessible applications in the Google Play Store was most as of late set at 2.7 million applications, in the wake of outperforming 1 million applications in July 2013. Google Play was initially dispatched in October 2008 under the name Android Market. As Google's authentic application store, it offers its clients a range of applications and advanced media, including music, magazines, books, film, and TV [3]. Most apps use SSL/TLS protocol to transmit sensitive and its authentication data.

The primary motivation behind SSL is to provide end-to-end security against active attackers and third parties. Regardless of whether the system is entirely compromised, SSL is utilized to ensure confidentiality, integrity, and authenticity for communications between the client and the server. Authenticate to the server is a crucial part of SSL/TLS connection establishment. This authentication occurs during the SSL handshaking phase, while the server is sending its public-key certificate. To ensure that encrypted traffic is secure, the client-side application or operator must verify that this certificate has been issued by a valid certificate authority, has not expired (not been revoked) and the name(s) included in certificate match(es) the name of the domain that the client is trying to connect, and other connection checks for security [4].

There exist related work on inappropriate implementations of SSL/TLS in Android applications. A couple of studies [5-7], analyze issues with SSL warnings in their browsers but not inside of apps. These types of errors on SSL/TLS implementations cause MITM attacks on mobile environments. Fahl et al. [8], first raise this issue and developed an analysis tool called MalloDroid that detects vulnerabilities by using static code analysis. Then, the authors choose 100 of these vulnerable apps to perform dynamic analysis. The shortcoming of the methodology is that it requires manual confirmation of related vulnerabilities. Besides, they worked on an old version of Android OS. Sounthiraraj et al. [9] developed a tool called SMV-HUNTER that represented automated analysis of Android devices on this issue. They tested applications and libraries of SSL functionality on mobile devices running Android 2.3.6 and an iPad 2 running iOS 4.2.1 in the study. Yang et al. [10] performed only SSL/TLS error-handling vulnerability in hybrid web applications but did not deal with other codes that contain vulnerability of SSL/TLS verifications. Wang et al. [11] developed a static & dynamic analysis tool called DCDroid to detect SSL/TLS certificate verification vulnerabilities in Android apps. The shortcoming of the approach is that the authors performed dynamic analysis on Android 6.0 version but the publicly available latest Android version is Android 9.0 Pie in 2019.

In this study, we aim to detect configuration errors of SSL/TLS implementation in Android apps. We also checked whether the applications have certificate pinning in SSL/TLS validation mechanisms. We combine some open source tools for the static analysis phase and propose a model with the dynamic analysis phase. These apps cover a range from productivity, entertainment to public institutions. In summary, this paper makes the following contributions:

- We performed our study by using the Android 9.0 Pie version that is the latest version of Android released for major mobile devices in 2019. Due to using the latest version of Android OS, we planned to study on latest conditions of SSL/TLS implementations.
- We systematically studied vulnerabilities of SSL/TLS misconfigurations by combining some open source tools.
- We also checked whether or not SSL certificate pinning was used in applications during the static analysis phase.
- We choose apps according to ranks and categories.

The paper is organized as follows. Section 2, gives background information on how SSL is used in Android apps and how MITM attacks it can perform. In Section 3, we introduce the research statement and some challenges. In Section 4, we shared static and dynamic analysis processes and detailed information about them. In Section 5, we describe the data sets and give our experimental results. In Section 6, we discuss the limitations of our analysis. In Section 7, we conclude this paper and discuss the results.

2. BACKGROUND

In this section, we give the information of SSL/TLS in Android environment, Android UI and details of Man-in-the-middle attacks.

2.1. SSL/TLS InAndroid

SSL presently in fact known as TLS is a typical structure obstruct for encrypted communications among endpoints and servers. It is conceivable that an application may utilize SSL inaccurately to such an extent that malicious parties might have the option to block an application's information over the system. To enable you to guarantee this does not occur to your application, android applications have some features the basic pitfalls when utilizing secure system conventions and addresses some bigger worries about utilizing Public-Key Infrastructure (PKI) [12].

In a typical SSL usage scenario, a server is arranged with an endorsement containing an open key just as a coordinating private key. As a feature of the handshake between an SSL customer and server, the server demonstrates it has the private key by marking its authentication with open key cryptography. However, anybody can produce his or her own certificate and private key, so a simple handshake does not

demonstrate anything about the server other than that the server realizes the private key that matches the open key of the endorsement. One approach to tackle this issue is to have the customer have at least one testament it trusts. There are a few drawbacks to this basic methodology. Servers ought to be able to move up to more grounded keys after some time (key rotation), which replaces the open key in the authentication with another one. Lamentably, presently the customer application must be refreshed because of what is a server design change. This is dangerous if the server is not under the application engineer's control, for instance on the off chance that it is an outsider web administration. This methodology likewise has issues if the application needs to converse with self-assertive servers, for example, an internet browser or email application. To address these drawbacks, servers are ordinarily designed with testaments from understood guarantors called Certificate Authorities (CAs). The host stage mostly contains a rundown of surely understood CAs it trusts. As of Android 4.2 (Jelly Bean), Android at present contains over 100 CAs that are refreshed in each discharge.

Network Security Configuration was introduced on Android 7 and lets apps customize their network security settings such as custom trust anchors and Certificate pinning. At the point when applications target API Levels 24+(Android OS 7 and above) and are running on an Android device with versions 7+, they utilize a default Network Security Configuration that does not trust client provided CA's, decreasing the plausibility of MITM attacks by tricking clients to install malicious CA's [13].

With Android 9.0, they have made some changes and improvements to TLS validation mechanisms. RFC 2818 depicts two techniques to match a domain name against a certificate-utilizing the accessible names inside the Subject Alt Name (SAN) extension, or without a SAN extension, falling back to the Common Name (CN) [4]. Nonetheless, the fallback to the CN was deplored in RFC 2818. Therefore, Android never again falls back to utilizing the CN. To check a host-name, the server must present a certificate with a matching SAN. Declarations that do not contain a SAN matching the host-name are never again trusted [15].

After briefly explaining the working logic of SSL/TLS structure, we can talk about why certificate validation errors occur on devices using the Android operating system. Android OS has a self-defined SSL/TLS authentication and routing mechanism that does not invoke any vulnerability if properly used. However, there are many vulnerabilities because application developers do not properly configure their applications on related SSL/TLS libraries and classes [15]. To mention these situations;

- Trusting all certificates with X509TrustManager
- Improper check of domain name with Hostname Verifier
- Method for accepting all domain names (Allow_All_Hostname_Verifier)
- Ignoring SSL / TLS validation error when received with onReceivedSslerror()
- Lack of SSL Certificate Pinning.

2.2. Android User Interface And Navigation

Application's UI is everything that the client can see and cooperate with. Android gives an assortment of pre-fabricated UI parts, for example, organized format articles and UI controls that enable you to construct the graphical UI for your application. Android likewise gives other UI modules to unique interfaces, for example, exchanges, notices, and menus. An application can contain one or more Activity. These Activities are located in the AndroidManifest.xml file inside the application's apk file and start with Main Activity. It manages the view and windows. Therefore, in the dynamic analysis section, it is necessary to make audits with the help of the user interface to see which situations are causing the vulnerability.

2.3. Man-In-The-Middle-Attack (MITM)

MITM is a general term for when a perpetrator positions himself in a discussion between a client and an application-either to spy or to mimic one of the gatherings, causing it to show up as though an ordinary trade of data is in progress. There are many methods of attack in the intermediary and the means of attack used in these methods. However, if we examine the situation according to our SSL / TLS application, if the client cannot properly validate the certificate of the website or application to which it is linked, or if it contains some weaknesses in this approval mechanism, then the attackers may intervene and examine the traffic.

3. PROBLEM STATEMENT AND CHALLENGES

In this section, we introduce the major challenges in this work.

With Android 7.0, they have made some changes to the TLS validation and operation mechanism. With these changes, applications no longer rely on custom CAs added by the user or admin. Then, it is no longer possible to intervene with user-added CAs and monitor traffic during the dynamic analysis phase of applications. There are two ways to overcome this situation: it will both change the contents of the `network_config.xml` file and re-compile the application, or you will need to access the mobile device with root rights in the emulator and then import from Proxy's Certificate to trusted root certificates. However, many applications will not work when you compile again.

Since we will test the weak codes, we found in the static analysis section; it is not always possible to all of the weak codes in the static analysis section. For this reason, we have chosen the most widely used open-source applications in the market during static analysis and compared them. These are Androbugs [16] and, MobSF [17]. We improve that we can compare the output of at least two different open source tools and achieve better results.

In Dynamic analysis, especially Turkish Public institutions, apps have contained Turkish characters. Therefore, we could not read text box and view output properly from related applications. For this reason, we had to do the tests of Turkish applications manually.

To reproduce automated testing, we first need to comprehend the UI components on the present screen and give the activity of the essential components, for example, content boxes need to info content, radio boxes need to check. Besides, after that, we select the interface components with acute need to snap as per the aftereffects of static examination. Existing tools are not compatible with UI automation, such as Monkeyrunner [18], whose execution does not have any purpose and not suitable for exact clicks, so it is hard to trigger intended code. Some other automation tools, such as FlowDroid [19] and DroidScope [20], can find method call relations, but cannot trigger dynamically potentially vulnerable codes.

4. ANALYSIS PHASE

In the model that is presented as Figure 1 we propose, applications are subjected to static analysis first. We used two different open source tools (Androbugs and MobSF) for static analysis. With the help of these tools, we analyzed the results and examined the results. From the results of static analysis, we determined what the weak codes are. More importantly, we have identified which type of vulnerability the application contains. For example, does the application include SSL/TLS validation vulnerability or does not pause the operation when the SSL/TLS error is received, allowing the connection. We tried to detect such outputs in the static analysis stage. Then in dynamic analysis, we tested the outputs from the static analysis at runtime with the help of ADB [21] and AndroidViewClient [22]. We tried to test the weak codes that we found in the static analysis step by using AndroidViewClient in the dynamic analysis step with Culebra [23], automation scripts. AndroidViewClient is a 100% pure python library and apparatuses that disentangles test content creation and android test automation, giving higher level tasks and the capacity of acquiring the tree of Views present at any given moment on the device or emulator screen and perform activities on it.

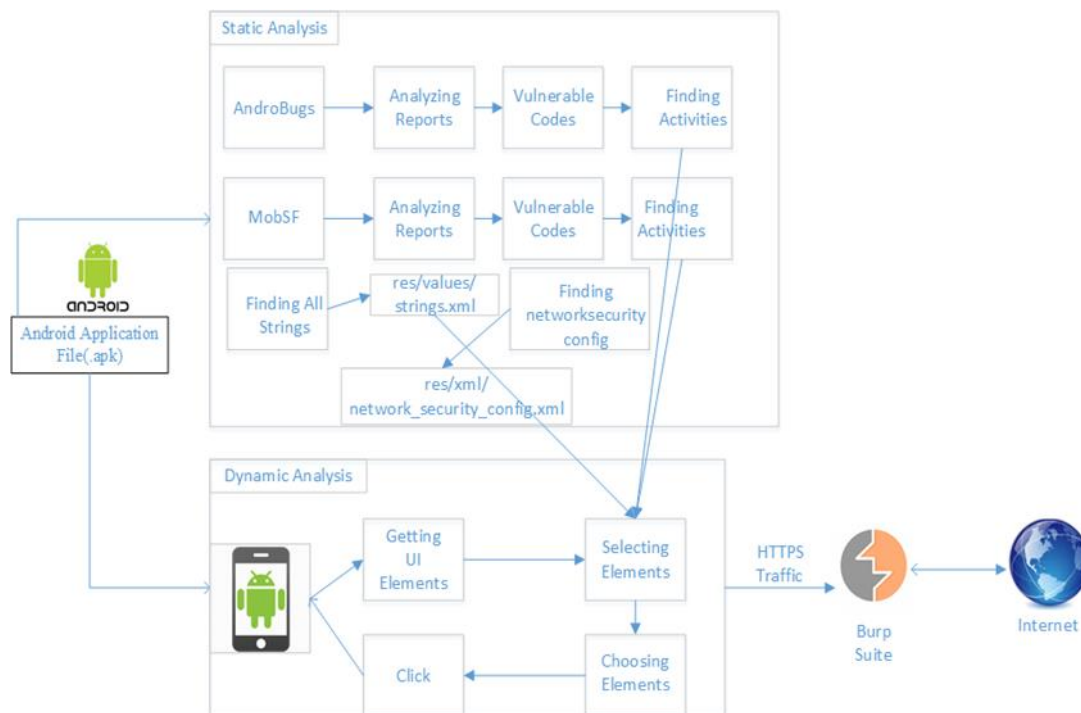


Figure 1. Testing model

4.1. Static Analysis

In this section, we explained the steps of the static analysis.

4.1.1. Testing Apps By Open-Source Tools

The process of static analysis starts with the process of decompile the application and convert it to source code. Decompiling process is mandatory whether using automated tools or using manual methods. In this work, we used two different open source tools, and these tools are used to automatically manage the decompile processes.

4.1.2. Source Code Analysis

SSL/TLS Implementation Checking: If it is not properly checked, It causes SSL/TLS verification error. In this topic, our tools checks whether the following methods exist and their results. `ALLOW_ALL_HOSTNAME_VERIFIER` or `AllowAllHostnameVerifier`, `getInsecure()` within `SSLCertificateSocketFactory` and `SSLSessionCache` methods.

SSL/TLS Certificate Verification Checking: If it is not properly checked, it may allow self-signed, expired or mismatch CN certificates for SSL/TLS connection. Those are vulnerable methods; `"checkClientTrusted"`, `"checkServerTrusted"`, `"getAcceptedIssuers"` methods within `"X509Certificate"` and functions with blank implementation.

SSL/TLS Certificate Pinning Checking: Certificate pinning is done by providing a set of certificates by hash of the public key (SubjectPublicKeyInfo of the X.509 certificate). A certificate chain is then valid only if the certificate chain contains at least one of the pinned public keys. If certificate pinning is set, the `"res/xml/network_security_config.xml"` file contains the hash of the public key of the certificate. When the pinning process is activated, the application will now be able to compare the hash of the public key of the server to which it is connected in SSL / TLS connections and the hash it has pin in the `network_security_config.xml` file to determine whether there is an attacker in the middle.

WebViewClient.onReceivedSSLerror checking: First, the `WebViewClient` class is searched for the existence of the class, and then the `onReceivedSslError` method is searched from these classes. This method has two different instructions, one of which ends with `proceed ()`, method in which the connection is resumed

even if the SSL connection fails. Therefore, this method and the detection of the outputs reveal the existence of weakness.

4.2. Dynamic Analysis

In this section, we explained the steps of dynamic analysis.

4.2.1. Device Management

We used the Android Emulator virtual device from within Android Studio because it is difficult to find devices at every API level. We also thought that the emulator would make our job easier in case of problems during the tests. While the emulator environment crashed during the tests, we would quickly fix the problem with restart. We have connected emulator devices with ADB tools. Afterwards, we installed the applications to be tested and started our dynamic tests in the UI automation section.

4.2.2. User InterfaceAutomation

User Interface Automation is an important and necessary step for dynamic analysis. Because speeding up this analysis with the help of some scripts and making it more regular will help us get the results faster and help us to minimize user errors.

When an application runs, it is necessary to read all the elements on the screen and remove the corresponding attributes. These attributes are buttons, text boxes and other input areas. After the information is obtained this system should be able to run the appropriate events according to the elements collected so that Activity can jump from one to another. For example, we used AndroidViewClient to manage the components we would like to manage, elements to call from the User Interface, create appropriate events, and execute the application.

4.2.3. Setting Proxy

To simulate SSL / TLS MITM attack, it must intercept all traffic between client and server. At this stage, we used two different proxy tools. We used the Burp Suite Community Edition [24], the most widely used and most stable tool in the field, to verify certificate pinning conditions. With Android 7.0, the Android device does not trust the certificates installed by the user or admin. For this reason, it is not possible to intercept the SSL / TLS traffic without performing any certificate operation. For this reason, we must first install the self-signed certificate or another self-signed certificate of the proxy settings to the Android emulator using ADB tools. In the meantime, you need to upload the proxy's certificate to the trusted-roots certificates field. To do this, you need to have root rights on the device. With the help of ADB tools on the emulator devices, we access the root rights and import the certificate of the proxy. For other tests, we used the Mitmproxy tool [25]. The purpose of using this tool, unlike other proxy tools, Mitmproxy tool can inject fake certificates on the fly and do this after analyzing the remote server's certificate. When we perform our tests importing no certificates, we can say that the applications where HTTPS traffic can be seen are vulnerable.

5. EXPERIMENTAL STUDY

In our experimental study, for static analysis a Kali [26], machine is installed in VMware workstation and Androbugs Framework and MobSF are installed. For dynamic analysis, we have one Windows 10 computer, Android Studio, Android Virtual Device Manager (AVD) and Android 8.0 Oreo, Android 9.0 Pie emulated device installed. In addition, Python 2.7 and ADB tool are installed to be run AndroidViewClient on this computer.

5.1. Dataset

Our dataset was selected on the original Android Play Store. When selecting the 109 applications, it was decided according to the download rates and popularity. These applications also include applications in public institutions in Turkey. The reason for this, as public institutions in Turkey to determine whether to take this type of application to take precautions against an attack and is to reveal the security features of

the application. In addition, many categories of applications have been selected from productivity to business applications, entertainment to dating applications. In addition, applications over 80M are excluded from the scope due to the data size on emulator.

5.2. Static Analysis

During the static analysis process, we conducted tests using apk files of the applications with the help of two different open source tools. The results of the static analysis process are summarized in Table 1. These results show that 45 (41.28%) of 109 apps contain potentially vulnerable code.

Table 1. Static Analysis Data

	Google Play Store	
	Count	Percentage
<i>Potential Vulnerable Apps</i>	45	41,28%
<i>Free from these type of vulnerabilities</i>	64	58,72%
<i>Total Apps</i>	109	100%

Besides, 64 apps do not contain vulnerable codes that we have defined. These applications were removed in the emulator environment after the static analysis process and disk space was cleaned.

5.3. Dynamic Analysis

During the dynamic analysis phase, we installed our applications in the emulator environment. We run code that may contain potential weaknesses and examine the results. Dynamic analysis results were summarized in Table 2. These results show that 19 (42.22%) of 45 apps are vulnerable for SSL/TLS attacks.

Table 2. Dynamic Analysis Data

	Google Play Store	
	Count	Percentage
<i>Vulnerability Confirmed</i>	19	42,22%
<i>Vulnerability Free</i>	26	57,78%
<i>Total Apps</i>	45	100%

6. LIMITATION OF OUR ANALYSIS

Our proposed model performs automatic detection of SSL/TLS implementations and verifications errors and vulnerabilities, including the guidance of static and dynamic detection. However, there are still many limitations of our model.

In the static analysis phase, we used two different open source tools (MobSF, Androbugs). Using this type of tool has some advantages and some limitations. For example, in our study, the tools cannot control the Certificate Pinning condition. Therefore, we checked this condition manually from the source code. In other cases in static detection, we check source code of applications by decompiling with our open-source tools. We realized that in some conditions our open source tools classified applications as vulnerable by finding on source code that includes using the creating your X509Certificate class API instead of existing API. We also suggest existing API, otherwise, we cannot say that your apps are vulnerable.

Considering the overall study, the codes found in the static analysis were tested in dynamic analysis. There may also have been human errors because of our inability to automate this data transfer situation.

7. CONCLUSION

In this study, we propose a model to detect the configuration errors, vulnerabilities, and coding issues on SSL/TLS implementations. We analyzed 109 apps from Google Play Store. Our experimental results

show that with static analysis 45(41.28%) apps contain potential vulnerabilities in the implementation and verification of SSL/TLS and with further dynamic analysis 19 (42.22%) of 45 apps are verified as vulnerable MITM attacks. We also used this model to analyze vulnerable apps, including categories, rank, and public institutions. In the future work, we are going to model to automate data transfer from static analysis codes to dynamic analysis environment and we are going to add an extension to be check the Certificate Pinning situation in the static analysis phase.

REFERENCES

- [1] “Smartphone users 2020”, (2020). Statista,<https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- [2] “Android versions market share 2019”, (2020). Statista,<https://www.statista.com/statistics/271774/share-of-android-platforms-on-mobile-devices-with-android-os/>
- [3] “Google Play Store: number of apps 2020”, (2020). Statista,<https://www.statista.com/statistics/266210/number-of-available-applications-in-the-google-play-store/>
- [4] Rescorla,E. “HTTP Over TLS”. (2000). <https://tools.ietf.org/html/rfc2818>.
- [5] Akhawe, D., & Felt, A. P., (2013). Alice in warningland: A large-scale field study of browser security warning effectiveness. In 22nd USENIX Security Symposium (USENIX Security 13), 257-272.
- [6] Felt, A.P., Ainslie, A.,Reeder,R.W., Consolvo,S., Thyagaraja,S., Bettis,A., Harris,H., &Grimes,J. (2015). Improving SSL Warnings: Comprehension and Adherence. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems(pp. 2893–2902).
- [7] Sunshine, J., Egelman, S., Almuhiemedi, H., Atri, N., &Cranor, L. F. (2009). Crying Wolf: An Empirical Study of SSL Warning Effectiveness. In USENIX security symposium (pp. 399-416).
- [8] Fahl, S., Harbach, M., Muders, T., Baumgärtner, L., Freisleben, B., & Smith, M. (2012). Why Eve and Mallory love Android: An analysis of Android SSL (in) security. In Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security (pp. 50-61).
- [9] Sounthiraraj, D., Sahs, J., Greenwood, G., Lin, Z., & Khan, L. (2014). Smv-hunter: Large scale, automated detection of ssl/tls man-in-the-middle vulnerabilities in android apps. In In Proceedings of the 21st Annual Network and Distributed System Security Symposium (NDSS’14).
- [10] Liu, Y., Zuo, C., Zhang, Z., Guo, S., & Xu, X. (2018). An automatically vetting mechanism for SSL error-handling vulnerability in android hybrid Web apps. *World Wide Web*, 21(1), 127-150.
- [11] Wang, Y., Liu, X., Mao, W., & Wang, W. (2019). Dcdroid: Automated detection of ssl/tls certificate verification vulnerabilities in android apps. In Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference-China (pp. 1-9).
- [12] Security with HTTPS and SSL. (n.d.). Android Developers, <https://developer.android.com/training/articles/security-ssl>
- [13] Changes to Trusted Certificate Authorities in Android Nougat, Android Developers Blog, <https://android-developers.googleblog.com/2016/07/changes-to-trusted-certificate.html>.
- [14] Behavior changes: All apps | Android Developers. (n.d.). <https://developer.android.com/about/versions/pie/android-9.0-changes-all>.
- [15] Wei, X., & Wolf, M. (2017). A survey on HTTPS implementation by Android apps: issues and countermeasures. *Applied Computing and Informatics*, 13(2), 101-117.
- [16] Lin, Y.-C., AndroBugs/AndroBugs_Framework. (2021). GitHub.

- [17] “GitHub-MobSF/Mobile-Security-Framework-MobSF”. <https://github.com/MobSF/Mobile-Security-Framework-MobSF>.
- [18] “monkeyrunner”. Android Developers. <https://developer.android.com/studio/test/monkeyrunner>.
- [19] Arzt, S., Rasthofer, S., Fritz, C., Bodden, E., Bartel, A., Klein, J., & McDaniel, P. (2014). Flowdroid: Precise context, flow, field, object-sensitive and lifecycle-aware taint analysis for android apps. *AcmSigplan Notices*, 49(6), 259-269.
- [20] Yan, L. K., & Yin, H. (2012). Droidscape: Seamlessly reconstructing the OS and dalvik semantic views for dynamic android malware analysis. In *21st USENIX Security Symposium (USENIX Security 12)* (pp. 569-584).
- [21] “Android Debug Bridge (adb)”. Android Developers. <https://developer.android.com/studio/command-line/adb>.
- [22] Milano, D. T., [dtmilano/AndroidViewClient](https://github.com/dtmilano/AndroidViewClient). (2021). <https://github.com/dtmilano/AndroidViewClient>
- [23] Milano, D. T., (2021). <https://github.com/dtmilano/AndroidViewClient/wiki/culebra>.
- [24] “Burp Suite - Application Security Testing Software”. <https://portswigger.net/burp>.
- [25] “mitmproxy - an interactive HTTPS proxy”. <https://mitmproxy.org/>.
- [26] “Offensive Security Introduces Kali Linux”. <https://www.kali.org/offensive-security-introduces-kali-linux/>.



Developing of a Virtual MCA to Acquire a Radiation Spectrum

Gözde TEKTAŞ^{1,2,*} Cüneyt ÇELİKTAŞ²

¹Izmir University of Economics Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 35330, Balçova/IZMIR

²Ege University Faculty of Science, Department of Physics, 35100, Bornova/IZMIR

Article Info

Research article
Received:22/02/2021
Revision:14/04/2021
Accepted:20/04/2021

Keywords

Virtual MCA
Real MCA
Pulse Processing

Abstract

A virtual MCA (Multichannel Analyzer) was developed via a software in the computer environment to display a spectrum for radiation detection experiments. A pulse generator that substitutes for a particle detector was used to supply the signals to be analyzed in the MCA. The pulses from the generator were analyzed by a virtual MCA and a real MCA. Channel numbers and the number of counts in these channels, and the total counts obtained from the virtual MCA and the real MCA were compared with each other. For comparing of the number of counts, data were accumulated in different acquisition times. After comparison of the results, it was observed that the virtual MCA was quite successful as well as a real MCA. It was concluded from the introduced work that the developed virtual MCA would be able to use in a radiation detection system like a real one.

1. INTRODUCTION

Virtual instrumentation refers to the use of computers and workstations, in combination with data collection hardware devices and virtual instrumentation software, to construct an integrated instrumentation system [1]. In test and measurement areas, virtual instrumentation has been widely adopted [2]. With virtual instruments, engineers and scientists build measurement and automation systems that suit their needs exactly instead of being limited by traditional fixed-function instruments [3].

Nuclear DSP (Digital Signal Processing) systems are commonly realized by the virtual instrumentation technique which is performed in LabVIEW graphical programming environment [4].

LabVIEW is a fully functional graphical programming language which offers a variety of features that simplifies the development of sophisticated applications for control, instrumentation, and data acquisition [5]. Using LabVIEW utilization of virtual instrumentation was possible in electrical engineering applications [6], prototype design in cardiac systolic function [7] and teaching-learning process in engineering [8].

The particles with different energies from a radioactive source generate electric signals with different amplitudes in a radiation detector. However, pulse generators are used to generate the pulses with different amplitudes, shapes, frequencies and so on. For this reason, a pulse generator was used here to stand for the detector signals without any radiation exposure.

Devices which sort out incoming pulses according to pulse heights and keep the number of counts at each height in a multichannel memory are multichannel analyzers (MCA) [9]. They take their input from an analog amplifier and digitize the incoming pulse heights placing the accumulated data into the memory and displaying this pulse height distribution in a histogram [10]. With this specification, they use to acquire the energy spectrum of the incident particles from a radioactive source to a detector.

In the literature, multichannel pulse height analyzer using field programmable gate array (FPGA) was described by Newton, Ghadigaonkar and D'souza. A graphical user interface was designed using LabVIEW [11]. For nuclear spectroscopy system, a MCA that uses the analog to digital converter (ADC) of a sound card was developed through LabVIEW program [12]. Cao et al. designed a multi-channel and time-division pulse height analyzer based on PXIe bus using 16 bit ADC and FPGA for hard X-ray diagnostic [13]. A FPGA-based digital gamma spectrometer was developed by Liu et al. [14]. For gamma spectroscopy, a systematic literature review of MCA based on FPGA was given by Susanto et al. [15]. An online digital signal processing system based on an FPGA was developed by Kim et al. The system was tested for gamma rays from ^{137}Cs [16]. An environmental gamma spectrometry system was developed by Mitra et al. An in-house designed and developed FPGA based MCA was used [17]. Digital multi-channel analyzer implemented on FPGA was designed by Thuraka, Ganesh and Prakash et al. [18].

In this study, it was aimed to develop a virtual MCA through LabVIEW program in a computer environment. Its specifications (such as count of the pulses) are performed by the software. The data were acquired through a digitizer to the virtual MCA, and a code was written for this data acquisition different from the other referenced works. Pulses acquired from a pulse generator were processed with the virtual MCA and the real MCA. It was investigated whether channel numbers and the number of counts in the virtual MCA were compatible with those of the real one. Thus, the developed virtual MCA was tested whether it would be able to used instead of the real MCA or not.

2.MATERIALS AND METHODS

In the present study, a virtual MCA was developed via LabVIEW software in the computer environment in order to use it for a radiation detection experiment to accumulate and analyze the detector signals. In the virtual MCA, the processes such as displaying the spectrum, determination of the number of counts were performed by a written code using the software functions. A part of the block diagram of the virtual MCA is given in Figure 1.

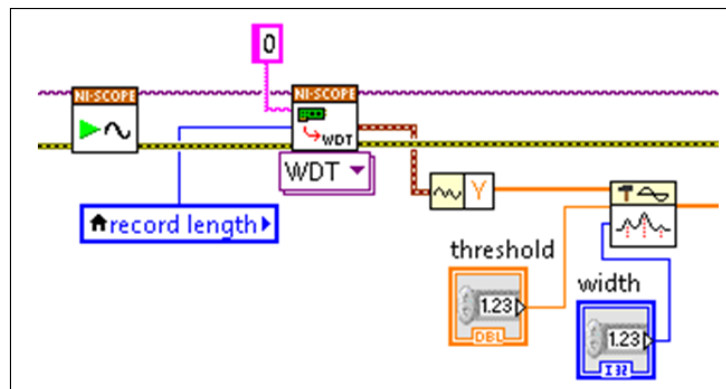


Figure 1. A part of the block diagram of the virtual MCA

The channel numbers and the number of counts in these channels, and the total counts acquired from the virtual MCA were compared with those of a real MCA (ORTEC TRUMP 8k). For this comparison, a pulse generator (ORTEC 419) and an amplifier (ORTEC 485) were used. The pulse generator generates the pulses like a detector output signals. It simulates the detection of a nuclear particle reaction in a semiconductor or scintillation radiation detector, as well as serving as a specialized pulse generator for use with pulse processing instrumentation [19]. The amplifier is a general-purpose amplifier that allows operation with semiconductor detectors and scintillation detectors in a wide variety of applications [20]. It has coarse and fine gain switches. The pulses acquired from the generator were sent to the input of the amplifier. After the pulses were amplified by the amplifier, the output pulses were processed by the virtual MCA through a digitizer (NI 5133), and the real MCA. A block diagram used for the measurements can be seen in Figure 2. The pulses with the frequency of 50 Hz were used in the measurements.

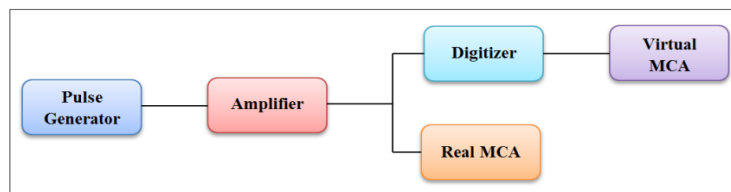


Figure 2. A circuit schema for the measurements

2.1. Comparison of the Channel Numbers

To compare the channel numbers of the virtual and real MCAs, the coarse gain value of the amplifier was changed from 2 to 64, and the channel numbers with maximum counts of the accumulated spectra were displayed in both MCAs. The fine gain value of the amplifier was adjusted to 5, which is the mid value, and kept constant, and the acquisition time was 100 s during this process. Thus, we tested whether the places of the pulses from the generator, which means channel numbers, were the same in both MCAs.

2.2. Comparison of the Counts

The acquisition time was changed to test whether the total counts obtained from both MCAs were compatible with each other. So, it was adjusted to 50, 100, 200 and 300 s. Each measurement was repeated three times to sensitively determine the number of counts for each time value. The counts from both MCAs were accumulated, and their averages were compared with each other.

3. RESULTS

For each value of the coarse gain, the channel numbers and the number of counts in these channels are given in Table 1 for both MCAs.

Table 1. Channel numbers and the number of counts in these channels in both MCAs

<i>Coarse Gain</i>	<i>Real MCA</i>		<i>Virtual MCA</i>	
	<i>Channel Number</i>	<i>Counts</i>	<i>Channel Number</i>	<i>Counts</i>
2	15	4996	15	4034
4	31	4997	31	2715
8	62	5000	62	4193
16	84	4989	83	3918
32	169	4331	169	3286
64	341	4031	340	1827

A certain channel number shifts as the gain value of the amplifier increases in the MCA spectrum. In order to check this shift versus coarse gain values, and to compare the spectrum shapes for the different coarse gain values, obtained spectra displayed in both MCAs for 8 (min.) and 64 (max.) settings of the coarse gains were given. For these coarse gain values, the displayed spectra are presented in Figures 3 and 4.

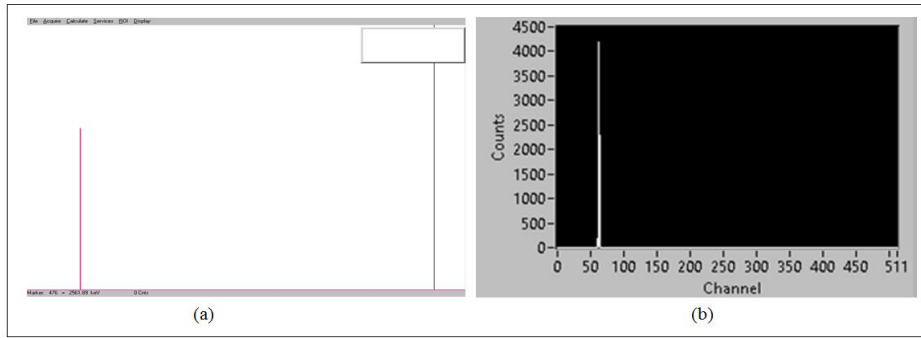


Figure 3. Spectrum shapes for min. (8) setting of the coarse gain in (a) the real MCA and (b) the virtual MCA

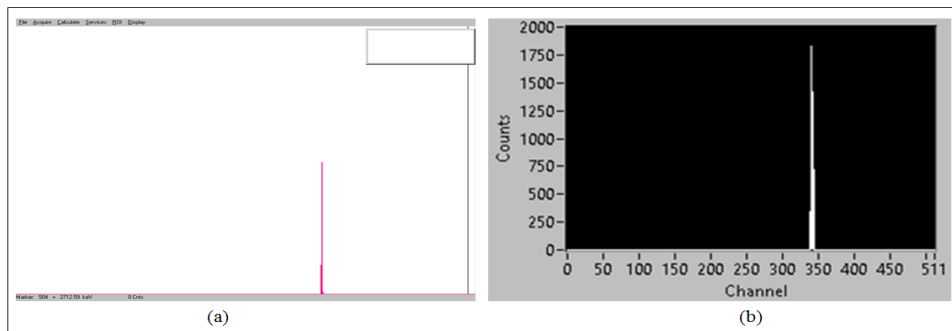


Figure 4. Spectrum shapes for max. (64) setting of the coarse gain in (a) the real MCA and (b) the virtual MCA

To test the total count performance of the virtual MCA, the pulses from the generator were accumulated in both MCAs through the amplifier. Accordingly, the averages of recorded total counts from both MCAs are also shown in Table 2 for different acquisition times. The coarse and fine gain values were fixed to 32 and 5 respectively which they are mid ranges of the scales.

Table 2. Average counts obtained from both MCAs for different acquisition times

<i>Time (s)</i>	<i>Real MCA Average Counts</i>	<i>Virtual MCA Average Counts</i>
50	2499 ± 0.577	2501 ± 0.667
100	4998 ± 0.000	5001 ± 0.333
200	9995 ± 0.882	10001 ± 0.882
300	14992 ± 0.882	15001 ± 0.577

It was observed that the counts obtained from the virtual MCA increased, as expected, when the acquisition time was increased.

4.CONCLUSIONS

In the present study, a virtual MCA was developed via software to be able to use it in a radiation detection experiment. The spectra of a pulse generator were displayed by the virtual and real MCAs. The channel numbers of the spectra versus different gain values, the number of counts acquired for different acquisition times were obtained from both MCAs, and they were compared with each other to test the performance of the virtual MCA.

As can be seen in Table 1, channel numbers and the counts in these channels in response to different gain values from the virtual MCA and the real MCA were quite compatible with each other. When the coarse

gain value was increased, the spectra in both MCAs were normally shifted to the right, i.e. the higher channel number, because of amplitude increment. While amplitudes of the pulses are determined by the software function in the virtual MCA, this process is performed via the internal electronic circuits in the real MCA. So, the amplitudes of the pulses from the generator were determined in different procedure by both MCAs. For this reason, the pulses were recorded in the different channels in both MCAs, and the counts in these channels were normally not same with each other.

Even though the peak heights, i.e. the number of counts, in the peaks Figures 3 and 4 seem different from each other, they in fact have almost same heights as indicated in Table 1; the difference is due to the appearances of the figures. It can be deduced from the figures that the spectrum shapes displayed in the virtual MCA were rather compatible with the shapes of the real one.

In addition to above, the average counts in different acquisition times acquired from both MCAs were compatible with each other as shown in Table 2. As stated above, the difference of the counts stems from the acquisition procedure of both MCAs.

A while loop was used in the developed code for the virtual MCA. The while loop executes the code it contains until a condition occurs [21]. LabVIEW timer functions use the operating system timers. If the timer function is used to control a loop, differences in the time intervals between each iteration of the loop can be expected depending on the speed of the Central Processing Unit (CPU) of the computer. In addition, several opened windows in the operation system act the while loop speed, affecting the data acquisition performance [22]. For this reason, the number of iteration of the while loop will be different for the same acquisition time. This is the reason why the differences in the total counts were observed in each measurement for the same acquisition time. Furthermore, we could not learn the error sources for the real MCA although we asked the producing company; so, we inferred that its operation procedure details might be confidential. However, as can be seen in Table 2, the errors in the counts obtained from both MCAs were very few.

Consequently, it was deduced from this study that the developed virtual MCA could be used to display the spectrum, to accumulate and record the counts in this spectrum in different acquisition times like a real MCA. Our next work will be on the acquisition the spectrum by the virtual MCA using the detector output signals in a radiation detection setup.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Scientific Research Foundation of Ege University under project No. 14 FEN 052.

REFERENCES

- [1] Sumathi, S., & Surekha, P. (2007). *LabVIEW based advanced instrumentation systems*. Berlin: Springer.
- [2] Jerome, J. (2010). *Virtual instrumentation using LabVIEW*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
- [3] NI, "Virtual Instrumentation", <https://www.ni.com/en-tr/innovations/white-papers/06/virtual-instrumentation.html>, Accessed: 17/03/2021.
- [4] Folea, S. (2011). *LabVIEW-practical applications and solutions: Application of virtual instrumentation in nuclear physics experiments* (Jiri Pechousek). Croatia: InTech.
- [5] Tooley, M. (2005). *PC based instrumentation and control* (Third edition). Burlington: Elsevier.
- [6] Ramachandiran, G., Kandhasamy, J., & Saminathan, A. (2020). Virtual instrumentation in electrical engineering applications. *J. Inst. Eng. India Ser. B*, 101, 193-199. <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00437-w>

- [7] Mățiu-Iovan, L., Ordodi, V., Ionel, R., & Bonciog, D. (2020). Virtual instrumentation based prototype for evaluation of the cardiac systolic function. 2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 1-4. doi:10.1109/ISETC50328.2020.9301047
- [8] Aswale, P. S. (2020). Teaching-learning process in engineering using virtual instrument based on LABVIEW. IJETT, 7(1), 15006-15008.
- [9] Leo, W. R. (1987). Techniques for nuclear and particle physics experiments. Berlin: Springer-Verlag.
- [10] ORTEC, "Pulse-Height, Charge, or Energy Spectroscopy", <https://www.ortec-online.com/-/media/ametekortec/research-electronics-applications/pulse-height-charge-energy-spectroscopy.pdf?dmc=1&la=en&revision=dc127fad-999f-4b76-b190-c5f37964061a&hash=E49B7ACCA956E39AC647869BC1E4C0F3>, Accessed: 17/03/2021.
- [11] Newton, F., Ghadigaonkar, V., & D'souza, C. (2015). Multichannel pulse height analyser using FPGA for data acquisition. International Journal of Students Research in Technology & Management, 3(05), 363-364.
- [12] Ibrahim, M. M., Yussup, N., Lombigit, L., Rahman, N. A. A., & Jaafar, Z. (2014). Development of multichannel analyzer using sound card ADC for nuclear spectroscopy system. AIP Conf. Proc., 1584, 50-53. doi: 10.1063/1.4866103
- [13] Cao, H. R., Wang, H. X., Zheng, Y. Y. et al. (2020). Development of digital multi-channel and time-division pulse height analyzer based on PXIE bus for hard X-ray diagnostic in East. Instrum Exp Tech, 63, 453-460. <https://doi.org/10.1134/S002044122004003X>
- [14] Liu, Y., Xiong, H., Dong, C., Zhao, C., Zhou, Q., & Li, S. (2020). Real-time signal processing in field programmable gate array based digital gamma-ray spectrometer. Rev. Sci. Instrum., 91, 104707. <https://doi.org/10.1063/5.0005694>
- [15] Susanto, A. T. et al. (2020). A systematic literature reviews of multichannel analyzer based on FPGA for gamma spectroscopy. J. Phys.: Conf. Ser., 1528, 012016. doi:10.1088/1742-6596/1528/1/012016
- [16] Kim, B. J. et al. (2020). Design of optimal digital filter and digital signal processing for a CdZnTe high resolution gamma-ray system. Applied Radiation and Isotopes, 162, 109171. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109171>
- [17] Mitra, P. et al. (2021). An environmental gamma spectrometry system with CsI(Tl) scintillator and FPGA based MCA for open field deployment. Applied Radiation and Isotopes, 172, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109677>
- [18] Thuraka, E. R., Ganesh, R., Prakash, D. B. et al. (2021). Digital multi-channel analyzer for detection and analysis of radiation in nuclear spectroscopy. Materials Today: Proceedings, 38, 3160-3167. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.580>
- [19] ORTEC, "419 Precision Pulse Generator", <https://www.ortec-online.com/products/electronics/pulse-generator/419>, Accessed: 17/03/2021.
- [20] Bryn Mawr College, "Model 485 Amplifier Operating and Service Manual", http://bascom.brynmawr.edu/physics/courses/phys331/resource/manuals/ortec_485_amplifier.pdf, Accessed: 17/03/2021.
- [21] NI, "Execution Structures in LabVIEW", <https://www.ni.com/getting-started/labview-basics/execution-structures>, Accessed: 17/03/2021.
- [22] NI, "Accuracy of Software-Timed Applications in LabVIEW", <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P9QiSAK&l=en-TR>, Accessed: 17/03/2021.



A Comparison of Two Discrimination Spectrometers

Elif Ebru ERMİŞ^{1,*} Cüneyt ÇELİKTAŞ²

¹Izmir Tinaztepe University, Vocational School of Health Services, Medical Imaging Techniques Department, 35400, Buca/IZMIR

²Ege University, Faculty of Science, Physics Department, 35100, Bornova/IZMIR

Article Info

Research article

Received: 25/02/2021

Revision: 25/24/2021

Accepted: 28/04/2021

Keywords

Gamma-ray spectroscopy

¹³⁷Cs

NaI(Tl)

Puls shape discrimination

Abstract

In order to obtain a neat gamma spectrum, two spectrometers were examined for the discrimination of the low-energy part of the ¹³⁷Cs gamma-ray spectrum which has electronic noise. Pulse shape discrimination (PSD) time measurement (timing) method was used for this purpose. This method, briefly, depends on the rise time measurement process of the signals. While implementing the process, a constant fraction discriminator (CFD) and a pulse shape analyzer (PSA) devices were used separately. Obtained spectra from the spectrometers were compared with each other. To perform an exact comparison, partial and complete discrimination processes were realized. After the comparison, it was concluded that the discrimination process through the spectrometer with PSA device was more successful than that of the other one. It was suggested that the PSD method using the PSA device would give a clearer gamma spectrum when accumulating it by a NaI(Tl) scintillation detector.

1. INTRODUCTION

Energy spectrum of a radioactive source gives us the information about the source showing the spectral distribution of energy. In other words, energy spectrum of a radioactive source is the number of the particles in each energy value for the detected energy interval.

The evaluation of the interaction in a medium of the particles emitted from radioisotopes can be discussed as energy spectrum. Neat energy spectrum, i.e. only the energy spectrum of the particles emitted from a radioactive source (discriminated from any other artificial pulses such as background) is the main characteristic in the energy spectrum.

Distinguishing the different types of particles is known as pulse shape discrimination (PSD). With a certain scintillator, it is possible to distinguish between different types of particles by analyzing the shape of the generated light in the scintillator. This is due to the excitation of different specific energy loss of the particles (dE/dx) in the scintillator material.

In order to discriminate the unwanted signals from the original signals, a widely used method is PSD method. With this method, pulse shape differences of the different types of particles can be measured [1]. By this way, the elimination of the low-energy part of the source energy spectrum was performed in the present study.

PSD is a kind of time discrimination method. In this method, the suppression of the unwanted signals is performed by measuring the decay time of each pulse electronically, and free from the amplitude. In practice, but, only over a limited range of amplitudes can be distinguished efficiently [2]. A capacitor with a long-time constant, in a conventional preamplifier, integrates the charge produced by the scintillator light in a photomultiplier tube (PMT). Owing to the different scintillator decay times, formed signals in the PMT have different rise times (the time between 10% and 90% of the amplitude in the

leading edge of a signal) naturally, and these rise time differences can be on the order of a microsecond [3]. Further information about PSD is available at numerous works [2, 4-6]. For example, PSD technique was used to discern between neutron and gamma-ray interactions in certain organic scintillators by Ruch et al. [7]. Yanagida et al. [8], Doucet et al. [9] and Senoville et al. [10] used the PSD method for neutron-gamma discrimination. Recker et al. [11] utilized from the PSD technique in various electronics for particle detection. This technique was used to discriminate the photons and neutrons in the energy range of 0.1-2 GeV by Sugiyama et al. [12]. It is clear that the PSD is a daily method in discriminating the different particles. The method was also used here with respect to this.

Two spectrometers were used in this study to discriminate the low-energy part of the ^{137}Cs gamma-ray spectrum through PSD method. Partial and complete discriminations were followed to compare their performances for the elimination of unwanted parts of the spectrum.

2. MATERIALS AND METHODS

When the particles with different types and energies interact with detector material (scintillator), they generate the signals with different magnitudes and rise times in the detector. Thus, the rise times of the signals generated by the gamma particles will be different from the noise or unwanted signals. By following and subjecting the gamma signals to timing process, timing signals are produced. These timing signals are then gated with the detector signals coincidentally in the MCA. In this way, it is possible to record the triggered signals by the timing signals. Finally, the discriminated neat source spectrum can be recorded. This process can be called as PSD technique. This technique will be followed in the present study.

Block diagrams of the spectrometer set-ups for the PSD application are illustrated in Figs. 1(a) and 1(b). Ortec 401A BIN, Bicron 3x3 inch NaI(Tl) inorganic scintillation detector, Ortec 266 photomultiplier base (PMT), Ortec 459 power supply (PS), Ortec 113 preamplifier (PA), Ortec 451 spectroscopy amplifier (AMP), Ortec 427A Delay amplifier (DA), Ortec 420A timing single channel analyzer (SCA), Ortec 463 constant fraction discriminator (CFD), Ortec 416A gate and delay generator (GDG), Ortec 552 pulse shape analyzer (PSA), Ortec 566 time to amplitude converter (TAC) and Ortec Trump 8K multichannel analyzer (MCA) card mounted in a computer for data collection were used in the spectrometers. NaI detector has an aluminum window of 0.5 mm to protect it from artificial counts arising from the ambient light.

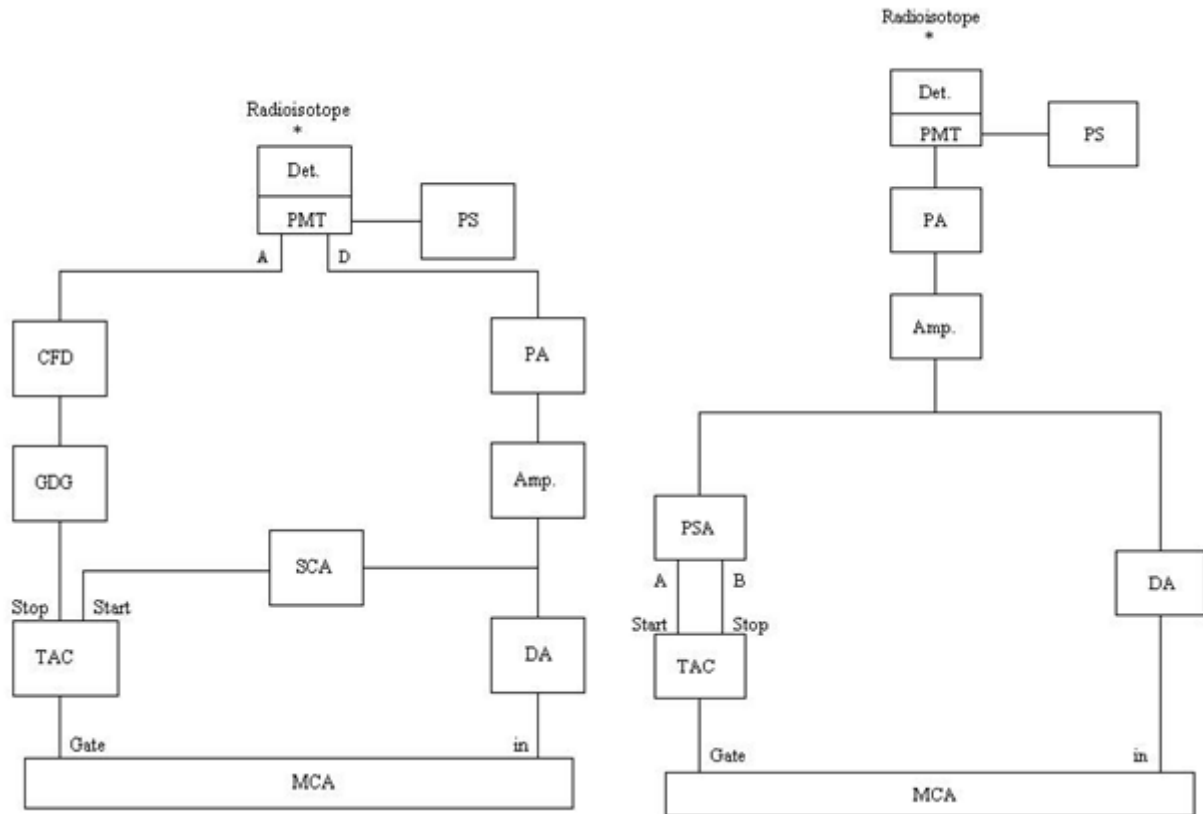


Figure 1. Block diagrams of (a) first set-up, (b) second set-up. (Det.: Detector, PMT: Photomultiplier tube, PS: Power supply, PA: Pre-amplifier, Amp.: Amplifier, DA: Delay amplifier, SCA: Timing single channel analyzer, CFD: Constant fraction discriminator, GDG: Gate and delay generator, PSA: Pulse shape analyzer, TAC: Time to amplitude converter, MCA: Multichannel analyzer).

^{137}Cs radiation source ($<5 \mu\text{Ci}$), which the radioactive material is embedded in a solid mylar disk of diameter 25 mm with an active area of 5mm^2 and an overall thickness of 5 mm, was placed at 5 cm from the detector surface. Passive background reduction was performed by shielding the detector with lead blocks. The spectrometers were calibrated according to the photopeak energy of 662 keV of the source.

In the spectrometers, the energy output of the PA is shaped by the main amplifier and sent to the MCA through the DA. The signal shapes from the DA for both spectrometers are shown in figures 2(a) and 3(a).

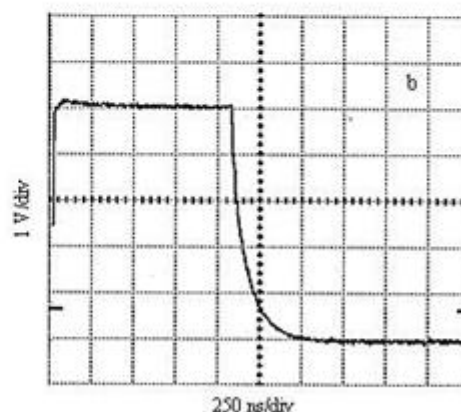
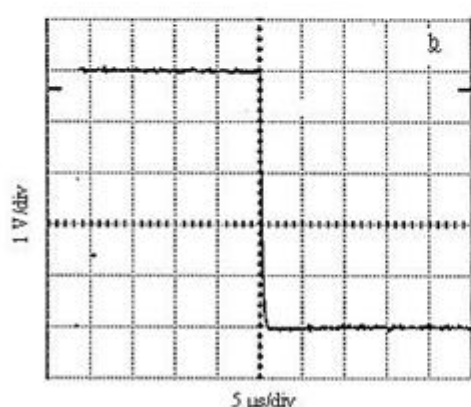
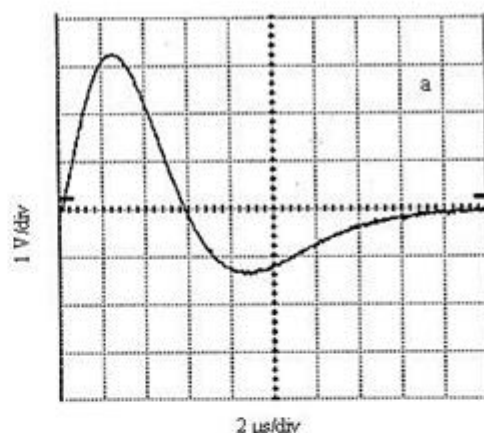
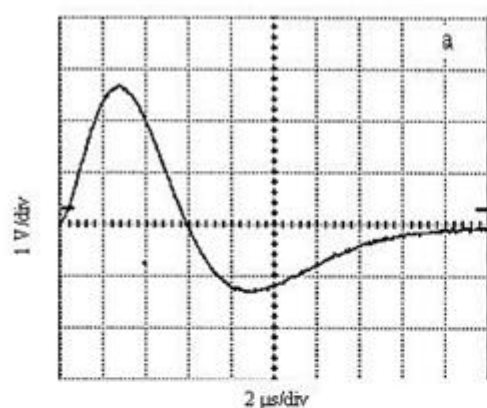


Figure 2

Figure 3

Figure 2. Signal shapes from the first set-up: a) DA output, b) TAC output.

Figure 3. Signal shapes from the second set-up: a) DA output, b) TAC output.

The time signal of the PMT was used in the left part of the first set-up in figure 1(a). The start signal of the TAC is generated by the SCA connected to the main amplifier, and the stop signal is produced by the CFD connected to GDG. A logic signal as in figure 2(b) is generated by the TAC corresponding to the time difference between the start and the stop signals. This logic signal gates the MCA and thus the low-energy part of the energy spectrum is discriminated.

In the second set-up, the PSA produces the start and the stop signals corresponding to the leading edge time interval (10%-90%) of the output of the main amplifier. The time difference between these signals creates a logic output on the TAC and the output gates the MCA. The output of the TAC is shown in figure 3(b). By setting the TAC window, the MCA will not record the low-energy part of the ^{137}Cs energy spectrum.

As can be seen in the circuit schemes of the spectrometers above, anode and dynode outputs of the PMT were used in the first setup. Its only dynode output was utilized in the second setup also. The dynode output of the PMT generates the slow signals (long leading edge time), in addition, anode output produces the fast signals (short leading edge time). First spectrometer depends on the fast-slow coincidence signal recording process. In the second setup, PSD technique was applied only on the slow signals. This is the main difference between the used setups. The results from the setups are given in the next section.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The performances of the spectrometers were tested experimentally on the energy spectrum of ^{137}Cs . Gamma ray energy spectrum was collected in the MCA card where it is divided into 2048 channels and then stored in a computer.

The gamma ray energy spectra of ^{137}Cs source from the first and the second spectrometers with a 300 s run time at room temperature of 298 K can be seen in figures 4 and 7. In addition, partial and complete discriminated energy spectra for both set-ups are presented in figures 5, 6, 8 and 9.

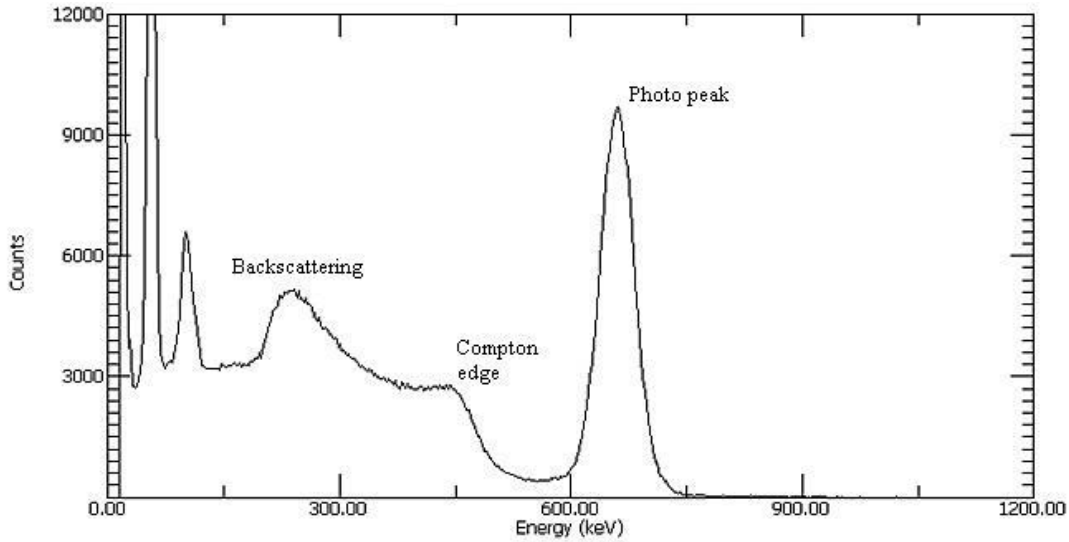


Figure 4. Direct spectrum of ^{137}Cs from the first set-up.

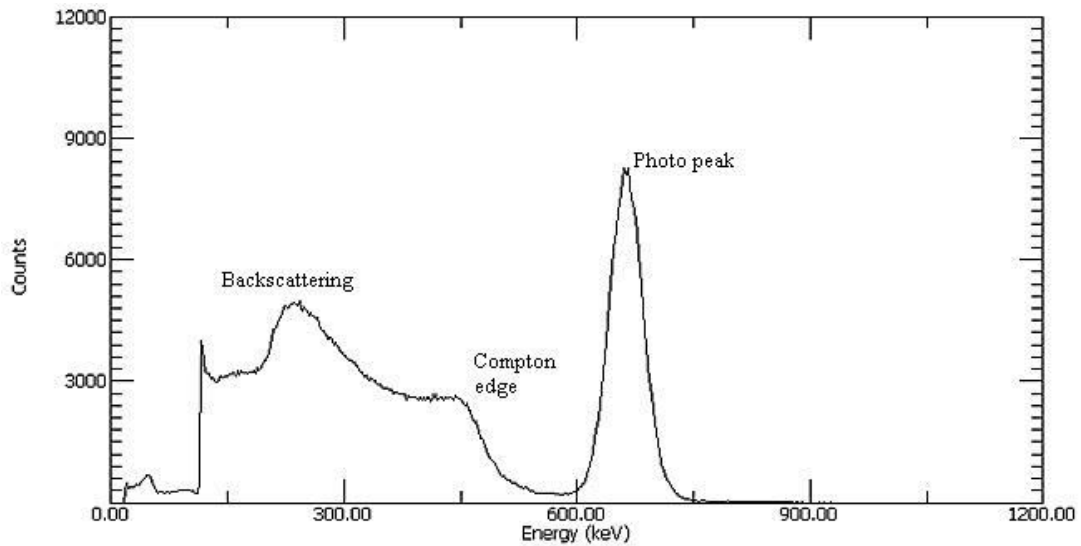


Figure 5. Partial discriminated energy spectrum of ^{137}Cs from the first set-up.

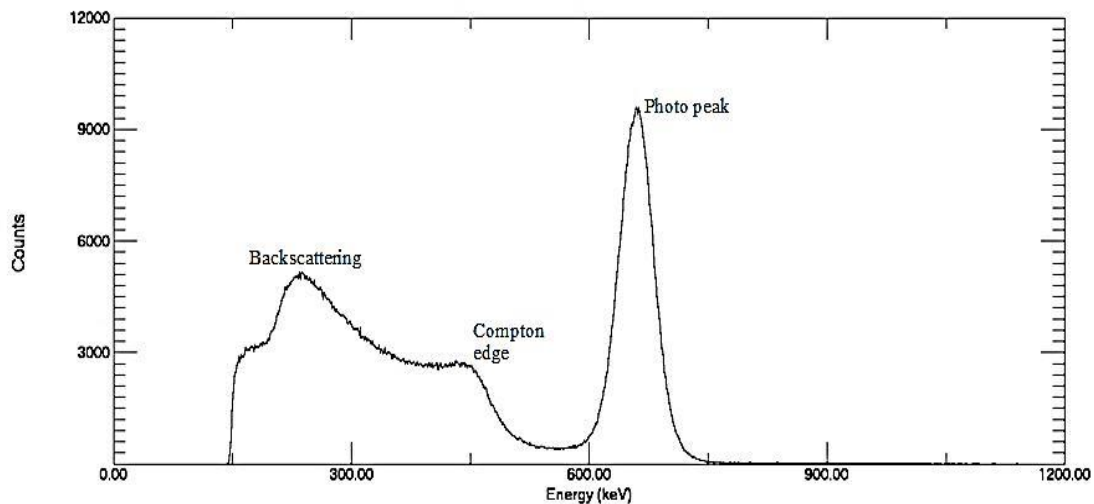


Figure 6. Complete discriminated energy spectrum of ¹³⁷Cs from the first set-up.

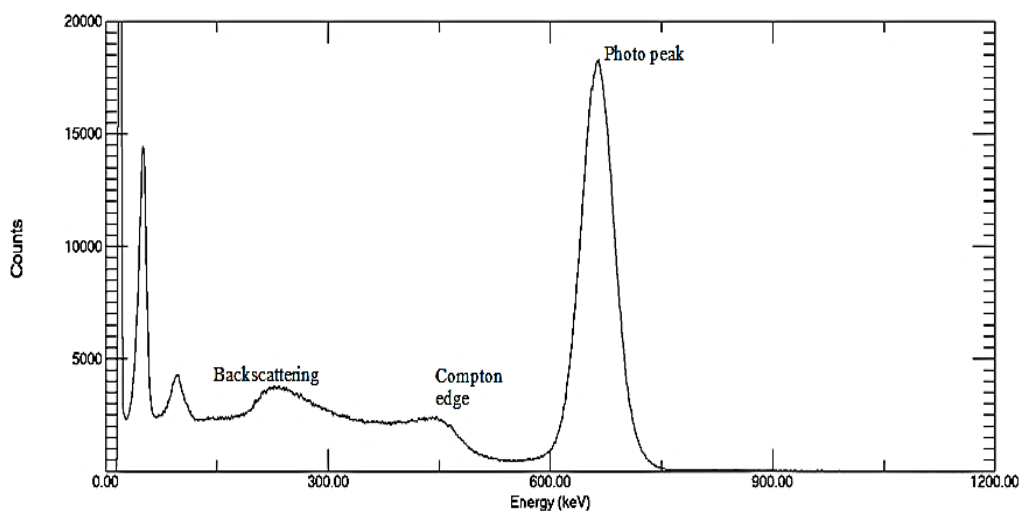


Figure 7. Direct spectrum of ¹³⁷Cs from the second set-up.

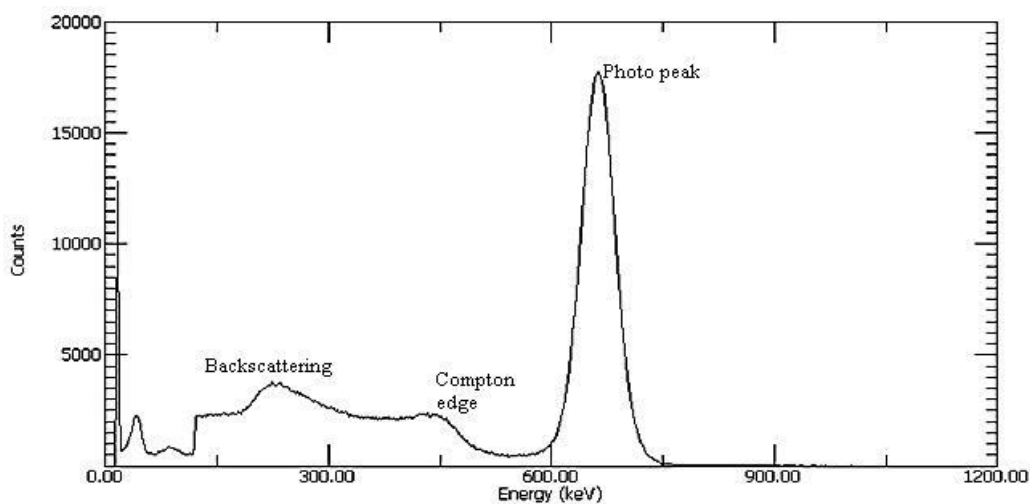


Figure 8. Partial discriminated energy spectrum of ¹³⁷Cs from the second set-up

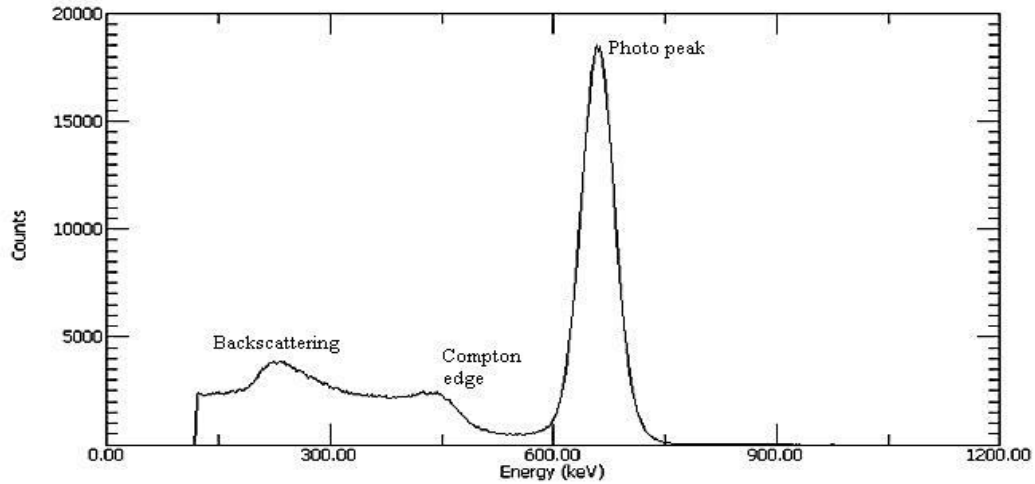


Figure 9. Complete discriminated energy spectrum of ^{137}Cs from the second set-up.

The detector dead time was between 18% and 20%, and the obtained background spectrum was given in figure 10. The background spectrum has been subtracted from all the energy spectra given in Figures 4 to 9.

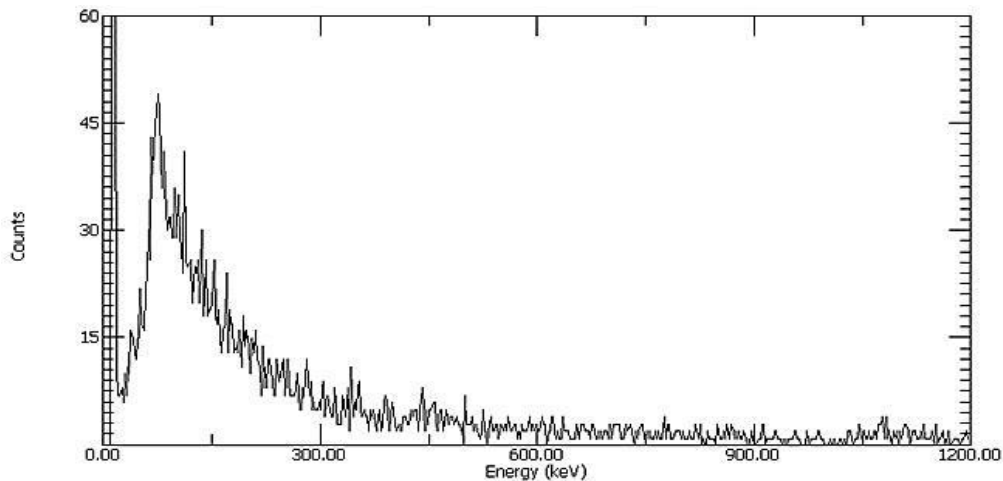


Figure 10. Detector background spectrum.

The energy resolutions of both spectrometers were calculated to check the system performance. The energy resolutions for the photo peaks in figures 6 and 9 were found to be 7.55% and 7.53%, respectively. It can be said from the obtained results above that the followed PSD method, which is used for the discrimination of neutron and gamma particles in literature, was successful in the discrimination of the low-energy part of the spectra that contains the unwanted components such as electronic noise, scattering etc. without affecting the energy resolution. In other words, low-energy part that contains the unwanted components due to electronic noise, scattering etc. discrimination using fast and slow signals in different spectrometers was performed through the used method.

Obtained experimental results showed that the second set-up gives better results in comparison with the first one. Although the first set-up has the capability of discrimination of the low-energy part of the energy spectrum, the 662 keV peak (photo peak) of ^{137}Cs is not sharp compared to the spectrum from the second set-up. As can be seen in figure 2b, this conclusion is supported because of the high resolving time of the first set-up.

It has been noticed that the result of second set-up obtained here was compatible with that of the previous work [13] containing different spectrometer components and their settings. In the study, the fall time criterion was employed using the pulse shape analysis observing the change in the fall times of the gamma ray pulses for Compton suppression of ^{60}Co and ^{137}Cs . The PSD method using the rise times of the leading edges of the gamma ray pulses was implemented here for the elimination of unwanted parts of the spectrum differently from that work.

Since the discrimination of the low-energy part of the energy spectrum eliminates the effects originating from this part (such as electronic noise, background, scattering etc.), the method and the set-ups presented here will contribute to the acquisition of the neat energy spectrum.

4. CONCLUSIONS

By means of the PSD method, it can be possible to discriminate the unwanted signals from the energy spectrum partially or completely. Two different spectrometers were tested for this purpose. It was determined that these two spectrometers could discriminate the unwanted signals especially in the low-energy region. It was revealed from the present study that a clearer gamma energy spectrum would be possible by the help of the PSD timing method used in these two spectrometers. The introduced spectrometers showed that they could be used for this purpose.

Consequently, two set-ups were suggested for partial or complete discrimination of the low-energy part of the gamma spectrum through the PSD method. It was shown from the study that the PSD method can successfully be used for the elimination of the unwanted parts of a gamma spectrum.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by TUBITAK, the Scientific and Technical Research Council of TURKEY under Projects No. 197T087, 104T379 and by EBILTEM, Center of Science and Technology, Ege University under Project No. 99 BIL 001.

REFERENCES

- [1] Maas, A.J.H., Klein, S.S., Simons, D.P.L., de Voigt, M.J.A. (1996). Recoil selection by pulse shape discrimination in elastic recoil detection analysis with α -particles. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 118(1-4), 268-273.
- [2] Leo, W.R. (1994). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment*, Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Al-Haddad, M.N., Lin, C., Miller, W.H., Berliner, R.R. (1994). Development and testing of a flash analog-to-digital converter based system for pulse shape discrimination of nuclear radiation pulses. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 41(5), 1765-1769.
- [4] Heistek, L.J., Zwan, L. van der, (1970). Pulse shape discrimination with a comparator circuit. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 80(2), 213-216.
- [5] Alexander, T.K., Goulding, F.S. (1961). An amplitude-insensitive system that distinguishes pulses of different shapes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 13, 244-246.
- [6] Knoll, G.F. (2010). *Radiation Detection and Measurement*, Wiley, New York.
- [7] Ruch, M.L., Flaska, M., Pozzi, S.A. (2015). Pulse shape discrimination performance of stilbene coupled to low-noise silicon photomultipliers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 793, 1-5.
- [8] Yanagida, T., Watanabe, K., Okada, G., Kawaguchi, N. (2019). Neutron and gamma-ray pulse shape discrimination of LiAlO_2 and LiGaO_2 . *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 919, 64-67.
- [9] Doucet, E., Brown, T., Chowdhury, P., Lister, C.J., Morse, C., Bender, P.C., Rogers, A.M. (2020). Machine learning n/γ discrimination in CLYC scintillators. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 954, 161201.

- [10] Senoville, M., Delaunay, F., Parlog, M., Achouri, N.L., Orr, N.A. (2020). Neutron- γ discrimination with organic scintillators: Intrinsic pulse shape and light yield contributions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 971, 164080.
- [11] Recker, M.C., Cazalas, E.J., McClory, J.W. (2020). Pulse shape discrimination with a low-cost digitizer using commercial off-the-shelf components. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 954, 161479.
- [12] Sugiyama, Y., Ahn, J.K., Banno, S., Beckford, B., Campbell, M., Chen, S.H., Comfort, J., Duh, Y.T., Hineno, T., Hsiung, Y.B., Hutcheson, M., Iwai, E., Kamiji, I., Kawasaki, N., Kim, E.J., Kim, J.L., Kim, Y.J., Ko, J.W., Komatsubara, T.K., Kurilin, A.S., Lee, J.W., Lee, S.K., Lim, G.Y., Lin, C., Lin, Q., Luo, Y., Ma, J., Maeda, Y., Masuda, T., Matsumura, T., Mcfarland, D., Murayama, R., Naito, D., Nakagiri, K., Nakaya, Y., Nanjo, H., Nomura, T., Odani, Y., Redeker, J.C., Ri, Y.D., Sasao, N., Sato, K., Seki, S., Shimogawa, T., Shinkawa, T., Shinohara, S., Shiomi, K., Su, S., Suzuki, S., Tajima, Y., Takahashi, G., Takashima, Y., Tecchio, M., Togawa, M., Tung, Y.C., Wah, Y.W., Watanabe, H., Whallon, N., Woo, J.K., Xu, J., Yamanaka, T., Yanagida, Y., Yoshida, H.Y., Yoshimoto, H. (2021). Pulse shape discrimination of photons and neutrons in the energy range of 0.1 – 2 GeV with the KOTO un-doped CsI calorimeter. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 987, 164825.
- [13] Selvi, S., Celiktas, C. (2007). Compton suppression through rise-time analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1265-1268.



Investigation of The Effect of Temperature on The Structural and Magnetic Properties of MgB₂ Superconductor Produced Using Boron Doped with Carbon by CVD Method

Naki KAYA^{1,*} , Şükrü ÇAVDAR² , Haluk KORALAY²

¹ Opticianry Program, Vocational School, T.C. İstanbul Arel University, 34295, Küçükçekmece/İSTANBUL.

² Superconductivity and Thermal Analysis Laboratory (STAL), Department of Physics, Faculty of Science, Gazi University, 06531, Yenimalle/ ANKARA

Article Info:

Research article

Received:26/02/2021

Revision:01/04/2021

Accepted:19/04/2021

Highlights

- Nano Materials
- Superconductivity
- Magnezyum Diborür

Keywords

Chemical Vapor
Deposition
MgB₂
Magnetization

Graphical/Tabular Abstract

In this study, two basic experimental processes, chemical vapor deposition and classical solid state reaction step, were used. Ankara University Chemical Engineering Nanotechnology Laboratory for the chemical vapor deposition step, Gazi University Physics Department Superconductivity and Thermal Analysis Laboratory for the preparation of chemical materials, and Ankara University Physics Department Solid State Laboratory for the baking of the prepared samples were used. Figure A shows the experimental process.

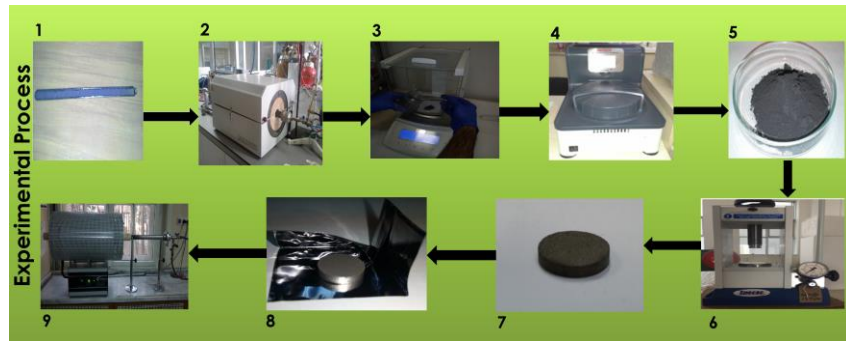


Figure A. Experimental Process

Purpose: The main purpose of this study is to examine how the reaction temperature affects the electrical and magnetic properties the MgB₂ superconductor, which is obtained by adding carbon through chemical vapor deposition method.

Theory and Methods: Many researchers carry out many different studies to improve the existing physical properties of existing superconductors. Doping studies are quite common for the MgB₂ superconductor. Based on the literature information, it can be said that carbon additives are the best results among the existing additives. In this study, the carbon structure, which plays a curative role on the physical properties of MgB₂, has been added to MgB₂ by chemical vapor deposition method. SEM analyses, elemental analysis, X-ray diffraction method (XRD), vibrating sample magnetometer (VSM) method and Bean Method were used in the analyses.

Results: As a result of the examinations, when compared between the 4 different sintering temperature values used, it was found that the sintering temperature of 900 °C was the temperature at which the best physical results were obtained in MgB₂.

Conclusion: It was observed that the MgB₂ superconductor structure was formed in all samples, deterioration was observed in the current lattice parameters of MgB₂ with carbon doping, the magnetization value was higher at high temperatures compared to low temperatures, and the sample with the highest critical current density value was the sample obtained by sintering at 900 °C. It was seen that all the results obtained were consistent with each other and with literature.



Investigation of The Effect of Temperature on The Structural and Magnetic Properties of MgB₂ Superconductor Produced Using Boron Doped with Carbon by CVD Method

Naki KAYA^{1,*}, Şükrü ÇAVDAR², Haluk KORALAY²

¹ Optisyenlik Programı, Meslek Yüksekokulu, T.C. İstanbul Arel Üniversitesi, 34295, Küçükçekmece/ İSTANBUL

² Süperiletkenlik ve Termal Analiz Laboratuvarı (STAL), Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06531 Yenimahalle/ANKARA

Abstract

Carbon, which is known to play a improvement role on the superconductivity properties of MgB₂, was doped into MgB₂ by CVD (chemical vapor deposition) method, and the change of structural and magnetic properties observed in MgB₂ in relation to the change of reaction temperature was investigated. In this context, in the sample preparation step, amorphous nano boron powders with carbon added by chemical vapor deposition method were mixed with magnesium powders at certain mass ratios and sintered at four different temperatures (700-800-900-1000 °C) with the classical solid state reaction method and converted into carbon-added MgB₂ samples. SEM photographs of amorphous nano-boron powders with carbon added were taken and subjected to elemental analysis. The structural and magnetic properties of the samples obtained were examined. X-ray diffraction graph, magnetization values and Magnetic Field-Magnetic Moment (M-H) graphs of the samples obtained by XRD method and the critical current density values with Bean Method were found and Magnetic Field-Critical Current Density (J_c-H) graph was created. It was determined that, in all the samples obtained, the MgB₂ superconductor structure was formed and the carbon structures included in the structure caused changes in the lattice parameters due to the ion radius difference, that fracture occurred in the magnetization curve of the sample prepared by sintered at 1000 °C due to the intense impurities caused by the phase transitions due to the high temperature, in samples prepared at low temperatures, and that magnetization curves that could not expand sufficiently were observed, flux jumping occurs in the magnetization curve and this also affected the critical current density. In addition, the change in the critical current density value from 7.0x10³ A/cm² to 2.8x10⁴ A/cm² showed that the reaction temperature was an effective parameter on the experimental results. As a result of the examinations, when compared between the 4 different sintering temperature values used, it was found that the sintering temperature of 900 °C was the temperature at which the best physical results were obtained in MgB₂.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 26/02/2021
Düzeltilme: 01/04/2021
Kabul: 19/04/2021

Keywords

Chemical Vapor
Deposition
MgB₂
Magnetization

Anahtar Kelimeler

Kimyasal Buhar
Biriktirme
MgB₂
Manyetizasyon

CVD Yöntemi ile Karbon Katkılanmış Bor Kullanılarak Üretilen MgB₂ Süperiletkeninin Yapısal ve Manyetik Özelliklerine Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, MgB₂'nin süperiletkenlik özellikleri üzerinde iyileştirici bir rol oynadığı bilinen karbon, CVD (kimyasal buhar biriktirme) yöntemi ile MgB₂'ye katkılanarak sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak MgB₂'de gözlenen yapısal ve manyetik özelliklerin değişimi incelendi. Bu kapsamda, numune hazırlama basamağında kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile karbon katkılanmış amorf nano bor tozları, belirli kütle oranlarında magnezyum tozları ile karıştırılıp klasik katıhal reaksiyon yöntemi ile de dört farklı sıcaklıkta (700-800-900-1000 °C) sinterlenerek karbon katkılanmış MgB₂ numunelerine dönüştürüldü. Karbon katkılanan amorf nano bor tozlarının SEM fotoğrafları alınarak elementel analize tabi tutuldu. Elde edilen numunelerin XRD yöntemi ile x-ışını kırınımı grafiği, manyetizasyon değerleri ile Manyetik Alan-Manyetik Moment (M-H) grafiği ve Bean Yöntemi ile de kritik akım yoğunluğu değerleri bulunarak Manyetik Alan-Kritik Akım Yoğunluğu (J_c-H) grafiği oluşturuldu. Elde edilen tüm numunelerde MgB₂ süperiletken yapısının oluşturulduğu, yapı içerisine dahil olan karbon

yapılarının, iyon yarıçap farkından kaynaklı örgü parametrelerinde değişimler meydana getirdiği, yüksek sıcaklığa bağlı olarak faz geçişleri neticesinde oluşan yoğun safsızlıklardan ötürü 1000 °C'de sinterlenerek hazırlanan numunenin manyetizasyon eğrisinde akı zıplamasının meydana geldiği, düşük sıcaklıklarda hazırlanan numunelerde ise yeterince genişleyemeyen manyetizasyon eğrilerinin görüldüğü ve bunun kritik akım yoğunluğuna da etki ettiği saptandı. Ayrıca kritik akım yoğunluğu değerinin 7.0×10^3 A/cm² değerinden 2.8×10^4 A/cm² değerine kadar bir değişim göstermesi sinterleme sıcaklığının deneysel sonuçlar üzerinde etkili bir parametre olduğunu kanıtladı. Yapılan incelemeler sonucunda kullanılan dört farklı sinterleme sıcaklığı arasında kıyaslandığında 900 °C sinterleme sıcaklığının MgB₂'de en iyi fiziksel sonuçların alındığı sıcaklık olduğu görülmüştür.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

2001 yılında süperiletkenlik özelliği keşfedilen MgB₂ [1] bileşiği; günümüzde tel, şerit, yığın gibi farklı formlarda ve çok çeşitli teknolojik sistemlerde kullanılmaktadır. Kullanım alanının çokluğuna paralel olarak birçok araştırmacı yapmış oldukları farklı çalışmalarla MgB₂'nin kritik akım yoğunluğu, kritik geçiş sıcaklığı, manyetizasyon değeri gibi birtakım fiziksel özelliklerini geliştirmeye çalışmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmaların bir kısmında katkılama yöntemine başvurulmaktadır. Ti-C [2], Co [3], Fe₃O₄ [4], Al [5], Na₂CO₃ [6] gibi birçok farklı malzeme MgB₂'ye katkılanmıştır. Katkılamaların bir kısmında MgB₂'nin fiziksel özellikleri üzerinde olumlu anlamda geliştirici sonuçlar alınmış olursa da karbon katkılarının diğer katkı malzemelerine kıyasla MgB₂ üzerinde kritik akım yoğunluğuna daha fazla olumlu etkiler oluşturduğu keşfedilmiştir [7]. Bu keşfin takibiyle birçok araştırmacı, MgB₂ süperiletkenine farklı yöntemlerle, farklı miktarlarda karbon yapılarının katkılanmasını yapmışlardır [8-11].

Karbonun hedef malzemeye katkılanması birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Bu çalışmada ise, homojen yapı eldesinin kolaylığı, deney parametrelerinin ayarlanabilmesi, maliyetinin düşük olması gibi bir dizi avantajlardan dolayı CVD (kimyasal buhar biriktirme) yöntemi ile MgB₂'ye karbon katkısı gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal buhar biriktirme yönteminin temel mantığında; belli sıcaklıktaki fırın içerisine yerleştirilen hedef numune üzerine kapalı fırın ortamında hidrokarbon kaynağı gönderilerek, hidrokarbon kaynağındaki karbon yapılarının hedef numune üzerine çöküp hedef numune üzerinde karbon birikimini sağlamak yatmaktadır. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde hidrokarbon kaynağı olarak gaz fazında etilen, asetilen, metan gibi içeriğinde karbon bulunan yapılar kullanılmaktadır. Deney esnasında ortaya çıkabilecek oksijen moleküllerine tutunması için sistem içerisine hidrojen gazı gönderilir. Yapı içerisinde oluşmasının istenilmediği fazların süpürülüp atılması ve mevcut hidrojen gazının yüksek ısı ile temas edip olası olumsuz durumların oluşmaması için de sistem deney esnasında inert gaz akışı ile beslenmektedir.

Süperiletken malzemeler için kritik akım yoğunluğu değerinin yüksek, kritik geçiş sıcaklığının ise mümkün oldukça oda sıcaklığına yaklaşması oldukça önemlidir. Örneğin iletim hatlarında kullanılan bir süperiletken malzemenin cm² başına taşıdığı akım miktarının artışı tek seferde yüksek miktarlarda enerji transferlerini mümkün kılarken, genel olarak tüm süperiletkenlerde kritik geçiş sıcaklığının yükselmesi de ihtiyaç duyulan soğutucu maliyetlerini azaltacak ve bu sayede de süperiletkenlerin kullanım yelpazesi genişleyecektir.

Bu çalışmanın ek olarak, karbon katkısı sayesinde yapı içerisinde karbon atomları ile bor atomlarının yer değişimi sonucu, akı tuzaklaması oluşturarak MgB₂'de kritik akım yoğunluğunu arttırmak gibi bir amacı da söz konusudur. Karbonun yeterince çözünüp yapı içerisinde homojen dağılımı, bu amacın gerçekleşmesinin koşullarından birisidir. Bu düşünce ile yola çıkıldığında homojen yapı elde edilebilirliği yüksek olan kimyasal buhar biriktirme yönteminin bu çalışmada kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile karbon katkılanan borun SEM fotoğrafları çekilip elementel analize tabi tutulmuştur. Bu sayede bor üzerinde karbon birikiminin sağlanıp sağlanmadığı ve hangi oranda karbon birikimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Karbon katkılanan bor kullanılarak elde edilen

MgB₂ numunelerinin yapısal özellikleri XRD yöntemi ile, manyetik özellikleri VSM yöntemi ile kritik akım yoğunluğu değerleri ise Bean yöntemi [12] ile bulunmuştur.

XRD Yöntemi; Bragg Yasası'nı temel almakla birlikte, malzemelerin kristalografik özelliklerinin belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem uygulama kolaylığı, sonuçları verme doğruluğu, çabuk analiz yapabilme özelliği gibi olumlu yanlarından ötürü, birçok farklı disiplince kullanılan bir yöntemdir. Kristalografik analiz basamağında tanecik büyüklüğü hesabı Denklem 1 ile gösterilen Scherrer Denklemi [13] ile yapılmıştır.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad 1$$

Burada D; tanecik büyüklüğü, K; Scherrer sabiti (0,90), λ ; x-ışını kaynağından gönderilen ışının dalga boyu, β ; en şiddetli pikin maksimum yarı genişliği (FWHM) ve θ ; Bragg kırınım açısı olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışma sonucu elde edilen numunelerin hegzagonal yapıda olduğu bilindiğinden ötürü numunelere ait örgü parametreleri hegzagonal yapılarda örgü parametresini bulmaya olanak sağlayan Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad 2$$

Bu denklemde d; düzlemler arası mesafe, h, k, l; Miller indisleri, a ve c; örgü parametreleridir. Hegzagonal yapıda a=b olduğundan bulunan a değeri aynı zamanda b değeri olarak; yükseklik parametresi ise c olarak tanımlanır. Yine kristalografik analiz basamağında düzlem kaymalarının oluşup oluşmadığı da bilgisayar programı yardımı ile tespit edilmiştir.

VSM Yöntemi; temelde Faraday'ın akı değişimi ile bobinlerde oluşturulabilecek elektromanyetizma varlığına dayanır. VSM sistemi içerisinde düzgün manyetik alan altında, ölçümü yapılacak numune titreşim hareketi yapar. Numunenin mıknatıslanması sağlanır ve bu sayede de bobinlerde bir voltaj oluşturulur. Numune periyodik olarak bobinler arasında hareket ettirilir. Ölçüm düzeneği çok küçük manyetik momentlere dahi duyarlı olduğundan bu periyodik hareketlerde var olan manyetik moment değişimleri tespit edilip ölçümlendirme gerçekleştirilir.

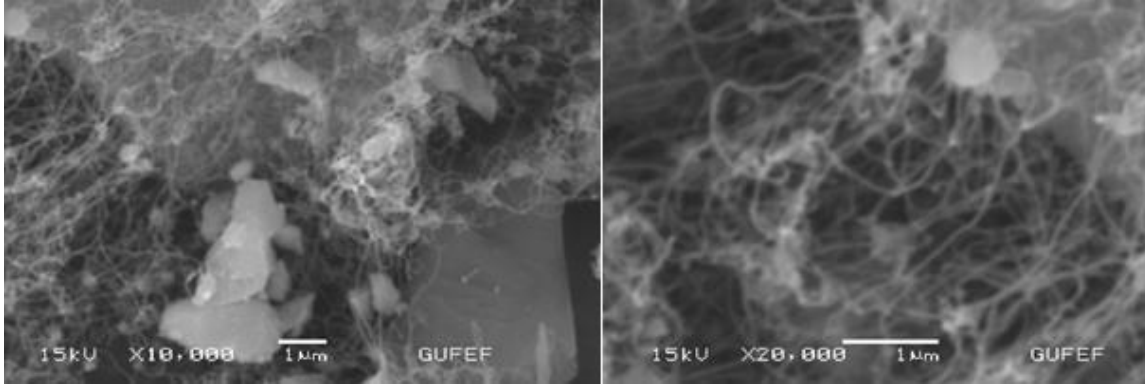
Bean Yöntemi; yarı deneysel bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem süperiletkenlerde kritik akım yoğunluğu değerinin hesaplanması için oldukça sık kullanılmaktadır. Denklem 3 Bean yönteminin matematiksel formülünü göstermektedir.

$$J_c = 20 \times \frac{\Delta M}{a \left(1 - \frac{a}{3b}\right)} \quad 3$$

Bu denklemde ΔM ; Manyetik Alan-Manyetik Moment (M-H) eğrisinden elde edilen, numuneye uygulanan dış manyetik alana karşı numunenin vermiş olduğu manyetik tepkinin pozitif ve negatif bölge bandındaki farkıdır [$\Delta M=(M^+)-(M^-)$], a ve b; numune boyutlarıdır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, amorf nano bor tozlarına, 90 dakika 700 °C sıcaklıkta karbon ile kaplama yapıldı. Kullanılan deneysel parametreler ise; % 95-97 saflıkta amorf bor tozları (parçacık boyutu <1µm), hidrokarbon kaynağı olarak etilen gazı (20 ml/dk), taşıyıcı gaz olarak helyum (100 ml/dk) ve hidrojen gazı (100 ml/dk) olarak belirlendi. Kimyasal buhar biriktirme basamağının hemen ardından bor yapılarına karbon yapılarının birikiminin sağlanıp sağlanmadığını görmek açısından Elde edilen karbon katkılanmış amorf nano bor tozlarının, yüzdelik olarak ne kadar karbon içerdiğinin tespit edilebilmesi açısından ODTÜ Merkez Laboratuvarı'na bağlı Polimer Analiz Laboratuvarı (PAL)'nda elemental analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda yapı içerisinde % 14,70 oranında karbon yapısının bulunduğu görülmüştür.



Şekil 1. Karbon katkılanmış bor numunesinin 10000 ve 20.000 büyütme altında alınmış SEM fotoğrafları

X10.000 ve X20.000 büyütmede alınan SEM fotoğraflarında çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT-ÇDKNT) karbon yapıları ipliksi halde belirgin bir biçimde Şekil 1’de görülmektedir [14]. Her ne kadar SEM fotoğraflarında karbon yapıları oldukça fazla bir yüzdeliğe sahipmişçesine yoğun olarak görülsede karbon yüzdeliği % 14,70 olarak saptanmıştır. SEM fotoğrafları karbon yapılarının net görülebilmesi açısından oldukça büyük bir büyütme altında, karbon yapılarına odaklanılarak çekilmiştir. Dolayısı ile SEM fotoğraflarından, karbon fazının baskın faz gibi algılanması bu açıdan oldukça doğaldır. Karbon birikiminin başarılı bir biçimde gerçekleştiğinin tespitinin ardından deneysel sürecin bir diğer adımı olan katıhal reaksiyon basamağına geçilmiştir.

MgB₂ oluşumu için gerekli sitokiyometrik oran hesabı yapılarak toplamda 10 g olacak şekilde 5,29 g Mg ve 4,70 g karbon katkılanmış amorf nano bor tozları otomatik karıştırıcı ile 750 rpm dönme hızında, 60 dakika karıştırıldı. Bu basamağın temel amacı karıştırma sayesinde homojeniteyi arttırmaktır.

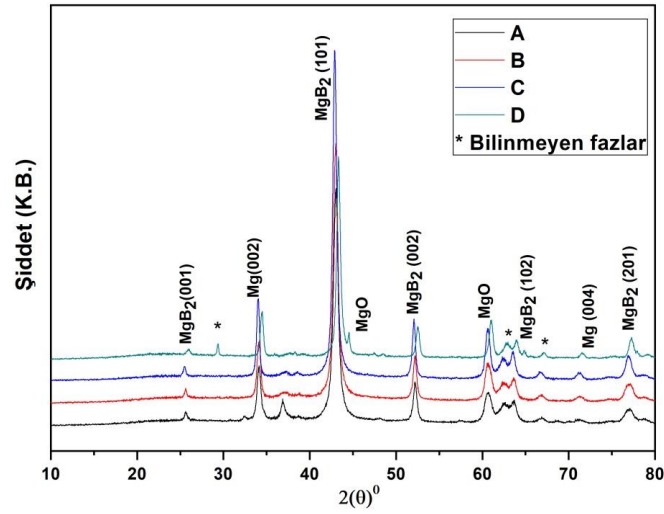
Karışım basamağının ardından elde edilen toplamda 10 g magnezyum ve karbon katkılanmış amorf nano bor tozlarından oluşan karışım 2,5 gramlar halinde tartılıp 4 farklı toz karışım elde edildi. Elde edilen tozlar, hidrolik presleme aleti ile 980 Mpa basınç altında sıkıştırılıp 10 dakika boyunca bu basınç altında sıkıştırılmış halde bekletildikten sonra 4 adet tablet haline dönüştürüldü. Preslenme basamağındaki temel amaç sıkıştırılma sayesinde tanecikleri birbirlerine daha yakın tutarak tanecikler arası bağlantının artmasını sağlamaktır.

Elde edilen tabletler herhangi bir süblimleşme ve kontaminasyona uğrama olasılığına karşı tantalum folyolara sarılarak argon gazı altında kapalı fırın ortamında dört farklı sıcaklıkta (700, 800, 900 ve 1000 °C) 1 saat boyunca ısıtılma tabii tutuldu. MgB₂ fazının tam oluşabilmesi için magnezyumun eriyik hale dönüşmesi gerektiğinden ve 700 °C’nin altındaki sıcaklıklarda yapı oluşu açısından olumsuzluk doğabileceğinden, aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda MgB₂ fazının zarar görmemesi açısından deneysel süreçte bu dört sıcaklık değerleri kullanılarak numuneler elde edilmiştir. 700, 800, 900 ve 1000 °C’de sinterlenerek hazırlanan numuneler sırası ile A, B, C ve D olarak isimlendirildi. Bu isimler çalışma boyunca grafiklerde ve diğer tüm yorumlarda kullanıldı.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSION)

3.1. XRD Analizi Sonuçları (XRD Analysis Results)

Numuneler, Rigaku Mini Flex 2 marka cihaz ile CuK_α (λ=1,5418 Å) ışını kullanılarak dakikada 0,02 derecelik bir tarama hızı ile 10° ≤ 2θ ≤ 80° aralığında XRD analizine tabii tutuldu. Analiz sonucu elde edilen Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Elde Edilen Numunelerinin XRD Grafiği

Yapılan XRD analizi sonucunda MgB_2 'ye ait (0 0 1), (1 0 1), (0 0 2), (1 0 2) ve (2 0 1) karakteristik düzlem pikleri tüm numunelerde görülmektedir. Şekil 1'de (1 0 1) düzlemine ait pik diğer düzlemlere ait piklere nazaran daha şiddetli olduğu görülmektedir. Bu durum MgB_2 'nin anizotropik özelliği göz önünde bulundurulduğunda; MgB_2 'ye ait kristalografik ve manyetik özellikleri gibi birtakım fiziksel özelliklerin incelenmesi halinde değerlendirilecek güçlü düzlem pikinin (1 0 1) karakteristik piki olarak incelenmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur. Anizotropiliğin doğurduğu bu sonuçtan ötürü çalışma boyunca yapılan hesaplamalarda (1 0 1) düzlem piki kullanılmıştır.

C numunesine ait piklerin şiddeti diğer numunelere ait piklere nazaran daha şiddetlidir. X-ışını kırınım desenlerinde pik şiddetlerinin artması kristalografik geçişin daha düzgün olduğuna yani kristalitenin daha iyi olduğuna işaret eder [15]. Aynı zamanda bu durum safsızlık atomlarının oranının düşük olduğu ve tanecikler arası bağın arttığına da işaret etmektedir. Dolayısı ile C numunesinin kristalitesi diğer numunelere kıyasla daha düzgün, MgB_2 yapılı oluşumu daha hızlı, safsızlık atomları oranı diğer numunelere nazaran daha az olduğu ve tanecikler arası bağın diğer numunelere kıyasla daha güçlü olduğu sonucuna varılmaktadır. Elde edilen numunelerin tanecik boyutu Denklem 1 ve örgü parametreleri Denklem 2 yardımı ile ICDD (65-3383) verileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılarak bulunup Tablo 1 oluşturuldu.

Tablo 1. Elde Edilen Numunelerin Örgü Parametreleri ve Tanecik Boyutları

Numune	a=b (nm) ±0,0001	c (nm) ±0,0001	Tanecik Boyutu (nm)
A	0,2805	0,4208	13
B	0,2804	0,4206	14
C	0,2810	0,4216	16
D	0,2784	0,4176	17

Tablo 1'den anlaşıldığı gibi, sinterleme sıcaklığının artması yapı genişlemelerine bağlı olarak tanecik boyutunu arttırmıştır. Tablo 1 incelendiğinde tüm numunelerin örgü parametrelerinde ise A ve B numunelerinde dikkate değer bir değişim olmamakla birlikte C ve D numunelerinde belirgin bir değişim görülmektedir. Bu durum yapıya dâhil olan karbon atomlarının, magnezyum ile bor atomları arasına girmesi ile olmaktadır. Bu durumda magnezyum ve bor atomları arasındaki bağın bir miktar

strese maruz kaldığını dolayısı ile örgü parametrelerinde bozukluk ve kristal yapının zarar gördüğünü işaret etmektedir. Sıcaklık değişimi ile örgü parametreleri arasında orantılı bir artış ya da azalış ilişkisi kurulamamaktadır. Fakat sıcaklığa bağlı olarak tüm numunelerin örgü parametrelerinin birbirinden farklılığı göze çarpmaktadır. Bu durum her bir düzleme karşılık gelen piklerin açısal olarak bir miktar kayabileceğini düşündürmektedir. Öyle ki bu düşünceyi kanıtlar nitelikte, her bir numuneye ait düzlem piklerinin karşılık geldiği açı değerleri ile oluşturulan Tablo 2 incelendiğinde, örgü parametrelerindeki bozukluklara bağlı olarak düzlem piklerinde kayma net bir şekilde görülmektedir.

Tablo 2. Elde Edilen Numunelere ait h - k - l Düzlemleri ve Bunlara Karşılık Gelen 2θ Açıları

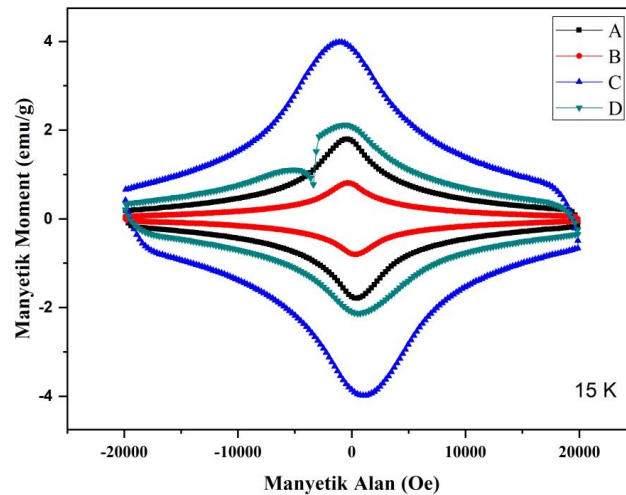
Numune (h k l)	A	B	C	D
(0 0 1)	25,70 (2 θ)	25,46 (2 θ)	25,45 (2 θ)	26,15 (2 θ)
(1 0 1)	42,97 (2 θ)	42,99 (2 θ)	42,88 (2 θ)	43,33 (2 θ)
(0 0 2)	52,29 (2 θ)	52,15 (2 θ)	52,02 (2 θ)	52,42 (2 θ)
(1 0 2)	63,80 (2 θ)	63,66 (2 θ)	63,40 (2 θ)	63,90 (2 θ)
(2 0 1)	77,06 (2 θ)	76,94 (2 θ)	76,94 (2 θ)	77,33 (2 θ)

Tablo 2’de gözlenen düzlem piklerine karşılık gelen açılardaki değişim, karbon ve bor atomlarının iyon yarıçaplarının farklı olmasından dolayı olmaktadır ki bu durum örgü parametresinin değişmesine de neden olmaktadır.

Şekil 2. incelendiğinde MgO ve Mg yapılarının da var olduğu görülmektedir. MgO’nun deneyin herhangi bir basamağında meydana gelen Mg yapılarının kontamine olması ile oluştuğu düşünülürken Mg yapılarının da reaksiyona dahil olmayan magnezyumların varlığının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

3.2. Manyetik Alana Karşı Manyetik Moment Tepkisinin Analiz Sonucu (Analysis Result of Magnetic Moment Response to Magnetic Field)

Elde edilen numuneler, Lakeshore VSM cihazı ile 15 K sıcaklıkta -20000 Oe ile 20000 Oe aralığında bir manyetik alan altında, manyetik alan değişimine karşı oluşan manyetik moment değişimi ölçümüne tabi tutuldu ve Şekil 3’de gösterilen Manyetik Alan-Manyetik Moment (M-H) grafiği elde edildi.



Şekil 3. Elde Edilen Numuneleri Manyetik Alan-Manyetik Moment Grafiği

Numunelere ait Manyetik Alan-Manyetik Moment eğrileri incelendiğinde tüm numunelerde diyamanyetik karaktere has bir histeristik görülmektedir. Bu durum süperiletken malzemelerin karakteristik manyetik özelliğinin grafiksel anlamda temsilidir. Şekil 3’de numunelere ait eğrilerin iç alan genişliklerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Bu durum sinterleme sıcaklığının MgB₂’nin manyetizasyon değeri üzerinde değiştirici bir unsur olduğunu göstermektedir.

D numunesinde eğride ani bir kırılma şeklinde görülen ve manyetik alan süpürme hızı, numune boyutu gibi bir dizi faktörlere bağlı olduğu düşünülen [16] manyetik kararsızlıkların sonucunda [17] akı zıplaması görülmektedir. Akı zıplamasının süperiletken sistemler için olumsuz etkiler meydana getirdiği bilinmektedir [18]. Bu durum, yapı içerisinde var olup süperiletken yapıya dahil olmayan safsızlık fazlarının etkili olduğunu ve bu yapıların perçinleme merkezi olarak görev yapmadığı [19] düşünülmektedir.

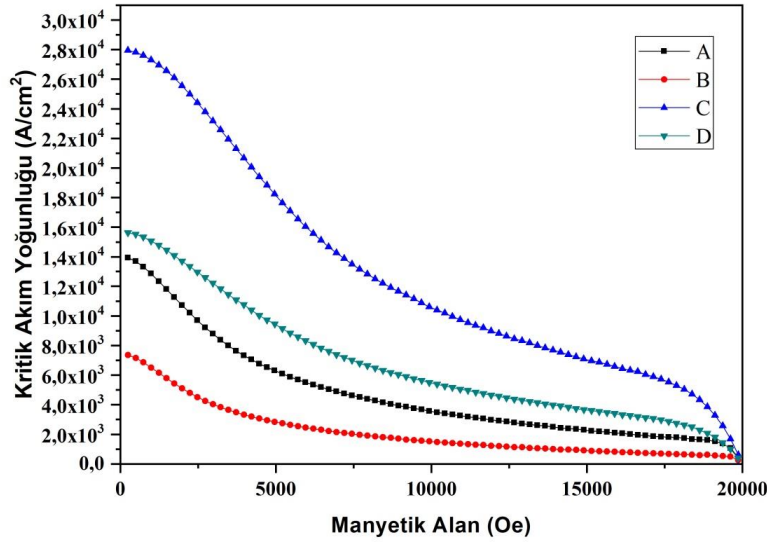
Diyamanyetik histeresiz eğrilerinin iç alan genişliklerinin azalması, yapı içerisindeki tanecikler arası bağlantının azalmasının bir sonucudur. Dolayısı ile 900 0C’de sinterlenerek elde edilen C numunesine ait eğrinin iç alan genişliğinin diğer numunelerin eğrilerinin iç alan genişliğinden fazla olması C numunesinin tanecikler arası bağlantısının diğer numunelerin tanecikler arası bağlantılarına kıyasla daha fazla olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Bu sonuç XRD analizi sonucu ile de uyumludur. Öyle ki XRD analizinde C numunesine ait pikler diğer numunelere ait piklerden daha keskin olarak görüldü ve bu durum yapının daha hızlı ve daha düzgün oluştuğunun aynı zamanda da tanecikler arası bağlantının diğer numunelere kıyasla daha güçlü olduğunun çıkarımı yapıldı.

Manyetik Alan-Manyetik Moment eğrileri içerisinde kalan alanın artmasının akı çivileme merkezlerinin sayısının artmasına sebep olduğu dolayısı ile de bu durumun kritik akım yoğunluğunu da arttırdığı düşünülmektedir [20]. Bu bağlamda C numunesinin kritik akım yoğunluğu değeri diğer numunelerin kritik akım yoğunluğu değerinden daha fazla çıkması beklenmektedir.

3.3. Kritik Akım Yoğunluğu Analizi Sonucu (Critical Current Density Analysis Result)

Elde edilen Manyetik Alan-Manyetik Moment eğrisinin verilerinden yararlanılarak Denklem 3 ile her bir numunenin kritik akım yoğunluğu değeri hesaplanarak Şekil 4 elde edilmiştir. Süperiletken bir malzemenin teknolojik sahada etki alanını arttırmanın temel yolu, kritik akım yoğunluğu değerini arttırmaktan geçmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, manyetik alanın artması ile birlikte tüm numunelerde kritik akım yoğunluğu değerinin azaldığı görülmektedir.

Manyetik alanın sıfıra yakın olduğu bir noktada 7.0×10^3 A/cm² akım yoğunluğuna sahip B numunesi en düşük kritik akım yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Kritik akım yoğunluğu değeri 2.8×10^4 A/cm² değeri ile en fazla C numunesine aittir. A ve D numuneleri ise sırası ile 1.4×10^4 A/cm² ve 1.6×10^4 A/cm² değerinde kritik akım yoğunluğu değerine sahiplerdir. Bu çalışmada tıpkı Manyetik Alan-Manyetik Moment sonucunda olduğu gibi kritik akım yoğunluğu ile MgB₂ oluşumu için belirlenen sinterleme sıcaklığı arasında doğru orantılı bir değişim ilişkisi gözlenmemektedir.



Şekil 4. Elde Edilen Numuneleri Manyetik Alan-Kritik Akım Yoğunluğu Grafiği

Elde edilen kritik akım yoğunluğu değerleri ile Şekil 3’de verilen Manyetik Alan-Manyetik Moment grafiğinin eğri iç alan büyüklükleri ve XRD analiz sonuçları ile oldukça uyumludur. Nitekim Bean yönteminde iç alan büyüklüğünün artışı ile kritik akım yoğunluklarında da artan sonuçlar vereceği Denklem 3’te açıkça görülmektedir. Ayrıca XRD analiz sonucunda görülen en keskin pikin C numunesine ait olduğunun tanecikler arası bağın güçlü olduğuna işaret ettiği düşünüldüğünde kritik akım yoğunluğu değerinin de C numunesinde en yüksek değerde olması, karbon yapılarının diğer numunelere kıyas ile taneciklerin arası bağın azalmasına C numunesinde daha az bir etki oluşturduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Dört farklı sinterleme sıcaklığı ile elde edilen karbon katkılanmış MgB_2 süperiletkenin XRD analizinde MgB_2 ’ye ait tüm karakteristik düzlem pikleri görülmüştür. C numunesinin pik şiddeti diğer numunelerin pik şiddetlerine nazaran daha keskin, daha şiddetli olduğu yani C numunesinin diğer numunelere kıyasla MgB_2 fazına daha hızlı geçtiği, tanecikler arası bağların diğer numunelerden daha güçlü olduğu ve diğer numunelere göre daha az safsızlık atomları içerdiği saptanmıştır. Sinterleme sıcaklığının artışına bağlı olarak numunelerde tanecik boyutunda artış görülmüştür. Tüm numunelerde magnezyum ve bor atomları arasına dâhil olan karbon atomları örgüde bir stres oluşturarak örgü bozukluklarına yol açtığı görülmüştür. Numunelerin tamamının diyamanyetik karakterde olduğu saptanmıştır. D numunesinin Manyetik Alan-Manyetik Moment eğrisinde akı zıplamasına karşılık gelen bir kırılma şekli tespit edilmiştir. Bu durum bir faz geçişini göstermektedir ve akı süpürme hızına bağlı olarak oluştuğu düşünülmüştür. C numunesine ait Manyetik Alan-Manyetik Moment eğrisinin iç alanı diğer numunelerden daha fazla çıkmıştır. Bu durum C numunesinde kritik akım yoğunluğunun da en yüksek değere sahip olmasını sağlamıştır.

Yapılan tüm analizlerde C numunesine ait sonuçlar diğer numunelerin sonuçlarından daha olumlu çıkmış olup tüm sonuçlar birbirini destekler durumdadır. Bu çalışma için sıcaklığın artışı ya da azalışına bağlı olarak kritik akım yoğunluğu değerinde ve manyetizasyon değerinde doğrudan bir ritmik artış ya da azalış görülmektedir. Bu çalışma için belirlenen sinterleme sıcaklıkları arasından en ideal sinterleme sıcaklığının $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu bulunmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)



Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 115F237 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Nagamatsu, J., Nakagawa, N., Muranaka, T., Zenitani, Y., Akimitsu, J. (2001). *Nature*, 410, 63–64.
- [2] Wilke, R. H. T., Bud'ko, S. L., Canfield, P. C., Kramer, M. J., Wu, Y. Q., Finnemore, D. K., Suplinskas, R. J., Marzik, J. V., Hannahs, S. T. (2005). Superconductivity in MgB₂ doped with Ti and C. *Physica C: Superconductivity*, Volume 418, Issues 3–4, (160-167). <https://doi.org/10.1016/j.physc.2004.11.022>.
- [3] Aksan, M. A., Yakıncı, M. E., Güldeste, A. (2006). Co-addition into MgB₂: The structural and electronic properties of (MgB₂)_{2-x}Co_x. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 424, Issues 1–2, 9 November, Pages 33-40, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.12.066>.
- [4] Qu, B., Sun, X. D., Li, J-G., Xiu, Z. M., Liu, S. H., Xue, C. P. (2008). Significant improvement of critical current density in MgB₂ doped with ferromagnetic Fe₃O₄ nanoparticles. *Superconductor Science and Technology*, Volume 22, Number 1, DOI: 10.1088/0953-2048/22/1/015027.
- [5] Berenov, A., Serquis, A., Liao, X. Z., Zhu, Y. T., Peterson, D. E., Bugoslavsky, Y., Yates, K. A., Blamire, M. G., Cohen, L. F., MacManus-Driscoll J. L. (2004). Enhancement of critical current density in low level Al-doped MgB₂. *Superconductor Science and Technology*, Volume 17, Number 10, DOI: 10.1088/0953-2048/17/10/001.
- [6] Ueda, S., Yamamoto, A., Shimoyama, J., Horii, S. (2004). Enhanced critical current properties observed in Na₂CO₃-doped MgB₂. *Superconductor Science and Technology*, 17(7):926, DOI: 10.1088/0953-2048/17/7/017.
- [7] Kim, J. H., Choi, S. (2015). Carbon doping induced imperfections on MgB₂ superconducting wire. *Journal of Analytical Science and Technology*, 6(11), DOI: 10.1186/s40543-015-0048-3.
- [8] Yeoh, W. K., Horvat, J., Dou, S. X., Munroe P. (2005). Effect of carbon nanotube size on superconductivity properties of MgB₂. *Ieee Transactions on Applied Superconductivity*, Volume 15, Number 2, DOI: 10.1109/TASC.2005.848853.
- [9] Cheng, H., Zhang, H., Zhao, Y., Feng, Y., Rui, X. F., Munroe, P., Zeng, H. M., Koshizuka, N., Murakami, M. (2003). Doping effect of nano-diamond on superconductivity and flux pinning in MgB₂. *Superconductor Science and Technology*, Volume 16, Number 10, <https://doi.org/10.1088/0953-2048/16/10/310>.
- [10] Soltanian, S., Horvat, J., Wang, X. L., Munroe, P., Dou, S. X. (2003). Effect of nano-carbon particle doping on the flux pinning properties of MgB₂ superconductor. *Physica C: Superconductivity*, Volume 390, Issue 3, Pages 185-190, DOI: 10.1016/S0921-4534(03)00960-2.
- [11] Ye, S. J., Matsumoto, A., Zhang, Y. C., Kumakura, H. (2014). Strong enhancement of high-field critical current properties and irreversibility field of MgB₂ superconducting wires by coronene active carbon source addition via the new B powder carbon-coating method. *Superconductor Science and Technology*, 27. 085012 (10pp), <https://doi.org/10.1088/0953-2048/27/8/085012>.
- [12] Bean, C. P. (1962) *Physical Review Letters*, 8, 250.
- [13] Suryanarayana, C., Norton, M. G. (1998). *X-Ray diffraction a practical approach*. (1. Press). New York: Plenum Publishing Corporation, 212.

- [14] Basurto, R-H., Lorente, A-I-L, Valcárcel, M. (2015). Scanning electron microscopy of carbon nanotubes dispersed in ionic liquid: Solvent influence study. *Microchemical Journal*, (122), 137-143, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.04.012>.
- [15] Shafi, P. M., Bose, A. C. (2015). Impact of crystalline defects and size on X-ray line broadening: A phenomenological approach for tetragonal SnO₂ nanocrystals. *AIP Advances* 5, 057137, <https://doi.org/10.1063/1.4921452>.
- [16] Yanmaz E, Savaşkan B, Başoğlu M, Taylan Koparan E, Dilley N R, Grovenor C R M, (2009). Complete flux jumping in nano-structured MgB₂ superconductors prepared by mechanical alloying, *Journal of Alloys and Compounds*, 480(2):203-207, DOI: 10.1016/j.jallcom.2009.02.031.
- [17] Gencer, A. (2012). Çok damarlı MgB₂ süperiletken üretimi, nano-boyutta katkılama yöntemi ile özelliklerinin iyileştirilmesi ve fiziksel karakterizasyonu, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kesin Raporu. Syf:55.
- [18] Y. Kimishima, S. Takami, T. Okuda, M. Uehara, T. Kuramoto, Y. Sugiyama (2007). Complete flux jump in bulk MgB₂ sintered under high pressure, *Physica C: Superconductivity and its Applications* 463–465 (2007) 281–285.
- [19] Gencer, A. (2012). Çok damarlı MgB₂ süperiletken üretimi, nano-boyutta katkılama yöntemi ile özelliklerinin iyileştirilmesi ve fiziksel karakterizasyonu, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kesin Raporu. Syf:53.
- [20] Durán, A., Verdin, E., Galván, D., H., Romero-Salazar, C., Morales, F., Adem, E., Rickards, J., Maple, M., B., Escudero, R., (2008). Magnetic instability in irradiated MgB₂ dense samples. *Journal of Applied Physics*, 104: 093917(6).

An Investigation for the Potential of Biogas to be Produced from Animal Waste in Corum

Sertaç Samed SEYİTOĞLU^{1,*}  Emir AVCIOĞLU² 

¹Hitit University Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 19030, ÇORUM

²Hitit University Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, ÇORUM

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 02/03/2021
Revision: 06/04/2021
Accepted: 07/04/2021

Highlights

- Biomass.
- Animal Waste.
- Electricity Generation

Keywords

Biomass
Animal Waste
Corum
Biogas
Electricity Generation
CO₂ Emission

In this study, the potential of biogas that can be obtained from animal wastes within the province of Çorum and its surrounding districts was investigated. The amount of biogas that can be produced in the province and per district has been determined. The quantities of biogas that can be generated from the wastes of bovine (cattle, buffalo), ovine (goat, sheep) and poultry (chicken, goose, duck, turkey) was calculated.

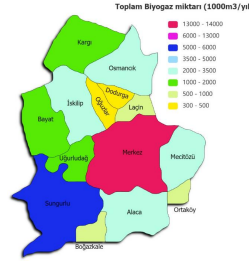


Figure A. Total biogas amount of Corum Province

Purpose: In this study, the potential of biogas that can be obtained from animal wastes within the province of Çorum and its surrounding districts is investigated. The calorific value of biogas that can be produced and the amount of electricity that can be generated have also been determined.

Theory and Methods: Biogas production process is explained step by step. Amount of biogas required for electricity generation are given in the paper. The quantities of biogas that can be generated from the wastes of bovine (cattle, buffalo), ovine (goat, sheep) and poultry (chicken, goose, duck, turkey) was calculated.

Results: The evaluations in this study have revealed that the total amount of electricity that can be produced from biogas is 80748.8 MWh per year from cattle waste, 3506.7 MWh from ovine animals waste and 16064.4 MWh from poultry waste. In total, the amount of electricity that can be produced for Çorum province has been determined to be 100319.9 MWh per year.

Conclusion: In general, the global energy production needs are met with fossil-sourced fuels. However, due to the fact that fossil fuels will be exhausted over time, together with the damage that is inflicted on the environment, people have sought different resources. Biogas energy is a type of renewable energy source that attracts the attention of researchers. The evaluations in this study have revealed that the total amount of electricity that can be produced from biogas is 80748.8 MWh per year from cattle waste, 3506.7 MWh from ovine animals waste and 16064.4 MWh from poultry waste. In total, the amount of electricity that can be produced for Çorum province has been determined to be 100319.9 MWh per year. It has been found that CO₂ emissions from biogas-generated electricity will be 2608.06 tons. When compared to alternatively sourced electricity, it was found that when the same amount of electricity is obtained from natural gas, CO₂ emission will be approximately 20 times higher, and when the electricity is obtained from imported coal, the CO₂ emission will be 34 times that produced when using biogas.



An Investigation for the Potential of Biogas to be Produced from Animal Waste in Corum

Sertaç Samed SEYİTOĞLU^{1,*} Emir AVCIOĞLU²

¹Hittit University Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 19030, ÇORUM

²Hittit University Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 19030, ÇORUM

Abstract

One of the most important current issues is obtaining and efficiently using energy, a basic necessity of life. With the continuous development of technology and increase in the world population, energy demands keep increasing. In general, the global energy production needs are met with fossil-sourced fuels. However, due to the fact that fossil fuels will be exhausted over time, together with the damage that is inflicted on the environment, people have sought different resources. Biogas energy is a type of renewable energy source that attracts the attention of researchers. In this study, the potential of biogas that can be obtained from animal wastes within the province of Çorum and its surrounding districts was investigated. The amount of biogas that can be produced in the province and per district has been determined. The quantities of biogas that can be generated from the wastes of bovine (cattle, buffalo), ovine (goat, sheep) and poultry (chicken, goose, duck, turkey) was calculated. The calorific value of biogas that can be produced and the amount of electricity that can be generated have also been determined. The evaluations in this study have revealed that the total amount of electricity that can be produced from biogas is 80748.8 MWh per year from cattle waste, 3506.7 MWh from ovine animals waste and 16064.4 MWh from poultry waste. In total, the amount of electricity that can be produced for Çorum province has been determined to be 100319.9 MWh per year. It has been found that CO₂ emissions from biogas-generated electricity will be 2608.06 tons. When compared to alternatively sourced electricity, it was found that when the same amount of electricity is obtained from natural gas, CO₂ emission will be approximately 20 times higher, and when the electricity is obtained from imported coal, the CO₂ emission will be 34 times that produced when using biogas.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 02/03/2021
Düzeltilme: 06/04/2021
Kabul: 07/04/2021

Keywords

Biomass
Animal Waste
Corum
Biogas
Electricity Generation
CO₂ Emission

Anahtar Kelimeler

Biyokütle
Hayvansal Atık
Çorum
Biyogaz
Elektrik Üretimi
CO₂ Emisyonu

Çorum İlinin Hayvansal Atıklardan Üretilen Biyogaz Potansiyelinin İncelenmesi

Öz

Yaşamın en temel gerekliliklerinden biri olan enerjinin elde edilmesi, verimli kullanılması günümüzde büyük önem arz etmektedir. Teknolojinin gelişmesi ve dünya nüfusundaki artış ile enerjiye olan ihtiyaç artmış durumdadır. Genel olarak dünyada enerji üretimi fosil kaynaklı yakıtlar ile yapılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların zamanla tükenmesi ve çevreye olan zararlarından dolayı insanlar farklı kaynakların arayışına girmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan biyogaz enerjisi araştırmacıların oldukça dikkatini çekmektedir. Bu çalışmada, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi'nden alınan Ocak 2021 tarihli veriler kullanılarak, Çorum ili ve ilçelerine ait hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli incelenmiştir. İl ve ilçeler bazında üretilen biyogaz miktarı tespit edilmiştir. Çalışmada büyükbaş (sığır, manda), küçükbaş (keçi, koyun) ve kanatlı (tavuk, kaz, ördek, hindi) hayvanların atıklarından üretilen biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Üretilen biyogazın ısı değeri ve üretilen elektrik miktarı da bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Üretilen biyogaz miktarına bağlı olarak toplam üretilen elektrik miktarı ise büyükbaş hayvanlar için yıllık 80748.8 MWh, küçükbaş hayvan için yıllık 3506.7 MWh ve kanatlı hayvanlar için yıllık 16064.4 MWh olarak bulunmuştur. Toplamda Çorum ili için üretilen elektrik miktarı yıllık 100319.9 MWh olarak tespit edilmiştir. Üretilen biyogaz miktarından elektrik üretilmesi durumunda 2608.06 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkacağı tespit edilmiştir. Aynı elektrik miktarının farklı kaynaklardan elde edilmesi durumu incelendiğinde, elektriğin doğalgazdan elde edilmesi durumunda yaklaşık 20 kat, ithal kömür ile elde edilmesi durumunda ise yaklaşık 34 kat daha fazla karbon salınımı ortaya çıkacağı belirlenmiştir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, yaşamın devam edebilmesi için temel ihtiyaçlardan birisidir. Dünya genelinde aşırı nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler enerjiye olan ihtiyacı günden güne arttırmaktadır. Dünya çapında enerji tüketimi, 2007 yılından 2035 yılına kadar yaklaşık olarak %49 oranında artacağı tahmin edilmektedir [1]. Yaşamak ve gereksinimleri karşılamak için ihtiyaç duyulan enerji farklı kaynaklardan elde edilebilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji ağırlıklı olarak fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil kaynaklı yakıtlar zamanla tükenebilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca fosil yakıt kaynaklarının birçok ülkede olmaması ülkeleri dışa bağımlı hale getirmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların çok fazla kullanılıyor olması dünyanın geleceği için önemli tehditler oluşturmaktadır. Fosil yakıt kullanımı sebebiyle sera gazı emisyonları artmasının yanı sıra diğer kirletici maddelerin salınımı da artmıştır [2]. Buna bağlı olarak kaynakların yeterli olmayışı insanlığı farklı kaynaklar araştırmaya yönlendirmiştir [3,4]. Ülkeler coğrafi konumlarına bağlı olarak fosil yakıt kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilmek için farklı stratejiler ve teknolojiler geliştirmiş durumdadır [5]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından önemli birisi olan biyokütle enerjisinin küresel enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %25'ini karşılayabileceği tahmin edilmektedir [6].

Biokütlenin anaerobik şekilde parçalanması sonucu biyogaz enerjisi ortaya çıkar [7]. Biyogaz yanıcı bir gazdır. Hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilir. Biyogazın içeriği ham madde işlem sürecine göre değişkenlik gösterebilir. Biyogazın içerisinde bulunan metan gazının oranına göre enerji biçiminde kullanılıp kullanılmayacağı belirlenir. Metan ve karbondioksit ana bileşenleri olmak üzere biyogazın içerisinde su buharı, hidrojen sülfid, azot, hidrojen, oksijen ve karbonmonoksit bulunabilir [8]. Biyokütleden üretilen biyogaz, ısınma ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Biyogazın yanma sonucu elektrik üretilmesinin yanı sıra ortaya çıkan ısı enerjisi ile bina ısıtması ve kurutma işlemleri de yapılabilmektedir. Biyokütlenin gaza dönüştürülmesi sonucu hayvan artıklarının kokusu hissedilmeyecek kadar azalmaktadır. Biyogaz üretiminden sonra ortaya çıkan artıklar değerli bir organik gübre haline dönüşür [9]. Tarım ve hayvancılığın gelişmesi neticesinde hayvan atıkları potansiyeli de sürekli olarak artmaktadır. Yaşamış olduğumuz coğrafya tarım atıkları ve hayvan atıkları bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Mevcut potansiyelden gerektiği gibi faydalanamamak çevreye zararlı başka atıkların oluşmasına neden olacaktır. Hayvan atıkları yüksek oranda azot ve fosfor içerdikleri için çevre kirliliğine yol açmaktadırlar. Hayvan atıklarının biyogaza dönüştürülerek kaliteli organik gübre üretimi ve mikrobiyal patojenlerin azaltılması gibi faydalı sonuçlar elde edilebilir [10]. Biyogaz üretimi ile ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Kaygusuz ve Türker [11] yapmış oldukları çalışmada Türkiye'de ki biyokütle potansiyeli ve kullanımına genel bir bakış açısı sunmuşlardır. Biyokütlenin gelecekte daha sürdürülebilir enerji senaryolarında önemli bir role sahip olacağını önermişlerdir. Biyokütlenin geleceğin çevre dostu yakıt haline gelebileceğini vurgulamışlardır. Ergür ve Okumuş [12] yapmış oldukları çalışmada Eskişehir şehri için sığır gübresi ile biyogaz üretim potansiyeli ve maliyet analizini yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda hayvan atıklarının işlenmesi neticesinde Eskişehir'e önemli bir katkı sağlayacağını vurgulamışlardır. Akbulut [13] yapmış olduğu çalışmada Çiçekdağı/Kırşehir bölgesinde biyogaz tesisinde elektrik üretiminin ekonomik analizini yapmıştır. Tesiste kurulan kojenerasyon tesisi ile emisyon miktarını yıllık olarak önemli miktarda azaldığını göstermiştir. Avcioğlu ve Türker [14] yapmış oldukları çalışmada atıkların işletmeler için büyük sorun olduğundan ve uygun değerlendirilmediğinden bahsetmişler ve atıklardan yararlanmanın en uygun yolunun biyogaz üretmek olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca atık haritası ve elde edilebilecek biyogaz değerlerine göre yüksek potansiyeli olan illeri göstermişlerdir. Acaroğlu ve Aydoğan [15] yapmış oldukları çalışmada Türkiye'nin biyokütle enerjisini incelemişlerdir. Yüksek maliyet nedeniyle teşvik mekanizmalarının oluşturulmasını önermişlerdir. Ayrıca, ulusal kaynakları kullanmak açısından ülkelere son derece önemli ekonomik ve çevresel avantajlar sağlayacağından bahsetmişlerdir. Baran ve arkadaşları [16] yapmış oldukları çalışmada Adıyaman ilinin hayvan atıklarından enerji üretim potansiyeli incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Adıyaman ilinde hayvan atıklarından elde edilebilecek önemli bir biyogaz potansiyelinin olduğunu belirtmişlerdir. Karaca [17] yapmış olduğu çalışmada Hatay ilinin ilçeleri dâhil hayvan atıkları miktarını ve bunların biyogaz potansiyellerini incelemiştir. Sonuç olarak Hatay ili için 15 milyon m³ biyogaz potansiyelinin olduğunu tespit etmiştir. Özer [18] yapmış olduğu çalışmada Ardahan ili için hayvan gübresi ve tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini ve buna karşılık gelen CO₂ emisyonu azaltılmasını incelemiştir. Meyer ve arkadaşları [19] yaptıkları çalışmada Avrupa

Birliğine üye ülkelerin biyokütle ve biyogaz enerji potansiyelini incelemişlerdir. Biyokütle kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması için daha fazla teknolojik gelişmenin olması gerektiğini vurgulamışlardır. Can [20] yapmış olduğu çalışmada Türkiye'deki belediye katı atıklarından enerji üretim kapasitesini incelemiştir. Türkiye'de çöp gazlarını kullanarak yenilenebilir enerji üretme potansiyelinin yüksek olduğunu vurgulamıştır.

Literatür araştırmasında da görüldüğü gibi biokütle potansiyeli ve biyogaz üretimi güncelliğini koruyan araştırmacıların dikkatini çeken bir konudur. Bu çalışmada Çorum ili içerisinde bulunan küçükbaş hayvan, kanatlı hayvan ve büyükbaş hayvan atıklarından biyogaz elde edilmesi üzerine kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde Çorum merkez ilçe dahil 14 ilçede bulunan kanatlı hayvan, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları belirlenmiştir. Belirlenen hayvan sayılarına göre bu hayvanların oluşturduğu atıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan atıklara göre elde edilebilecek biyogaz potansiyeli her bir ilçe için belirlenmiştir. Belirlenen potansiyele göre üretilecek elektrik miktarı ve CO₂ emisyonları hesaplanmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Orta Karadeniz Bölgesinin iç kısımlarında bulunan Çorum ili 34 derece 5 dakika doğu boylamları ile 39 derece 54 dakika kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Doğuda Amasya, güneyde Yozgat, batıda Çankırı, kuzeyde Sinop, Kuzeydoğuda Samsun, güneybatıda Kırıkkale ile çevrilir. Yüzölçümü 12820 km² olup deniz seviyesinden yüksekliği 801 metredir. Çorum ili Merkez, Alaca, Bayat, Boğazkale, Dodurga, İskilip, Kargı, Laçın, Mecitözü, Oğuzlar, Ortaköy, Osmancık, Sungurlu ve Uğurludağ ilçelerinden oluşmaktadır [21]. Çorum İli ve ilçeleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çorum ili ve ilçeleri

Hesaplamalarda kullanılan hayvan sayıları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan elde edilmiştir. Çorum ili için elde edilen hayvan sayıları büyükbaş (sığır, manda), küçükbaş (keçi, koyun) ve kanatlı (tavuk, hindi, kaz, ördek) şeklinde toplanmıştır. Yapılan literatür araştırması sonucunda büyükbaş hayvanlar için ortalama günlük 22 kg atık, küçükbaş hayvanlar için ortalama günlük 2.5 kg atık ve kanatlı hayvanlar içinse günlük ortalama 0.08 kg atık elde edilebileceği tespit edilmiştir. Değerlendirmeye alınan hayvanların atıkları için ulaşılabilirlik oranları literatürden elde edilmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hayvan atıkları ulaşılabilirlik oranları

	<i>Atık Ulaşılabilirlik Oranı (%)</i>	<i>Kaynak</i>
<i>Büyükbaş</i>	65	[17,22]
<i>Küçükbaş</i>	13	[22]
<i>Kanatlı</i>	99	[17,22]

Hayvan atıklarından biyogaz elde edilmesi hesabında literatürde birçok kabul gören ve kullanılan yaklaşımlar mevcuttur. Hayvan atığından biyogaz potansiyelinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır [23].

$$TGAÜM= (HS \times HGAM)/1000 \quad 1$$

Burada TGAÜM ile gösterilen değer toplam günlük atık üretim miktarını (ton/gün) cinsinden, HS ile gösterilen değer hayvan sayısını, HGAM ile gösterilen değer ise bir hayvanın günlük atık miktarını (kg/gün) cinsinden göstermektedir. Hesaplamalarda HGAM değeri büyükbaş için 22 kg/gün, küçükbaş için 2.5 kg/gün, kanatlı hayvan için 0.08 kg/gün olduğu kabul edilmiştir.

$$KAM=TGAÜM \times KAO \quad 2$$

Eşitlikte KAM, katı atık miktarını (ton/gün) cinsinden göstermektedir. Eşitliğin sağ tarafında kalana KAO değeri ise katı atık oranıdır. KAO değeri (%) cinsinden ifade edilir ve bu çalışmada büyükbaş hayvan için %12.7, küçükbaş hayvan için %25 ve kanatlı hayvan içinse %25 olduğu kabul edilmiştir [22].

$$TKKAM=KAM \times AUO \quad 3$$

3 numaralı eşitlikte bulunan TKKAM ifadesi toplam kullanılabilir katı atık miktarını (ton/yıl) cinsinden ifade etmektedir. Eşitliğin diğer tarafında bulunan AUO ise atık ulaşılabilirlik oranıdır.

$$BM=TKKAM \times KABDO \quad 4$$

Verilen eşitlikte BM ifadesi yıllık biyogaz miktarını (m³/yıl) cinsinden ifade etmektedir. KABDO ifadesi ise katı atık biyogaz dönüşüm oranını (m³/ton) cinsinden göstermektedir. KABDO değeri 200 m³/ton olarak kabul edilmiştir [22].

$$TYID=BM \times BBID \quad 5$$

Eşitlik 5'te verilen TYID ifadesi toplam yıllık ısı değeri (MJ/yıl) olarak gösterirken BBID ifadesi ise biyogaz birim ısı değeri göstermektedir. Biyogazın birim ısı değeri olarak 22.7 MJ/m³ değeri kabul edilmiştir. Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogazın yakıt olarak gaz motorunda kullanılması ile birlikte üretilebilecek elektrik miktarı hesaplanabilir.

$$ÜEM= TYID/3600 \times \eta_{gm} \quad 6$$

Verilen eşitlikte ÜEM, hayvansal atıklardan üretilecek elektrik miktarını (MWh/yıl) cinsinden göstermektedir. η_{gm} ifadesi ise gaz motorunun net elektrik üretim verimidir. Gaz motorunun net elektrik verimi % 40 olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR (RESULTS)

Çorum ili hayvancılık yönünden önemli bir potansiyele sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre Çorum'da büyükbaş hayvan sayısı 241485, küçükbaş hayvan sayısı 234412, kanatlı hayvan sayısı 4406494 olarak belirtilmiştir. Bu verilere göre Türkiye'deki büyükbaş hayvanın yaklaşık olarak % 1.38'i, küçükbaş hayvanın % 0.5'i ve kanatlı hayvanında % 1.22'si Çorum ilinde bulunmaktadır. Çorum ili merkez ve ilçelerindeki büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çorum ili büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları

	Büyükbaş	Küçükbaş	Kanatlı
<i>Alaca</i>	24429	15398	15998
<i>Bayat</i>	13442	12509	8925
<i>Boğazkale</i>	4507	4427	4000
<i>Dodurga</i>	2498	2700	2025
<i>İskilip</i>	24500	16210	46513
<i>Kargı</i>	13064	22133	12371
<i>Laçın</i>	5600	9194	10059
<i>Mecitözü</i>	25314	19985	6590
<i>Merkez</i>	53951	44100	4214000
<i>Oğuzlar</i>	3574	0	1780
<i>Ortaköy</i>	5352	6206	4762
<i>Osmancık</i>	21143	26999	8081
<i>Sungurlu</i>	36487	45410	60820
<i>Uğurludağ</i>	7624	9141	10570
TOPLAM	241485	234412	4406494

Tablo 2’de gösterildiği üzere büyükbaş hayvan ve kanatlı hayvan türünde en fazla sayıya sahip bölge Çorum ili merkezi olmuştur. Çorum ili merkezde toplam büyükbaş hayvanın %22.3’ü ve kanatlı hayvanın %95.6 si bulunmaktadır. Küçükbaş hayvan sayısında ise Sungurlu ilçesi en fazla yoğunluğa sahip ilçedir ve küçükbaş hayvanların % 19.3’ü burada bulunmaktadır. Büyükbaş hayvan sayısında merkezden sonra en fazla hayvan bulunan ilçeler 36487 ile Sungurlu, 25314 ile Mecitözü olmuştur. Küçükbaş hayvan sayısında ikinci sırayı 44100 adet ile Çorum Merkez, üçüncü sırayı ise 26999 adet ile Osmancık ilçesi almıştır.

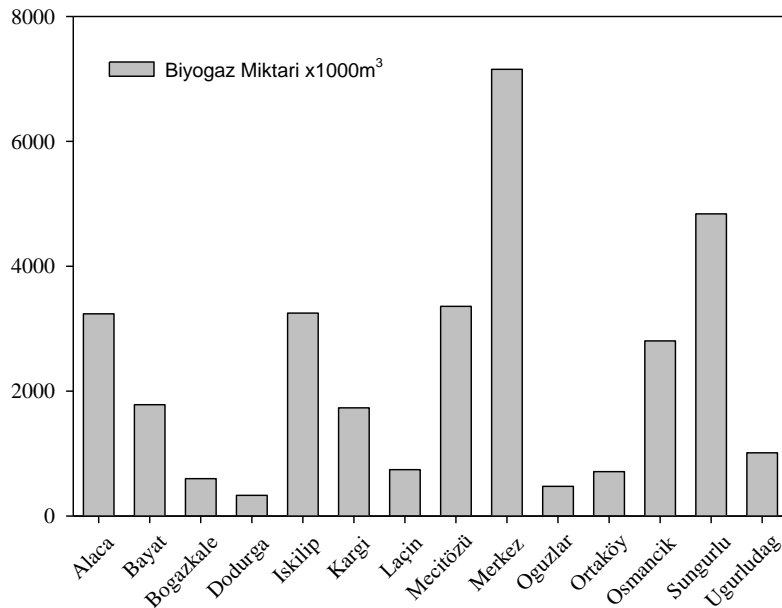
3.1. Büyükbaş Hayvan Değerlendirmesi (Bovine Animal Assessment)

Bu bölümde Çorum ilindeki büyükbaş hayvan sayılarına göre atık miktarları, üretilebilecek biyogaz potansiyeli ve bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek ısı enerjisi ve elektrik enerjisi miktarları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 3. Çorum ili ve ilçeleri için büyükbaş hayvan atık miktarları

	HS	TGAÜM (ton/gün)	KAM (ton/gün)	TKKAM (ton/yıl)
Alaca	24429	537.43	68.25	16193.41
Bayat	13442	295.72	37.55	8910.38
Boğazkale	4507	99.15	12.59	2987.58
Dodurga	2498	54.95	6.97	1655.86
İskilip	24500	539.00	68.45	16240.47
Kargı	13064	287.40	36.50	8659.81
Laçın	5600	123.20	15.64	3712.10
Mecitözü	25314	556.90	70.72	16780.05
Merkez	53951	1186.92	150.73	35762.85
Oğuzlar	3574	78.62	9.98	2369.12
Ortaköy	5352	117.74	14.95	3547.71
Osmancık	21143	465.14	59.07	14015.19
Sungurlu	36487	802.71	101.94	24186.37
Uğurludağ	7624	167.72	21.30	5053.77
TOPLAM	241485	5312.67	674.70	160074.73

Tablo 3'te Çorum ili ve ilçelere göre büyükbaş hayvan sayılarına bağlı olarak toplam günlük atık üretim miktarı, katı atık miktarı ve toplam kullanılabilir katı atık miktarları gösterilmektedir. Hesaplamalar yapılırken büyükbaş hayvanlar için günlük atık miktarı hayvan başına 22 kg olarak, katı atık oranı ise %12.7 olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller ışığında Çorum'da bulunan büyükbaş hayvanlardan toplam kullanılabilir katı atık miktarı olarak yıllık 160074.73 ton değeri elde edilmiştir. Büyükbaş hayvan sayısına bağlı olarak elde edilen bu değerlerde en fazla hayvanın bulunduğu Çorum-Merkez, en fazla kullanılabilir atık miktarı sağlamaktadır. Diğer taraftan en düşük kullanılabilir atık miktarını ise yılda 1655.86 ton ile Dodurga ilçesi sağlamaktadır.

**Şekil 2.** Büyükbaş hayvan biyogaz miktarı

Şekil 2’de büyükbaş hayvan sayılarına bağlı olarak elde edilen biyogaz üretim miktarları verilmiştir. Hayvan sayısının fazla olduğu Çorum-Merkez ve Sungurlu ilçesinde üretilebilecek biyogaz miktarı da fazladır. Çorum genelinde büyükbaş hayvan atıklarından üretilebilecek biyogaz miktarı yılda toplam 32014946.32 m³ olarak tespit edilmiştir. Büyükbaş hayvan atıklarından üretilebilecek toplam biyogaz miktarına bağlı olarak toplam yıllık ısı değer ve üretilecek elektrik miktarı Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. *Büyükbaş hayvandan elde edilecek enerji değerleri*

	TYID (MJ/yıl)	ÜEM (MWh/yıl)
<i>Alaca</i>	73518081.48	8168.67
<i>Bayat</i>	40453152.05	4494.79
<i>Boğazkale</i>	13563633.11	1507.07
<i>Dodurga</i>	7517629.356	835.29
<i>İskilip</i>	73731753.10	8192.41
<i>Kargı</i>	39315576.43	4368.39
<i>Laçın</i>	16852972.14	1872.55
<i>Mecitözü</i>	76181452.97	8464.60
<i>Merkez</i>	162363339.20	18040.37
<i>Oğuzlar</i>	10755807.57	1195.08
<i>Ortaköy</i>	16106626.23	1789.62
<i>Osmancık</i>	63628998.19	7069.88
<i>Sungurlu</i>	109806141.80	12200.68
<i>Uğurludağ</i>	22944117.780	2549.34
TOPLAM	726739281.50	80748.80

Tablo 4’te görüldüğü gibi büyükbaş hayvan atığından yılda GJ’a dönüştürüldüğünde 726739.28 GJ ısı enerjisi elde edilebilirken yılda 80748.80 MWh elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu değer yaklaşık olarak 9.2 MW Kurulu güce sahip biyogazdan elektrik üretimi tesis potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

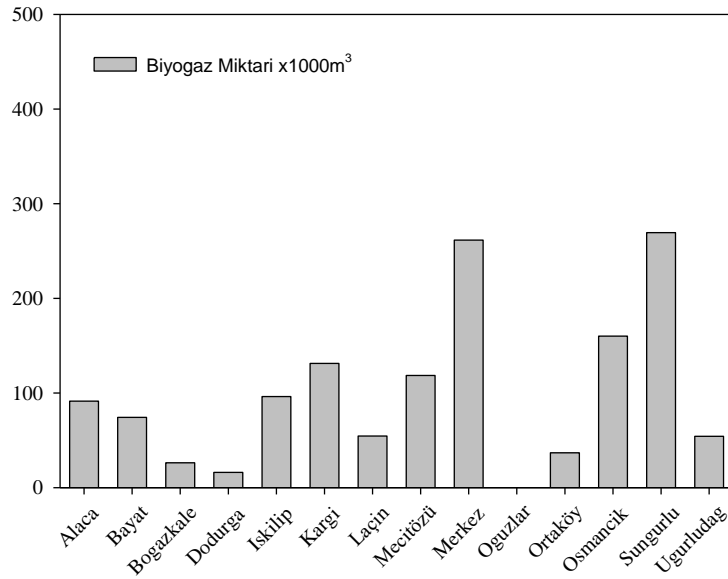
3.2. Küçükbaş Hayvan Değerlendirmesi (Ovine Animal Assessment)

Bu bölümde Çorum ilindeki küçükbaş hayvan sayılarına göre atık miktarları, üretilebilecek biyogaz potansiyeli ve bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek ısı enerjisi ve elektrik enerjisi miktarları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 5. Çorum ili ve ilçeleri için küçükbaş hayvan atık miktarları

	HS	TGAÜM (ton/gün)	KAM (ton/gün)	TKKAM (ton/yıl)
<i>Alaca</i>	15398	38.49	9.62	456.64
<i>Bayat</i>	12509	31.27	7.81	370.97
<i>Boğazkale</i>	4427	11.06	2.76	131.28
<i>Dodurga</i>	2700	6.75	1.68	80.07
<i>İskilip</i>	16210	40.52	10.13	480.72
<i>Kargı</i>	22133	55.33	13.83	656.38
<i>Laçın</i>	9194	22.98	5.74	272.65
<i>Mecitözü</i>	19985	49.96	12.49	592.68
<i>Merkez</i>	44100	110.25	27.56	1307.84
<i>Oğuzlar</i>	0	0	0	0
<i>Ortaköy</i>	6206	15.51	3.87	184.04
<i>Osmancık</i>	26999	67.49	16.87	800.68
<i>Sungurlu</i>	45410	113.52	28.38	1346.69
<i>Uğurludağ</i>	9141	22.85	5.71	271.08
TOPLAM	234412	586.03	146.50	6951.78

Tablo 5'te Çorum ili ve ilçelere göre küçükbaş hayvan sayılarına bağlı olarak toplam günlük atık üretim miktarı, katı atık miktarı ve toplam kullanılabilir katı atık miktarları gösterilmektedir. Hesaplamalar yapılırken küçükbaş hayvanlar için günlük atık miktarı hayvan başına 2.5 kg olarak, katı atık oranı ise %25 olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller ışığında Çorum'da bulunan küçükbaş hayvanlardan toplam kullanılabilir katı atık miktarı olarak yıllık 6951.78 ton değeri elde edilmiştir. Küçükbaş hayvan sayısına bağlı olarak elde edilen bu değerlerde en fazla hayvanın bulunduğu Sungurlu ilçesi en fazla kullanılabilir atık miktarı sağlamaktadır. Oğuzlar ilçesinde küçükbaş hayvancılık yapılmadığı için bu ilçe toplam atık miktarına katkı sağlayamamıştır.

**Şekil 3.** Küçükbaş hayvan biyogaz miktarı

Şekil 3’de küçükbaş hayvan sayılarına bağlı olarak elde edilen biyogaz üretim miktarları verilmiştir. Hayvan sayısının fazla olduğu Sungurlu ilçesi ve Çorum-Merkez’de üretilebilecek biyogaz miktarı da fazladır. Çorum genelinde küçükbaş hayvan atıklarından üretilebilecek biyogaz miktarı yılda toplam 1390356.17 m³ olarak tespit edilmiştir. Küçükbaş hayvan atıklarından üretilebilecek toplam biyogaz miktarına bağlı olarak toplam yıllık ısıl değer ve üretilecek elektrik miktarı Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Küçükbaş hayvandan elde edilecek enerji değerleri

	TYID (MJ/yıl)	ÜEM (MWh/yıl)
<i>Alaca</i>	2073177.09	230.35
<i>Bayat</i>	1684203.94	187.13
<i>Boğazkale</i>	596048.51	66.22
<i>Dodurga</i>	363526.31	40.39
<i>İskilip</i>	2182504.26	242.50
<i>Kargı</i>	2979973.28	331.10
<i>Laçın</i>	1237874.41	137.54
<i>Mecitözü</i>	2690767.90	298.97
<i>Merkez</i>	5937596.43	659.73
<i>Oğuzlar</i>	0	0
<i>Ortaköy</i>	835571.96	92.84
<i>Osmancık</i>	3635128.48	403.90
<i>Sungurlu</i>	6113974.01	679.33
<i>Uğurludağ</i>	1230738.52	136.74
TOPLAM	31561085.17	3506.78

Tablo 6’da görüldüğü gibi küçükbaş hayvan atığından yılda 31561.09 GJ ısı enerjisi elde edilebilirken yılda 3506.78 MWh elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu değer yaklaşık olarak 0.4 MW Kurulu güce sahip biyogazdan elektrik üretimi tesis potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

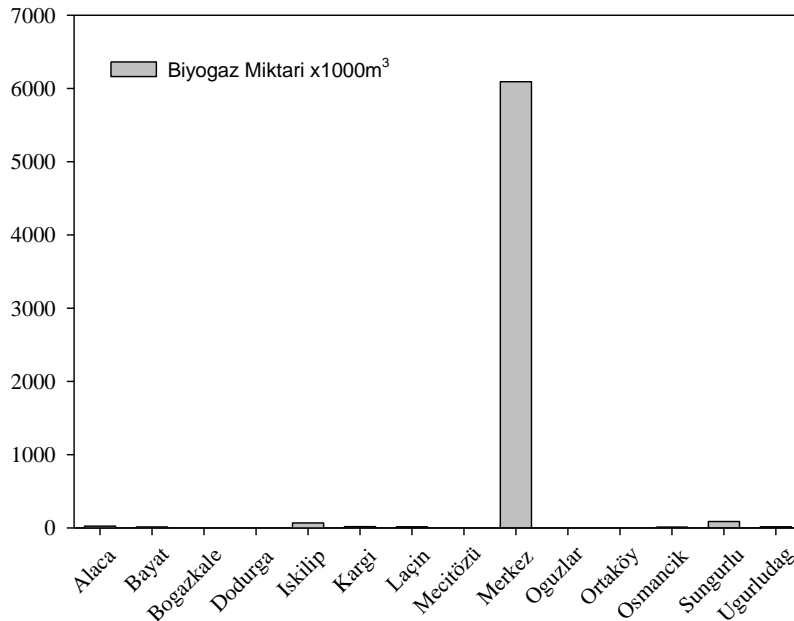
3.3. Kanatlı Hayvan Değerlendirmesi (Poultry Assessment)

Bu bölümde Çorum ilindeki kanatlı hayvan sayılarına göre atık miktarları, üretilebilecek biyogaz potansiyeli ve bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek ısıl enerji ve elektrik enerjisi miktarları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 7. Çorum ili ve ilçeleri için kanatlı hayvan atık miktarları

	HS	TGAÜM (ton/gün)	KAM (ton/gün)	TKKAM (ton/yıl)
<i>Alaca</i>	15998	1.27	0.31	115.61
<i>Bayat</i>	8925	0.71	0.17	64.50
<i>Boğazkale</i>	4000	0.32	0.08	28.90
<i>Dodurga</i>	2025	0.16	0.04	14.63
<i>İskilip</i>	46513	3.72	0.93	336.14
<i>Kargı</i>	12371	0.98	0.24	89.40
<i>Laçın</i>	10059	0.80	0.20	72.69
<i>Mecitözü</i>	6590	0.52	0.13	47.62
<i>Merkez</i>	4214000	337.12	84.28	30454.57
<i>Oğuzlar</i>	1780	0.14	0.03	12.86
<i>Ortaköy</i>	4762	0.38	0.09	34.41
<i>Osmancık</i>	8081	0.64	0.16	58.40
<i>Sungurlu</i>	60820	4.86	1.21	439.54
<i>Uğurludağ</i>	10570	0.84	0.21	76.38
TOPLAM	4406494	352.51	88.12	31845.73

Tablo 7’te Çorum ili ve ilçelere göre kanatlı hayvan sayılarına bağlı olarak toplam günlük atık üretim miktarı, katı atık miktarı ve toplam kullanılabilir katı atık miktarları gösterilmektedir. Hesaplamalar yapılırken kanatlı hayvanlar için günlük atık miktarı hayvan başına 0.08 kg olarak, katı atık oranı ise %25 olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller ışığında Çorum’da bulunan kanatlı hayvanlardan toplam kullanılabilir katı atık miktarı olarak yıllık 31845.73 ton değeri elde edilmiştir. Kanatlı hayvan sayısına bağlı olarak elde edilen bu değerlerde en fazla hayvanın bulunduğu Çorum ili merkezi en fazla kullanılabilir atık miktarı sağlamaktadır.

**Şekil 4.** Kanatlı hayvan biyogaz miktarı

Şekil 4’de kanatlı hayvan sayılarına bağlı olarak elde edilen biyogaz üretim miktarları verilmiştir. Hayvan sayısının fazla olduğu Çorum-Merkez’de üretilebilecek biyogaz miktarı en fazladır. Çorum genelinde kanatlı hayvan atıklarından üretilebilecek biyogaz miktarı yılda toplam 6369146.42 m³ olarak tespit edilmiştir. Kanatlı hayvan atıklarından üretilebilecek toplam biyogaz miktarına bağlı olarak toplam yıllık ısı değer ve üretilecek elektrik miktarı Tablo 8’de verilmiştir.

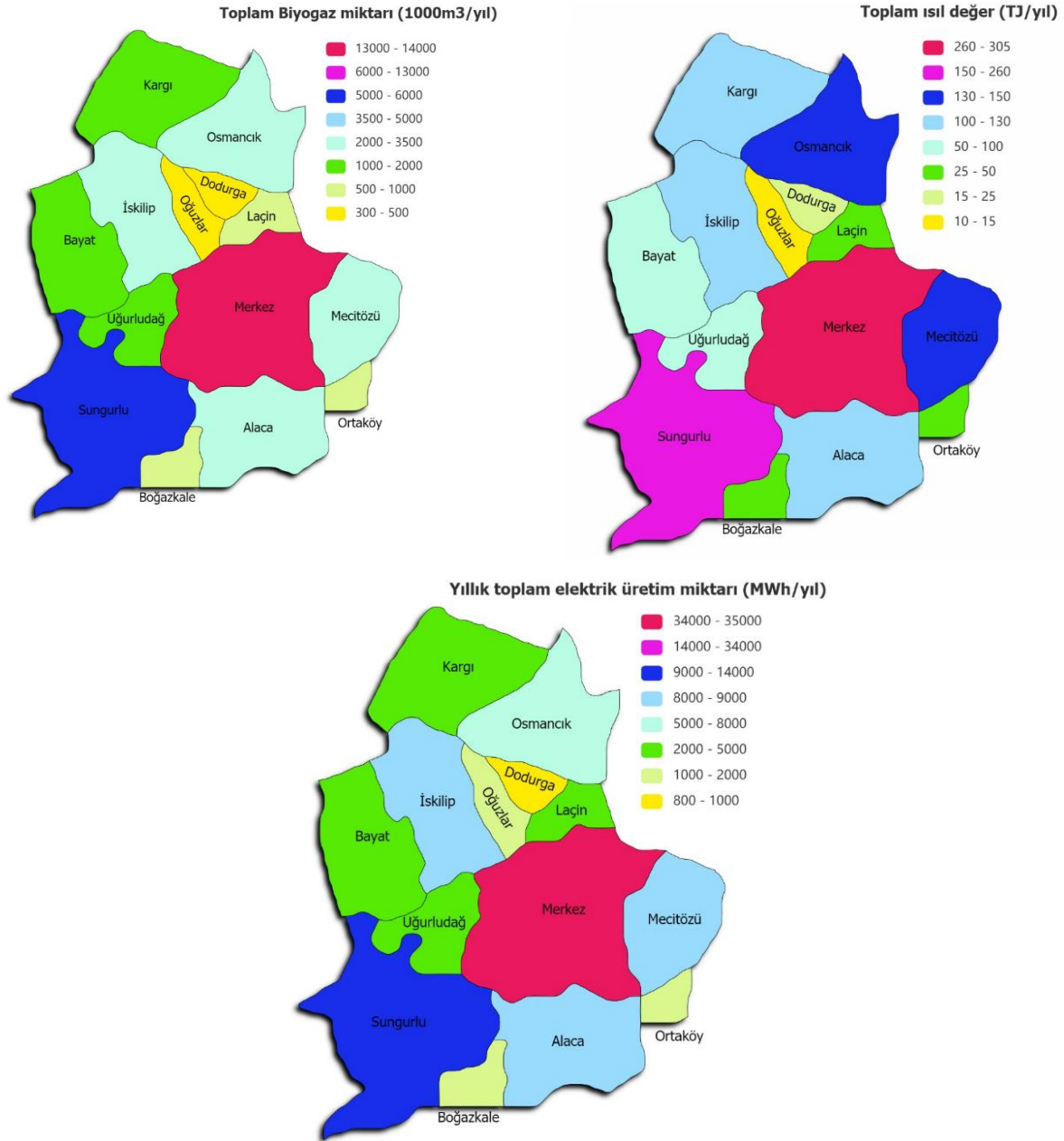
Tablo 8. Kanatlı hayvandan elde edilecek enerji değerleri

	TYID (MJ/yıl)	ÜEM (MWh/yıl)
<i>Alaca</i>	524903.65	58.32
<i>Bayat</i>	292834.42	32.53
<i>Boğazkale</i>	131242.32	14.58
<i>Dodurga</i>	66441.42	7.38
<i>İskilip</i>	1526118.50	169.56
<i>Kargı</i>	405899.68	45.09
<i>Laçın</i>	330041.62	36.67
<i>Mecitözü</i>	216221.72	24.02
<i>Merkez</i>	138263784.10	15362.64
<i>Oğuzlar</i>	58402.83	6.48
<i>Ortaköy</i>	156243.98	17.36
<i>Osmancık</i>	265142.29	29.46
<i>Sungurlu</i>	1995539.47	221.72
<i>Uğurludağ</i>	346807.83	38.53
TOPLAM	144579623.90	16064.40

Tablo 8’de görüldüğü gibi kanatlı hayvan atığından yılda 144579.62 GJ ısı enerjisi elde edilebilirken yılda 16064.4 MWh elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu değer yaklaşık olarak 1.9 MW Kurulu güce sahip biyogazdan elektrik üretimi tesis potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Çorum ili için büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan potansiyellerine göre toplam biyogaz üretimi, toplam ısı enerjisi üretimi ve toplam elektrik üretimi grafikleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Çorum ili ve ilçeleri enerji değerleri

Şekil 5'te de görüldüğü gibi toplam biyogaz üretimi toplam ısı enerji üretimi ve elektrik üretim potansiyeli Çorum-Merkez'de görülmektedir. Çorum-Merkez yaklaşık 13.5 milyon m³ değerinde biyogaz potansiyeline sahiptir. Sungurlu ilçesi ise yaklaşık 5.1 milyon m³ ile en fazla biyogaz potansiyeline sahip ikinci yer olarak bulunmuştur. Çorum ili toplam biyogaz üretimi yaklaşık 39.77 milyon m³ olarak bulunmuştur. Literatürdeki verilerle karşılaştırıldığında Çorum ili için sonuçlar ortalama değerdedir. Toplam ısı enerji üretimi incelendiğinde yıllık 902.87 TJ değerinde bir potansiyel olduğu görülmektedir. Toplam elektrik üretim potansiyeli incelendiğinde ise yıllık 100319.9 MWh enerji üretimi potansiyeli olduğu görülmektedir. Bu potansiyelin %33.9'unu Çorum – Merkez karşılarken, %13 ile Sungurlu ilçesi ikinci sırada, %8.75 ile Mecitözü ilçesi üçüncü sırada yer almaktadır. Çorum ilinin yıllık enerji tüketimi 764566.48 MWh olarak bilinmektedir [24]. Çorum ilinde hayvansal atıklardan elde edilecek biyogazdan üretilecek elektrik miktarı elektrik tüketiminin yaklaşık yedide birini karşılamaktadır. Bazı iller bazında yapılan çalışmalara ait biyogaz üretim sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Çeşitli illerin biyogaz potansiyelleri

İl	Biyogaz Miktarı	Kaynak
Tokat	37.9 Milyon m ³	[25]
Yozgat	45 Milyon m ³	[26]
Sivas	52.3 Milyon m ³	[27]
Bursa	52 Milyon m ³	[23]

Biyogazın diğer yakıtlara göre eşdeğerlikleri literatürden alınmıştır [28]. Çorum ili genel biyogaz potansiyelinin diğer yakıtlara göre eşdeğerlikleri hesaplanarak Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Çorum ili üretilebilecek biyogazın farklı yakıtlardaki karşılıkları (yıllık)

	Biyogaz (m³)	Odun Kömürü (ton)	Odun (ton)	Motorin (l)	Benzin (l)
<i>Büyükbaş</i>	32014946.32	46741.82	111091863.70	21129864.57	24011209.74
<i>Küçükbaş</i>	1390356.17	2029.92	4824535.90	917635.07	1042767.13
<i>Kanatlı</i>	6369146.42	9298.95	22100938.10	4203636.64	4776859.82
TOPLAM	39774448.92	58070.69	138017337.80	26251136.29	29830836.09

Tablo 10'da görüldüğü gibi sadece Çorum ilinde üretilebilecek biyogaz miktarı sürekli kullanılan diğer yakıtlara kıyasla oldukça önemli bir potansiyeldedir ve bu kaynağın değerlendirilmesi gerekmektedir. Çorum ili için toplam hayvansal atık potansiyeline bağlı olarak elde edilebilecek elektrik enerjisinin diğer kaynaklarla üretilmesi durumuna göre ortaya çıkacak CO₂ emisyon miktar karşılaştırılması da Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Çorum ili üretilebilecek elektrik enerjinin yakıtlara göre CO₂ emisyon miktarları

Yakıt	CO₂ Emisyon (ton)
<i>Biyogaz</i>	2608.06
<i>Doğalgaz</i>	50054.69
<i>Fuel Oil</i>	73527.23
<i>İthal Kömür</i>	89075.28

Tablo 11'de gösterildiği gibi Çorum ili biyogaz potansiyeli ile üretilebilecek elektrik enerjisi miktarına bağlı CO₂ emisyon değeri diğer yakıtlara göre oldukça düşüktür. Doğalgaz ile aynı miktarda elektrik enerjisi üretilmesi durumuna göre yaklaşık 20 kat, ithal kömüre göre ise yaklaşık 34 kat daha az CO₂ salınımı gerçekleşmektedir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Biyogaz yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde önemli bir yere sahiptir. Dünyada birçok ülkesinde değerlendirilen bu potansiyel özellikle Çin, Hindistan gibi yerlerde bireysel üretim şeklinde Finlandiya, Almanya gibi yerlerde ise sanayi üretim şeklinde oldukça yaygındır. Biyogazın elde edilmesinde uygun şartların sağlanması önemlidir. Biyogazın üretiminin yaygınlaşması hem enerjide dışa bağılılığın azaltılması adına hem de küresel ısınmaya neden olan karbon emisyonunun azaltılması konusunda oldukça etkili olacaktır.

Bu çalışmada Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesinde bulunan Çorum ili ve ilçelerindeki biyogaz potansiyelinin değerlendirmesi yapılmıştır. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlar olarak toplanan

verilerle birlikte Çorum ili ve ilçelerinde toplam 4882391 adet hayvan vardır. Toplam hayvan sayısının % 4.94'ünü büyükbaş hayvan, %4.80'i küçükbaş hayvan ve %90.26'sını ise kanatlı hayvanlar oluşturmaktadır. Hayvan sayılarında kanatlı hayvanların oldukça fazla olmasına rağmen günlük taze atık miktarlarının % 84.98'si büyükbaş hayvanlardan, % 9.37 si küçükbaş hayvanlardan ve % 5.65'i kanatlı hayvanlardan sağlanmaktadır. Yıllık kullanılabilir katı atık oranları incelendiğinde ise büyükbaş hayvan atıkları %80.49, küçükbaş hayvan atıkları %3.49 ve kanatlı hayvan atıkları %16.02'lik kısmı oluşturmaktadır.

Belirtilen hayvansal atık miktarlarına bağlı olarak üretilebilecek biyogaz miktarı büyükbaş hayvanlar için yıllık 32014946.32 m³, küçükbaş hayvan için yıllık 1390356.17 m³ ve kanatlı hayvan için yıllık 6369146.42 m³ olarak tespit edilmiştir. Çorum ili için toplamda üretilebilecek biyogaz miktarı yıllık 39.77 milyon m³ olarak bulunmuştur. Çorum ili ve ilçeleri arasında biyogaz üretimine en fazla katkı yapan yerler %33.95 oranında Çorum-Merkez olurken ikinci ve üçüncü sırada sırasıyla %13.05 ile Sungurlu ilçesi ve %8.75 ile Mecitözü ilçesi gelmektedir.

Üretilebilecek biyogaz miktarına bağlı olarak toplam ısı değer büyükbaş hayvanlar için yıllık 726.7 TJ, küçükbaş hayvanlar için yıllık 31.5 TJ, kanatlı hayvan için yıllık 144.5 TJ olarak bulunmuştur.

Üretilebilecek biyogaz miktarına bağlı olarak toplam üretilebilecek elektrik miktarı ise büyükbaş hayvanlar için yıllık 80748.8 MWh, küçükbaş hayvan için yıllık 3506.7 MWh ve kanatlı hayvanlar için yıllık 16064.4 MWh olarak tespit edilmiştir. Toplamda Çorum ili için üretilebilecek elektrik miktarı yıllık 100319.9 MWh olarak tespit edilmiştir.

Üretilebilecek olan biyogaz miktarından elektrik üretilmesi durumunda 2608.06 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkacağı tespit edilmiştir. Aynı elektrik miktarının farklı kaynaklardan elde edilmesi durumu incelendiğinde, elektriğin doğalgazdan elde edilmesi durumunda yaklaşık 20 kat, ithal kömür ile elde edilmesi durumunda ise yaklaşık 34 kat daha fazla karbon salınımı ortaya çıkacağı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Cheah, W. Y., Ling, T. C., Show, J.C., Juan, J.C., Chang, J. S., & Lee, D.J. (2016). Cultivation in wastewaters for energy: A microalgae platform. *Applied Energy*, 178, 609-625.
- [2] Kligerman, D.C., & Bouwer, E.J. (2015). Prospects for biodiesel production from algae-based wastewater treatment in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1834-1846
- [3] Seyitoglu, S.S., Dincer, I., & Kilicarslan, A. (2017). Energy and exergy analyses of hydrogen production by coal gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 2592-2600.
- [4] Seyitoglu, S.S., Dincer, I., & Kilicarslan, A. (2016). Assessment of an IGCC based trigeneration system for power, hydrogen and synthesis fuel production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 8168-8175.
- [5] Lam, M.K., & Lee, K.T. (2012). Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology Advances*, 30, 673-690.
- [6] Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, 88, 3411-3424.
- [7] Kadam, R., & Panwar, N.L. (2017). Recent advancement in biogas enrichment and its applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 892-903
- [8] Pizzuti, L., Martins, C.A., & Lacava, P.T. (2016) Laminar burning velocity and flammability limits in biogas: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 856-865.
- [9] Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. *Mühendis ve Makina*, 52, 94-106.

- [10] Abdeshahian, P., Lim, J.S., Ho, W.S., Hashim, H., & Lee, C.T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714–723.
- [11] Kaygusuz, K., & Türker, M.F. (2002). Biomass energy potential in Turkey. *Renewable Energy*, 26, 661–678.
- [12] Ergür, H.S., & Okumuş, F. (2010). Cost and Potential Analysis of Biogas in Eskisehir. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15, 155–160.
- [13] Akbulut, A. (2012). Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study. *Energy*, 44, 381–390.
- [14] Avcioğlu, A.O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557–1561.
- [15] Shi, Y., Li, R., Xue, Y., & Li, H. (2016). High-frequency-link-based grid-tied PV system with small DC-link capacitor and low-frequency ripple-free maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(1), 328–339.
- [16] Acaroğlu, M., & Aydoğan, H. (2012). Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 36, 69–76.
- [17] Karaca, C. (2017). Hatay İlinin Hayvansal Gübre Kaynağından Üretilen Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22, 34–39.
- [18] Özer, B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy*, 139, 1144–1152.
- [19] Meyer, A.K.P., Ehimen, E.A., & Holm-Nielsen, J.B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154–164.
- [20] Can, A. (2020). The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118501.
- [21] T.C. Çorum Valiliği. (2021) Çorum Valilik n.d. <http://www.corum.gov.tr>, Erişim ta
- [22] Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H.H., Kacıra, M., & Ekinci, K. (2005). Agricultural Biomass Potential in Turkey. 9th Int. Congr. Mech. Energy Agric., 195–199.
- [23] Ozsoy, G., & Alibas, İ. (2015). GIS mapping of biogas potential from animal wastes in Bursa, Turkey. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8, 74–83.
- [24] Koçak, İ., & Boran, K. (2018). Türkiye'deki İllerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900, 351–65.
- [25] Kızılaslan, H., & Onurlubaş, H.E. (2010). Potential of production of biogas from animal origin waste in Turkey (Tokat province example). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 1083–1087.
- [26] Eryılmaz, T., Yesilyurt, M.K., Gokdogan, O., & Yumak, B. (2015). Determination of Biogas Potential from Animal Waste in Turkey: A Case Study for Yozgat Province. *European Journal of Science and Technology*, 2, 106–111.
- [27] Polat Bulut, A., & Topal Canbaz, G. (2019). Hayvan atıklarından Sivas ili Biyogaz potansiyelinin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9, 1–10.
- [28] Salıhoğlu, N.K., Teksoy, A., & Altan, K. (2019). Büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Balıkesir ili örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimi Dergisi*, 8, 31–47.

Investigation of the Relationship Between Power Consumption and Noise Level During Hard Turning of CBN Tools and DIN 1.2367 Steel

Abidin ŞAHİNOĞLU¹ , Mehtap YAVUZ² , Mehmet AKKAŞ^{3,*} 

¹Manisa Celal Bayar University, Manisa Technical Sciences Vocational School, 45140 MANİSA

²Çankırı Karatekin University, Vocational School, 18000, ÇANKIRI

³Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, 37150, KASTAMONU

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received:05/03/2021
Revision:04/05/2021
Accepted:06/05/2021

Highlights

High Frequency
Transformer
Full Bridge Converter
Solid State Transformer

Keywords

DIN 1.2367
Hard Turning
Power Consumption
Sound Level
CBN

Today, dry hard turning is widely used in the processing of hardened steel due to its advantages such as low cost, high machining efficiency and green environmental protection. In this study, hard turning tests were carried out under dry cutting conditions on hardened DIN 1.2367 (55 HRC) steel material. The effect of the cutting parameters (three different cutting speeds, three feed rates and three cutting depths) on the power consumption and sound level values was investigated.



Figure A. Measurement of current value and sound intensity values in the experimental setup

Purpose: In this study; The effect of different cutting parameters on sound level and power consumption in hard turning was investigated and DIN 1.2367 steel was used as work piece material. Tool steel 1.2367 is a hot work steel with high wear resistance and heat resistance. This material is often used in large die casting production.

Theory and Methods: In this experimental study, DIN 1.2367 material was brought to 55 HRC hardness value by heat treatment to examine the hard turning process. All kinds of precautions have been taken to prevent possible vibrations and the part has been rotated rigidly and without secretions. Each experimental study data was separated from the others by opening 2 mm wide grooves on the work piece surface. While determining the cutting parameters, tool catalog values and literature studies were taken into consideration. The interaction between the machine tool, cutting tool and work piece was tested by conducting preliminary experiments.

Results: The instantaneous current value and the total power consumption are inversely proportional to each other. The instantaneous current value increases with the increase in the cutting parameters. Even if the instantaneous current value increases with the increase in the cutting parameters, the total power consumption decreases. Therefore, the total power consumption decreases with increasing cutting parameters.

Conclusion: Instantaneous current values also increased with increasing cutting parameters (feed rate, depth of cut, cutting speed). Although the increase in cutting parameters increases the instantaneous current value, it reduces the power consumption as it shortens the processing time. The most effective parameter in power consumption is machining time, as even just operating the machine tool will cause a large portion of energy consumption. Estimated values according to regression analysis; 99.22% for current, 99.11% for power consumption, 90% for volume. It can be said that all of the values are close to the true values above 90%.



Investigation of the Relationship Between Power Consumption and Noise Level During Hard Turning of CBN Tools and DIN 1.2367 Steel

Abidin ŞAHİNOĞLU¹ , Mehtap YAVUZ² , Mehmet AKKAŞ^{3,*} 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 45140 MANISA

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, 18000, ÇANKIRI

³Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 37150, KASTAMONU

Abstract

Today, dry hard turning is widely used in the processing of hardened steel due to its advantages such as low cost, high machining efficiency and green environmental protection. In this study, hard turning tests were carried out under dry cutting conditions on hardened DIN 1.2367 (55 HRC) steel material. The effect of the cutting parameters (three different cutting speeds, three feed rates and three cutting depths) on the power consumption and sound level values was investigated. Power consumption and sound intensity were evaluated using statistical approach with analysis of variance (ANOVA). In a study different from the literature, the relationship between power consumption and sound level has been tried to be revealed. According to the experimental results, as the feed rate, depth of cut and cutting speed increase; sound level and instantaneous current value are increasing. The increase in the cutting parameters increases the instantaneous current value, but the total processing time is reduced, thus reducing the total power consumption.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 05/03/2021
Düzeltilme: 04/05/2021
Kabul: 06/05/2021

Keywords

DIN 1.2367
Hard Turning
Power Consumption
Sound Level
CBN

Anahtar Kelimeler

DIN 1.2367
Sert Torna
Güç Tüketimi
Ses Seviyesi
CBN

CBN Takımları ile DIN 1.2367 Çeliğin Sert Tornalanması Sırasında Güç Tüketimi ve Ses Seviyesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Öz

Günümüzde kuru sert tornalama, düşük maliyeti, yüksek işleme verimliliği ve yeşil çevre koruması nedeniyle sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2367 (55 HRC) çelik malzeme üzerinde kuru kesme koşullarında sert tornalama testleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin (Üç farklı kesme hızı, üç ilerleme hızı ve üç kesme derinliği) güç tüketimi ve ses seviyesi değerlerine etkisi incelenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile istatistiksel yaklaşım kullanılarak güç tüketimi ve ses yoğunluğu değerlendirilmiştir. Literatürden farklı olarak yapılan çalışmada güç tüketimi ile ses seviyesi arasında ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Deneysel sonuçlara göre ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı arttıkça; ses seviyesi ve anlık akım değeri artmaktadır. Kesme parametrelerindeki artış anlık akım değerini artırır, ancak toplam işlem süresi azalır, böylece toplam güç tüketimi azalmış olur.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan dünya nüfusu ve yaşam alanlarında daha fazla makinenin kullanılması, daha fazla enerji ve hammadde tüketimine yol açmıştır. Son 100 yılda artan makine sayısı ile beraber daha kaliteli makineler olan ihtiyaçta artmıştır. Kaliteyi artırmak için yüksek mukavemetli makineler üretilmek istenmiş ve bunun için de malzemelere ısı işlem uygulanmıştır. Böylece yüksek mukavemet elde edilmiştir ancak beraberinde artan sertlik değeri malzemenin işlenmesini zorlaştırır. Bu noktada CBN ve seramik uçların geliştirilmesi, sert malzemelerin işlenmesini kolaylaştırırken, yüksek yüzey kalitesine sahip iş parçaları üretilmeye başlanmıştır. Sert Tornalama, 50 HRC'den fazla sertliğe sahip çeliğin tornalanması anlamına gelir

(Rockwell Hardness C). Sertleştirilmiş çeliklerden veya işlenmesi zor çeliklerden talaş kaldırmak için kullanılır [1]. Üretim maliyetini eski seviyelerinde tutarak ve çevreyi etkilemeden ürün kalitesini artırmak, bugün için en çok odaklanan mühendislik sorunudur[2]. Sert tormalama işlemi, genellikle sertleştirilmiş malzemeye uygulanan, işlemin tribolojik koşullarına dayanabilen mekanik özelliklere sahip PCBN veya karışık seramik takımlarla gerçekleştirilir [3]. Sert tormalama işlemi daha çevre dostu bir süreç olarak gösterilmiştir, çünkü kesme sıvısı gerekli değildir [4-6]. Bu çalışma, teknolojideki bu gelişmeleri incelemek ve küresel anlamda çok önemli bir diğer sorun olan enerji sorununa çözüm getirmek amacıyla yapılmıştır. Sertleştirilmiş iş malzemesinin tormalanmasında kaliteden ödün vermeden enerji tüketimini en aza indirmek için, uygun çalışma ortamının seçimi ile girdi ve çıktı faktörleri arasındaki ilişkinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Diğer taraftan takım tezgahlarının verimli kullanılması da enerji tüketimi açısından büyük önem arz etmektedir. Takım tezgahı üzerine aşırı bir kuvvet uygulanması, tezgahta bir miktar aşınmaya, yorgunluğa ve makine hassasiyetinin kaybına neden olacaktır. Makinenin çok düşük yükler altında çalışması da aynı şekilde enerji tüketiminde artışa ve işlenen parça sayısında azalmaya sebebiyet verecektir. Bu da verimliliğin azalması anlamına gelir ve daha fazla makine yatırımı gerektirir. Optimum işleme koşullarının belirlenmesi bu bağlamda çok önemlidir. Bunun için kesme kuvvetlerini ölçmek bir yöntemdir. Ancak çok maliyetlidir ve makinenin çalışma kapasitesini sınırlar. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesine alternatif olarak, makine tarafından kullanılan akım veya güç değeri ölçülür. Takım tezgahlarının belirli bir akım değerini aşması durumunda sigorta görevi gören röleler sadece elektronik devrelerin güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda makine üzerindeki aşırı yüke maruz kalarak hassasiyetlerini kaybetmeleri de engellenir. Bu deneysel çalışmada anlık akım değeri, toplam işlem süresi ve toplam güç tüketimi hesaplanmış ve makine verimi üzerinden incelenmiştir. Çünkü tüketilen enerji miktarı küresel anlamda herkesi ilgilendiren birçok sorunun kaynağıdır. Yükselen enerji fiyatları da daha az enerji kullanımı için bir gerekliliktir. Enerji tasarrufu dikkat çeken en önemli çözümlerden biridir. Ancak takım tezgahları üzerinde detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sert tormalama işleminde başta yüzey pürüzlülüğü olmak üzere; kesme kuvveti, takım aşınması, kesme sıvısının etkisi, kriyojenik işlemler, iş parçası ve kesici takım malzemesi, talaş oluşum mekanizmaları gibi birçok faktör değerlendirilmiş ve işlemin verimliliği artırılmaya çalışılmıştır. Sert tormalama operasyonlarında akım, ses ve güç tüketimi üzerinde ise çok fazla çalışma yapılmamıştır. Son zamanlarda yapılan çalışma örneklerinden bazıları ise şöyledir; Rastorguev ve Sevastyanov, yaptıkları çalışmada, 105WCr6'dan yapılmış halka iş parçaları ile sert tormalama deneyleri yapmışlardır. Yüzey kalitesi, talaş tipi ve kesme kuvveti göstergeleri hakkında ana hareket sürücüsündeki akım yükleri şeklinde veriler elde edilmiştir. Elde edilen veri analizine göre, üretilen talaş türü, ana tahrik akımı parametreleri ve yüzey kalitesi arasında bir korelasyon olduğu ifade edilmiştir [7]. Şahinoğlu ve Rafighi, farklı sertliklerdeki AISI 1040 çelik üzerinde tormalama testleri yapmışlar ve kesme parametreleri ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğü, ses seviyesi ve güç tüketimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, ilerleme hızı değerindeki bir artışın yüzey pürüzlülüğü, ses seviyesi ve güç tüketimi değerlerinde bir artışa neden olduğunu göstermiştir. İlerleme miktarının, yüzey pürüzlülüğünü ve güç tüketimini etkileyen en etkili işleme parametresi olduğunu ifade etmişlerdir [8]. Şahinoğlu ve Rafighi başka bir çalışmalarında ise AISI 4140 çeliğinin tormalanmasında, ilerleme hızının çıktı parametreleri üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu ve bunu kesme derinliğinin izlediğini ifade ederken, ilerleme hızı ve kesme derinliği arttıkça titreşim, ses yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü ve akım değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir [9]. Şahinoğlu ve Ulaş, ilerleme hızı düşük, takım yarıçapı yüksek ve işleme süresi kısaltıldığında iyi bir yüzey kalitesi elde edildiğini, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemedeki artış nedeniyle enerji tüketiminin azaldığını öne sürmüştür [10]. Titreşim etkisinin de gözlemlendiği bir çalışmada Şahinoğlu ve diğerleri, ilerleme hızının iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili kesme parametreleri olduğunu ortaya koymuşlardır [11]. Artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı bir başka çalışma da Karaaslan ve Şahinoğlu'na aittir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre ilerleme hızı arttıkça ses şiddetinin de arttığı, artan ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı ile işleme süresinin kısaltıldığı ve böylece toplam güç tüketiminin azaltılacağına vurgu yapılmıştır [12]. İynen ve diğerleri, ilerleme hızının radyal kuvvet ve teğetsel kuvvet üzerinde etkili olduğunu, kesme derinliğinin ise ilerleme kuvvetinde etkili olduğuna dikkat çekmiştir [13]. İynen ve diğerleri, bir başka çalışmalarında ise yüzey pürüzlülüğünü incelemişler ve Ra üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla büyükten küçüğe ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği olduğunu, Rz üzerinde ise kesme parametrelerinin etkilerinin sırasıyla ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı olduğunu

ifade etmişlerdir [14]. Özdemir, yüzey pürüzlülüğü (Ra ve Rz) üzerindeki en etkili parametrelerin ilerleme hızı (f) ve takım ucu yarıçapı (R) olduğunu ortaya koymuştur [15]. Özdemir de çalışmasında benzer şekilde, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerin sırasıyla ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı olduğu sonucuna varmıştır [16].

Bu çalışmada ise; sert tornalamada farklı kesme parametrelerinin ses seviyesi ve güç tüketimi üzerine etkisi araştırılmış ve iş parçası malzemesi olarak da DIN 1.2367 çeliği kullanılmıştır. Takım çeliği 1.2367, yüksek aşınma direncine ve ısı direncine sahip bir sıcak iş çeliğidir. Bu malzeme genellikle büyük basınçlı döküm üretiminde kullanılır. Deneylerde üç farklı kesme derinliği (0,10-0,15-0,20 mm) kesme derinliği, üç farklı kesme hızı (175, 200, 225 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,06-0,12-0,18 mm/dev) kullanılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu deneysel çalışmada, sert tornalama işlemini incelemek için DIN 1.2367 malzeme ısıtma işlemi ile 55 HRC sertlik değerine getirilmiştir. Olabilecek titreşimlerin engellenmesi için her türlü önlem alınarak parçanın rijit ve salgısız dönmesi sağlanmıştır. İş parçası yüzeyinde 2 mm genişliğinde kanallar açılarak her bir deneysel çalışma verisi diğerlerinden ayrılmıştır. Kesme parametreleri belirlenirken, takım katalog değerleri ve literatür çalışmaları göz önünde bulundurulmuştur. Ön deneyler yapılarak takım tezgahı, kesici takım ve iş parçası arasındaki etkileşim test edilmiştir.

Kesici takım olarak sert tornalama işlemine uygun Sandvik Coromant firmasına ait DCGW11T304 geometrisine sahip CBN takım kullanılmıştır. Sert malzemelerde kopma dayanımının yüksek olması sadece düşük ilerleme ve talaş derinliğinin tercih edilmesini değil aynı zamanda takım, kater, ayna ve punta bağlantısının da yeterince rijit olmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle bağlama düzeni bu doğrultuda oluşturulmuştur. İşleme deneyleri Tezmaxan CNC torna tezgahında (20 hp gücünde, 4000 rpm devir sayısına sahip) yapılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeninde akım değeri ve ses şiddeti değerlerinin ölçülmesi

Ölçüm işlemlerinde kullanılan cihazların kalibrasyonu yapılmış ve alınan üç farklı değer aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 1’de görüldüğü üzere akım değeri için UNI-T UT 201 model Pens ampermetre kullanılmıştır. Bir fazdan geçen akım değeri alınmıştır. Bu değer gerilim ve süre ile çarpılarak, belirli bir miktar talaş kaldırması için gereken güç tüketimi hesaplanmıştır. Ses şiddetinin ölçümü için şekil 1 de görüldüğü üzere LT SL-401 model ses şiddeti ölçüm cihazı talaş kaldırma bölgesinden 50 cm uzağa yerleştirilmiştir. Filtre A ve slow pozisyonundan ölçüm alınmıştır. Deney yapılan ortamın oldukça sessiz olduğu zaman dilimleri tercih edilmiştir. Veriler minitap 16 istatistiksel paket programı kullanılarak analiz yapılmıştır. 3D grafikler çıkartılmıştır.

3. BİR DEN ÇOK BAĞLANTILI GET TASARIMI VE UYGULAMASI (DESIGN AND APPLICATION OF MULTIPLE-LINK SST)

Sert tornalama performansı parametrelerden, yani kesme hızından, ilerleme hızından ve kesme derinliğinden büyük ölçüde etkilenir. Optimum işleme parametrelerini tahmin ederek güç tüketimini en aza indirmek hem de ses seviyesi ile güç tüketimi arasındaki ilişkiyi araştırmak için yapılan bu deneysel tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

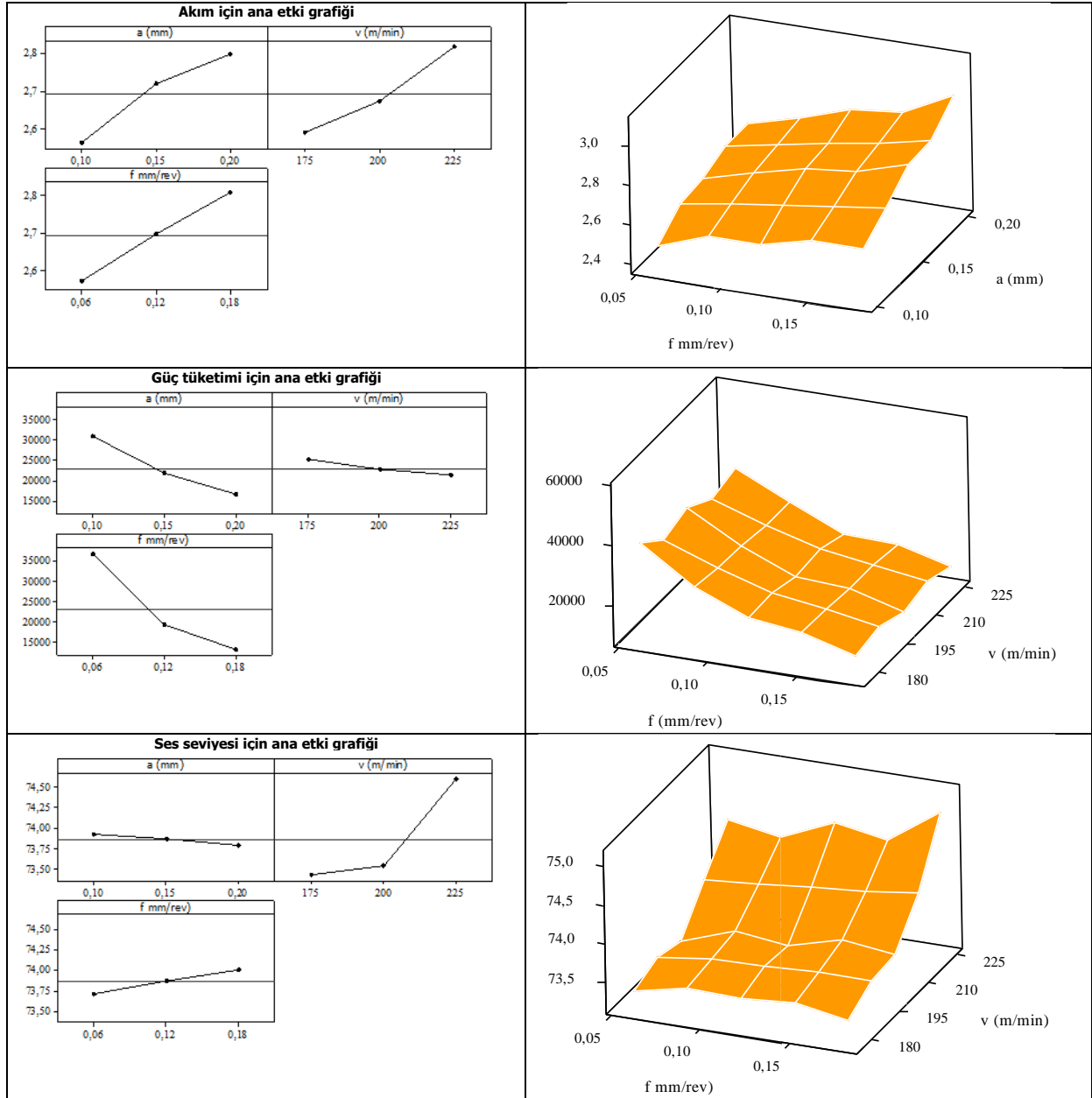
Tablo 1. Kesme parametrelerine bağlı olarak anlık akım değeri, güç tüketimi, işlem süresi ve ses seviyesi sonuçları

Den. No	a (mm)	v (m/min)	f (mm/rev)	Akım (A)	Güç Tüketimi (Watt)	Süre (s)	Ses Seviyesi (dB)
1	0,1	175	0,06	2,39	54082,29	34,29	73,4
2	0,1	175	0,12	2,46	27833,14	17,14	73,5
3	0,1	175	0,18	2,5	18857,14	11,43	73,6
4	0,1	200	0,06	2,46	48708	30,00	73,6
5	0,1	200	0,12	2,55	25245	15,00	73,9
6	0,1	200	0,18	2,61	17226	10,00	73,9
7	0,1	225	0,06	2,6	45760	26,67	74,2
8	0,1	225	0,12	2,7	23760	13,33	74,5
9	0,1	225	0,18	2,8	16426,67	8,89	74,7
10	0,15	175	0,06	2,54	38317,71	22,86	73,5
11	0,15	175	0,12	2,64	19913,14	11,43	73,6
12	0,15	175	0,18	2,72	13677,71	7,62	73,3
13	0,15	200	0,06	2,56	33792	20,00	73,3
14	0,15	200	0,12	2,72	17952	10,00	73,4
15	0,15	200	0,18	2,82	12408	6,67	73,5
16	0,15	225	0,06	2,69	31562,67	17,78	74,6
17	0,15	225	0,12	2,82	16544	8,89	74,7
18	0,15	225	0,18	2,97	11616	5,93	74,9
19	0,2	175	0,06	2,55	28851,43	17,14	73,2
20	0,2	175	0,12	2,69	15217,71	8,57	73,4
21	0,2	175	0,18	2,82	10635,43	5,71	73,4
22	0,2	200	0,06	2,62	25938	15,00	73,3
23	0,2	200	0,12	2,78	13761	7,50	73,4
24	0,2	200	0,18	2,93	9669	5,00	73,6
25	0,2	225	0,06	2,75	24200	13,33	74,3

Tablo 1’deki deneysel sonuçlar incelendiğinde, kesme parametrelerindeki artış ile güç tüketimi değerlerinde bir azalma söz konusu iken ses seviyesi; kesme derinliği ile azalmış ancak kesme hızı ve ilerleme miktarı ile artmıştır.

Endüstride artan taleplere kısa sürede cevap verebilmesi bakımından işleme süresi önemli bir yere sahiptir. Birim zamanda üretilen ürün sayısını artıracığı için işletmelerin rekabet şansını artırır. İşleme süresi takım tezgâhının güç tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. İşleme süresi ne kadar kısaltılırsa güç tüketimi o oranda azalır. Bu da yüksek kesme parametreleri tercih edilerek sağlanır. İlerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğindeki artış işleme süresinin azalmasını sağlar.

Şekil 2’de anlık akım değeri, güç tüketimi ve ses seviyesi için Taguchi “en küçük en iyi” yaklaşımına göre ana etki grafikleri ve kesme parametrelerine bağlı yüzey grafikleri verilmiştir.



Şekil 2. Anlık akım değeri, güç tüketimi ve ses seviyesi için Taguchi “en küçük en iyi” yaklaşımına göre ana etki grafikleri ve kesme parametrelerine bağlı yüzey grafikleri

Anlık akım değeri, tezgâhtaki anlık yük miktarının bir göstergesidir ve güç tüketimini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Kesme parametreleri de anlık akım değerini önemli derecede etkiler. Nitekim Şekil 1 bunun göstergesi niteliğindedir. Artan kesme parametreleri (ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesme hızı) ile anlık akım değerleri de artmıştır. Bu parametreler arasında da en ekili olanın ilerleme miktarı olduğunu

grafikteki eğimin daha dik bir eğilim gösterdiğinden anlayabiliriz. Artan ilerleme miktarı ile birim zamanda takım üzerindeki yük miktarı artar ve bu da tezgahtan çekilen akımı artırır. Bu durum anlık talaş kesitinin artmasında da görülmektedir. İlerleme miktarı artınca kesme kuvvetlerinin artmasında bu durumun göstergesidir [17]. Ayrıca ölçümü pahalı ve zahmetli olan kesme kuvvetleri yerine anlık akım değerinin de bir gösterge olduğu bilinmektedir. [7]. Kesme hızındaki artışta akım değerinin bir miktar artmasını sağlar. Çünkü devir sayısındaki artış motorun tükettiği akım değerinin artmasına neden olur. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerinin düştüğü bilinmektedir[18]. Buna rağmen kesme kuvvetleri bir miktar düşse de motor devir sayısı arttığı için akım değeri bir miktar artmıştır.

Anlık akım değeri ve toplam işleme süresinin bir fonksiyonu olan güç tüketimi, işletme maliyetlerini önemli oranda etkilerken küresel anlamda da enerji kaynaklarının verimli kullanılması açısından dünyada büyük öneme sahiptir. Şekil 1'den de anlaşılacağı üzere kesme parametrelerindeki artış, anlık akım değerini arttırsa da işleme süresini kısalttığı için güç tüketimini azaltmaktadır. Sadece takım tezgâhını çalıştırmak dahi büyük bir enerji sarfiyatının kısmına neden olacağı için güç tüketiminde en etkili parametre işleme süresidir. Bu durumda tezgâhın çalışma süresinin kısalması için kesme parametrelerini arttırmak gerekir. Fakat kesme parametrelerinde ilerleme miktarını arttırmak yüzey pürüzlülük değerini arttıracaktır. Dolayısıyla güç tüketimini azaltmak, işleme süresini kısaltmak ve yüzey kalitesini bozmamak için; kesme parametrelerinin iyi seçilmesi gerekir. Akımın ana sürücüde kaydedilmesi, yüzey durumunun ve talaş özelliklerinin oluşumunun çevrimiçi tanısını sağlar. Kesme kuvvetine dönüştürülen akım parametreleri, bu özellikleri karakterize etmek için istatistiksel olarak nasıl gereçlendirildiği literatürde mevcuttur [7].

Ses seviyesi ile anlık akım değerleri arasında doğru bir orantı varken güç tüketimi ile ters bir orantı söz konusudur. İşleme süresi ile doğrudan ilişkili olan bu durum, kesme derinliğindeki artışla ters yönde etkilenmiştir. Ses seviyesinin de oldukça kolay ve maliyetsiz bir yöntem olmasıyla çalışmalarda kullanılabilmesi daha önce yapılan çalışmalarda da vurgulanmıştı [8,19].

Tüm kesme parametreleri için varyans analizi ve regresyon analizi Tablo 2'de verilmiştir. Tabloya göre regresyon analizine göre tahmin edilen değerler; akım için% 99,22, güç tüketimi için% 99,11, ses seviyesi için % 90'dır. Değerlerin hepsi %90'ın üzerinde gerçek değerlere yakın olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Anlık akım değeri, güç tüketimi ve ses seviyesi için varyans analizi ve regresyon analizi ve etki oranı

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etkisi
<i>Regression</i>	9	0,774478	0,774478	0,086053	370,18	0,000	99,49231
<i>Linear</i>	3	0,732783	0,732783	0,244261	1050,76	0,000	94,13602
<i>a (mm)</i>	1	0,247339	0,247339	0,247339	1064,00	0,000	31,77408
<i>v (m/min)</i>	1	0,235756	0,235756	0,235756	1014,17	0,000	30,28609
<i>f mm/rev)</i>	1	0,249689	0,249689	0,249689	1074,11	0,000	32,07597
<i>Square</i>	3	0,015928	0,015928	0,005309	22,84	0,000	2,04617
<i>a (mm)*a (mm)</i>	1	0,009335	0,009335	0,009335	40,16	0,000	1,199209
<i>v (m/min)*v (m/min)</i>	1	0,006230	0,006230	0,006230	26,80	0,000	0,800329
<i>f mm/rev)*f mm/rev)</i>	1	0,000363	0,000363	0,000363	1,56	0,228	0,046632
<i>Interaction</i>	3	0,025767	0,025767	0,008589	36,95	0,000	3,310124
<i>a (mm)*v (m/min)</i>	1	0,000033	0,000033	0,000033	0,14	0,710	0,004239
<i>a (mm)*f mm/rev)</i>	1	0,019200	0,019200	0,019200	82,59	0,000	2,466503
<i>v (m/min)*f mm/rev)</i>	1	0,006533	0,006533	0,006533	28,10	0,000	0,839253
<i>Residual Error</i>	17	0,003952	0,003952	0,000232			0,507689
<i>Total</i>	26	0,778430					100
<i>Anlık akım = 3,45037+5,74444*a-0,0177111*v- 2,62963*f -15,7778*a*a +5,15556E-05*v*v-2,16049*f*f-0,00133333*a*v+13,3333*a*f+0,0155556*v*f</i>							
<i>R-Sq = 99,49% R-Sq(pred) = 98,73% R-Sq(adj) = 99,22%</i>							
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Seq SS</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>% Etkisi</i>
<i>Regression</i>	9	3889938054	38899380	432215339	321,75	0,000	99,41637
<i>Linear</i>	3	3461570945	34615709	1153856982	858,97	0,000	88,46845
<i>a (mm)</i>	1	904698227	90469822	904698227	673,49	0,000	23,12166
<i>v (m/min)</i>	1	70020567	70020567	70020567	52,13	0,000	1,789538
<i>f mm/rev)</i>	1	2486852150	24868521	2486852150	1851,29	0,000	63,55726
<i>Square</i>	3	229308263	22930826	76436088	56,90	0,000	5,860503
<i>a (mm)*a (mm)</i>	1	24832452	24832452	24832452	18,49	0,000	0,634651
<i>v (m/min)*v (m/min)</i>	1	1804641	1804641	1804641	1,34	0,262	0,046122
<i>f mm/rev)*f mm/rev)</i>	1	202671170	20267117	202671170	150,87	0,000	5,179731
<i>Interaction</i>	3	199058847	19905884	66352949	49,40	0,000	5,087409
<i>a (mm)*v (m/min)</i>	1	3345405	3345405	3345405	2,49	0,133	0,0855
<i>a (mm)*f mm/rev)</i>	1	180018179	18001817	180018179	134,01	0,000	4,600781
<i>v (m/min)*f mm/rev)</i>	1	15695263	15695263	15695263	11,68	0,003	0,401129
<i>Residual Error</i>	17	22836245	22836245	1343309			0,583633
<i>Total</i>	26	3912774299					100
<i>Güç tüketimi için regresyon analizi = 208935-625324*a-584,739*v-929509*f+813756a*a +0,877485v*v+1614425*f*f+422,400*a*v+1291060*a*f+762,434*v*f</i>							
<i>R-Sq = 99,42% R-Sq(pred) = 98,40% R-Sq(adj) = 99,11%</i>							
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Seq SS</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>% Etkisi</i>
<i>Regression</i>	9	8,15833	8,15833	0,90648	29,25	0,000	93,93381
<i>Linear</i>	3	6,58056	6,58056	2,19352	70,78	0,000	75,7676
<i>a (mm)</i>	1	0,08000	0,08000	0,08000	2,58	0,127	0,921108
<i>v (m/min)</i>	1	6,12500	6,12500	6,12500	197,64	0,000	70,52235
<i>f mm/rev)</i>	1	0,37556	0,37556	0,37556	12,12	0,003	4,324143
<i>Square</i>	3	1,33944	1,33944	0,44648	14,41	0,000	15,42212
<i>a (mm)*a (mm)</i>	1	0,00074	0,00074	0,00074	0,02	0,879	0,00852
<i>v (m/min)*v (m/min)</i>	1	1,33796	1,33796	1,33796	43,17	0,000	15,40507
<i>f mm/rev)*f mm/rev)</i>	1	0,00074	0,00074	0,00074	0,02	0,879	0,00852
<i>Interaction</i>	3	0,23833	0,23833	0,07944	2,56	0,089	2,744097
<i>a (mm)*v (m/min)</i>	1	0,06750	0,06750	0,06750	2,18	0,158	0,777185
<i>a (mm)*f mm/rev)</i>	1	0,00750	0,00750	0,00750	0,24	0,629	0,086354
<i>v (m/min)*f mm/rev)</i>	1	0,16333	0,16333	0,16333	5,27	0,035	1,880558
<i>Residual Error</i>	17	0,52685	0,52685	0,03099			6,066073
<i>Total</i>	26	8,68519					100
<i>Ses seviyesi için regresyon analizi = 102,698-13,0000*a-0,297222*v-13,6574*f -4,44444*a*a +0,000755556*v*v -3,08642*f*f+0,0600000*a*v+8,33333*a*f+0,0777778*v*f</i>							
<i>R-Sq = 93,93% R-Sq(pred) = 84,61% R-Sq(adj) = 90,72%</i>							

Anlık akım değeri ile toplam güç tüketimi bir biri ile ters orantılıdır. Kesme parametrelerdeki artış ile anlık akım değeri artmaktadır. Kesme parametrelerindeki artış ile anlık akım değeri artsa bile toplam güç tüketimi azalmaktadır. Bundan dolayı artan kesme parametreleri ile toplam güç tüketimi azalmaktadır. Düşük akım değeri istenildiği durumlarda düşük kesme parametreleri tercih edilmesi gerekirken, işleme süresi ve toplam güç tüketimini düşük olması istenildiği durumlarda kesme parametrelerinin yüksek seviyeleri tercih edilmesi gerekir. Tercih edilme şartlarına göre düşük akım değeri için düşük kesme parametreleri . Düşük enerji tüketimi için yüksek kesme parametreleri tercih edilmesi gerekir.

4. GENEL SONUÇLAR (GENERAL RESULTS)

İmalat sürecinde sert tormalama için işlenen malzeme, tezgâhın rijitliği, kesici takım özellikleri, parçanın boyutları, soğutma sıvısı veya kuru kesme şartları gibi birçok faktöre göre kesme parametrelerinin optimum seviyeleri vardır. Bu çalışmada da çok değişkenli olan bu sert tormalama sürecinde büyük bir öneme sahip olan kesme parametreleri değerlendirilmiş ve ölçülmesi düşük maliyetli ve pratik olan güç tüketimi ve ses seviyesi de performans kriteri olarak belirlenmiştir. Ayrıca anlık akım değeri, güç tüketimi ve ses seviyesi arasındaki ilişki incelenmiştir.

Elde edilen deneysel çalışmalarda;

- ✓ Sert tormalama performansı parametrelerden, yani kesme hızından, ilerleme hızından ve kesme derinliğinden büyük ölçüde etkilenir.
- ✓ İşleme süresi takım tezgâhının güç tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. İşleme süresi ne kadar kısaltılırsa güç tüketimi o oranda azalır. Bu da yüksek kesme parametreleri tercih edilerek sağlanır. İlerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğindeki artış işleme süresinin azalmasını sağlar.
- ✓ Artan kesme parametreleri (ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesme hızı) ile anlık akım değerleri de artmıştır. Bu parametreler arasında da en etkili olanın ilerleme miktarı olduğunu grafikteki eğimin daha dik bir eğilim gösterdiğinden anlayabiliriz. Artan ilerleme miktarı ile birim zamanda takım üzerindeki yük miktarı artar ve bu da tezgâhtan çekilen akımı artırır.
- ✓ Kesme parametrelerindeki artış, anlık akım değerini arttırsa da işleme süresini kısalttığı için güç tüketimini azaltmaktadır. Sadece takım tezgâhını çalıştırmak dahi büyük bir enerji sarfiyatının kısmına neden olacağı için güç tüketiminde en etkili parametre işleme süresidir. Bu durumda tezgâhın çalışma süresinin kısalması için kesme parametrelerini arttırmak gerekir. Fakat kesme parametrelerinde ilerleme miktarını arttırmak yüzey pürüzlülük değerini arttıracaktır. Dolayısıyla güç tüketimini azaltmak, işleme süresini kısaltmak ve yüzey kalitesini bozmamak için; kesme parametrelerinin iyi seçilmesi gerekir.
- ✓ Ses seviyesi ile anlık akım değerleri arasında doğru bir orantı varken güç tüketimi ile ters bir orantı söz konusudur. İşleme süresi ile doğrudan ilişkili olan bu durum, kesme derinliğindeki artışla ters yönde etkilenmiştir. Ses seviyesi oldukça kolay ve maliyetsiz bir yöntemdir ve çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılabilir.
- ✓ Regresyon analizine göre tahmin edilen değerler; akım için% 99,22, güç tüketimi için% 99,11, ses seviyesi için % 90'dır. Değerlerin hepsi %90'ın üzerinde gerçek değerlere yakın olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gupta, N., Agrawal, A. K., & Walia, R. S. (2019, May). Soft Modeling Approach in Predicting Surface Roughness, Temperature, Cutting Forces in Hard Turning Process Using Artificial Neural Network: An Empirical Study. In International Conference on Information, Communication and Computing Technology (pp. 206-215). Springer, Singapore.
- [2] Das, A., Tirkey, N., Patel, S. K., Das, S. R., & Biswal, B. B. (2019). A comparison of machinability in hard turning of EN-24 alloy steel under mist cooled and dry cutting environments with a coated cermet tool. Journal of Failure Analysis and Prevention, 19(1), 115-130.

- [3] Boing, D., Zilli, L., Fries, C. E., & Schroeter, R. B. (2019). Tool wear rate of the PCBN, mixed ceramic, and coated cemented carbide in the hard turning of the AISI 52100 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9), 4697-4704.
- [4] Klocke, F., Brinksmeier, E., & Weinert, K. (2005). Capability profile of hard cutting and grinding processes. *CIRP annals*, 54(2), 22-45.
- [5] Tönshoff, H. K., Arendt, C., & Amor, R. B. (2000). Cutting of hardened steel. *Cirp Annals*, 49(2), 547-566.
- [6] Chinchankar, S., & Choudhury, S. K. (2015). Machining of hardened steel—experimental investigations, performance modeling and cooling techniques: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 89, 95-109.
- [7] Rastorguev, D., & Sevastyanov, A. (2019). Diagnostics of chip formation and surface quality by parameters of the main drive current in the hard turning. *Materials Today: Proceedings*, 19, 1845-1851.
- [8] Şahinoğlu, A., & Rafighi, M. (2020). Optimization of cutting parameters with respect to roughness for machining of hardened AISI 1040 steel. *Materials Testing*, 62(1), 85-95.
- [9] Şahinoğlu, A., & Rafighi, M. (2020). Investigation of vibration, sound intensity, machine current and surface roughness values of AISI 4140 during machining on the lathe. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(2), 765-778.
- [10] Şahinoğlu, A., & Ulas, E. (2020). An investigation of cutting parameters effect on sound level, surface roughness, and power consumption during machining of hardened AISI 4140. *Mechanics & Industry*, 21(5), 523.
- [11] Şahinoğlu, A., Karabulut, Ş., & Güllü, A. (2017). Study on spindle vibration and surface finish in turning of Al 7075. In *Solid State Phenomena* (Vol. 261, pp. 321-327). Trans Tech Publications Ltd.
- [12] Karaaslan, F., & Şahinoğlu, A. (2020). Determination of ideal cutting conditions for maximum surface quality and minimum power consumption during hard turning of AISI 4140 steel using TOPSIS method based on fuzzy distance. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(11), 9145-9157.
- [13] İynen, O., Şahinoğlu, A., Özdemir, M., & Yılmaz, V. (2020). Optimization of the Effect of Cutting Parameters on the Cutting Force in the Gradual Turning Process by Taguchi Method. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 1909-1918.
- [14] İynen, O., Şahinoğlu, A., Özdemir, M., & Yılmaz, V. (2020). Investigation of the Effect of Cutting Parameters on the Surface Roughness Value in the Machining of AISI 4140 Steel with Taguchi Method. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2840-2849.
- [15] Özdemir, M. (2020). Modelling and prediction of effect of machining parameters on surface roughness in turning operations. *Tehnički vjesnik*, 27(3), 751-760.
- [16] Özdemir, M. (2019). Optimization with Taguchi method of influences on surface roughness of cutting parameters in CNC turning processing. *Mechanics*, 25(5), 397-405.
- [17] Subbaiah, K. V., Raju, C., Pawade, R. S., & Suresh, C. (2019). Machinability investigation with wiper ceramic insert and optimization during the hard turning of AISI 4340 steel. *Materials Today: Proceedings*, 18, 445-454.
- [18] Alok, A., & Das, M. (2019). Multi-objective optimization of cutting parameters during sustainable dry hard turning of AISI 52100 steel with newly develop HSN2-coated carbide insert. *Measurement*, 133, 288-302.
- [19] Papandrea, P. J., Frigieri, E. P., Maia, P. R., Oliveira, L. G., & Paiva, A. P. (2020). Surface roughness diagnosis in hard turning using acoustic signals and support vector machine: A PCA-based approach. *Applied Acoustics*, 159, 107102.



Free Vibration Analysis of a Functionally Graded Micro-Beam with Tapered Cross Section

Duygu İPCİ^{1,*} Bora YILDIRIM²

¹Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, 06560, Yenimahalle/Ankara

²Hacettepe University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 06640, Çankaya/Ankara

Abstract

In this study, the free vibration analysis of a functionally graded (FG) microbeam with tapered cross-section was carried out theoretically. The beam has material distribution according to the power law throughout the thickness. The governing equation was reduced to an ordinary differential equation for a tapered beam with cross-sectional geometry whose width varies exponentially. Vibrations of a FG tapered microbeam was analyzed analytically in the elastic variation range based on the modified stress couple theory. Motion equations and boundary conditions were derived from the Hamilton principle. Analytical results of natural frequencies were calculated for cantilever exponential FG beams. Solutions for natural frequencies were obtained as the ratio of the beam's characteristic size to the material internal length parameter and according to the FGM distribution function characteristics.

Article Info

Research article
 Received: 22/03/2021
 Revision: 09/05/2021
 Accepted: 09/05/2021

Makale Bilgisi

Araştırmamakalesi
 Başvuru: 22/03/2021
 Düzeltme: 09/05/2021
 Kabul: 09/05/2021

Keywords

Functionally graded materials, microbeam, free vibration analysis, tapered cross-section

Anahtar Kelimeler

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, mikro kiriş, serbest titreşim analizi, konik kesit

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Konik Kesitli Bir Mikro Kirişin Serbest Titreşim Analizi

Öz

Bu çalışmada, konik kesitli fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) bir mikro kirişin serbest titreşim analizi teorik olarak gerçekleştirilmiştir. Kiriş, kalınlık boyunca güç yasasına göre malzeme dağılımına sahiptir. Yönetici denklem, genişliği üstel olarak değişen bir enine kesit geometrisine sahip konik kiriş için sıradan bir diferansiyel denkleme indirgenmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş konik bir mikro kirişin titreşimleri, modifiye edilmiş gerilim çifti teorisine dayalı olarak elastik varyasyon aralığında analitik olarak analiz edilmiştir. Hareket denklemleri ve sınır koşulları Hamilton ilkesinden türetilmiştir. Doğal frekansların analitik sonuçları, konsol üstel FD kiriş için hesaplanmıştır. Doğal frekanslar için çözümler, kirişin karakteristik boyutunun malzeme iç uzunluk parametresine oranı olarak ve FDM dağılım fonksiyonu özelliklerine göre elde edilmiştir.

1. INTRODUCTION

Functionally graded material is a type of composite material produced to use the toughness property of metal and high thermal resistance of ceramic. In recent years, FD materials are widely used in micro and nanostructured systems such as thin films of shape memory alloys [1], micro and nano-electromechanical systems (MEMS and NEMS) [2-3] biosensors, actuators [4-5], and atomic force microscopes (AFM) [6]. Devices such as MEMS, NEMS, and AKM are formed from beams. Beams can be of fixed or variable cross-section. Analysis of the material's static and dynamic behavior plays a vital role in structures consisting of beams. To determine the operating range of the systems, it is necessary to determine the natural frequencies of the beams.

Researchers have conducted many studies on the bending, vibration, and static properties of macro-sized FDM beams in the literature. In these studies, classical continuous media theory was used, and solutions were made by considering the change of material properties throughout the thickness [7-10]. There are fewer studies, as the solutions to problems occurring in axially graded beams are problematic due to the multivariate coefficient main equations [11-12]. Elishakoff et al. carried out a study to obtain the more accurate results of beams' natural frequencies with different end support structures by using the semi-inverse approach. The semi-inverse method gives a closed-form solution, and this method yield results similar to some special polynomials for a given bending stiffness and bulk density. The authors reported that this method is not suitable for determining higher-order natural frequencies. Huang and Li [13] aimed to determine an FDM beam's natural frequencies by converting the variable coefficient motion equation into the Fredholm equation. With this method, the authors could only estimate the approximate values of natural frequencies. Murin et al. [14] developed an analytical method for beams with variable material properties. Linear beam theory has been used in the formation of the equations; the effect of the moment of inertia, shear force, and mass distribution is considered. In the study, it was assumed that the beam has a constant cross-sectional area. The results were compared with the finite element results and found to be compatible.

The first work on microstructures, R.D. Mindlin [15], carried out on micro-structures with linear elasticity. Fleck and Hutchinson [16] reformulated the macro-dimensional classical coupled-stress theory for analysis of microstructures. Yang F. et al. [17] developed the modified couple stress (strain gradient) theory using the stress pair theory. Park and Gao [18] developed a new model using the Euler-Bernoulli beam method and the modified stress pair theory. They showed that this new model includes an internal material length scale parameter and that the size effect is significantly useful in solutions. They found that the beam has greater flexural stiffness than the classical beam theory, thanks to the newly developed modeling. The difference between the deflections in these two models increased as the beam thickness decreased. It was observed that as the thickness of the beam increased, similar results were obtained in both methods. This modeling is best suited for micro-beam structures.

Akgöz and Civalek [19] combined the Euler-Bernoulli beam and modified stress couple theory to analyze tapered micro-beams' vibration behavior with the axial material distribution. The micro-beam analysis whose material properties change in the axial direction was carried out for the boundary condition with one fixed end and the other free end. The method developed by Rayleigh-Ritz provided an approximate solution to the free transverse vibration problem. The effects of taper and material properties on the natural frequency of the axially functionally graded micro-beam were explained in detail.

Asghari et al. [20] analyzed the size-dependent static and vibration behaviors of microbeams made of FD material analytically in the elastic region, based on the modified coupled-stress theory. The governing equation of motion and boundary conditions are derived based on Hamilton's principle. They obtained the closed-form solution for natural frequency and static deviation depending on the ratio function of the beam's characteristic size to the internal material parameter and the distribution function of the material properties. These results show that when the ratio of the beam's characteristic size to the internal material length parameter is small, the static deflection and natural frequencies obtained from the Modified Coupled-Stress Theory differ significantly compared to the classical beam theory.

This study, it is aimed to adapt the traditional modeling theories used in the vibration analysis of elastic structured macro dimensional beams to micro dimensional functionally graded beams and to obtain free vibration of the material by analytical methods. The motion equations of microbeam having cross-sectional area along their length have been obtained based on the modified coupled-stress theory and Hamilton's principle. The governing equations of the tapered FGM microbeam are solved analytically by regarding the beam's boundary conditions, the cross-sectional area's geometry, the distribution function, and the direction of the material properties.

2. MATHEMATICAL MODEL

Functionally graded materials are produced by combining materials inert in a volumetric ratio. A FGM beam seen in Figure 1 has material distribution along the direction of the beam thickness.

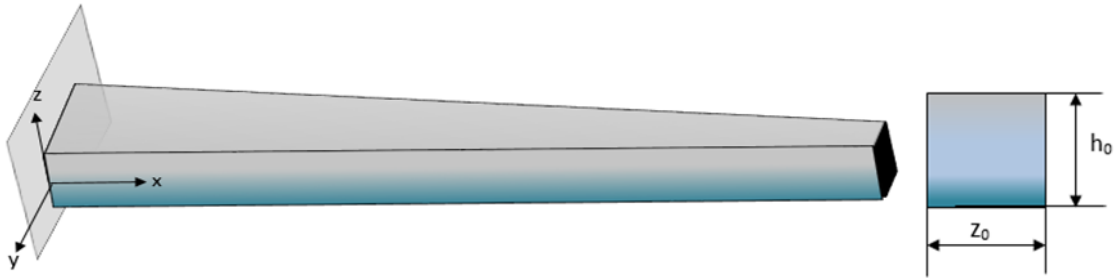


Figure 1. Functional graded beam with material properties varying across thickness (TFGM)

The variations of the beam's material properties according to the \tilde{z} point selected in the thickness direction might be expressed by using power-law distribution functions as follows.

$$\rho(\tilde{z}) = \rho_b + \left(\frac{\tilde{z}}{h}\right)^n (\rho_t - \rho_b) \quad 1$$

$$E(\tilde{z}) = E_b + \left(\frac{\tilde{z}}{h}\right)^n (E_t - E_b) \quad 2$$

$$\mu(\tilde{z}) = \mu_b + \left(\frac{\tilde{z}}{h}\right)^n (\mu_t - \mu_b) \quad 3$$

The equations (1), (2) and (3) are defined the density, elasticity module and shear modulus between the base and the top of the beam, respectively. In the last three equations, n shows the material distribution index. FGM beam forming materials are generally selected as Germanium-Silicon (Ge-Si) elements used in MEMS production [3]. Mechanical properties of Germanium and Silicon materials are given in Table 1.

Table 1. Material properties of Germanium and Silicon

	Germanium	Silicon
Shear modulus (μ)	41 GPa	79.9 GPa
Possion ratio (ν)	0.28	0.26
Density (ρ)	5.33 g/cm ³	2.33 g/cm ³
Elasticity modulus (E)	102.7 GPa	131 GPa

The micro-beam's height, width, length and internal length scale range are $h_0 = 10^{-6} m$, $b = 2h_0$, $L = 20h_0$ and $0 \leq h/l \leq 10$ respectively. It is assumed that the upper surface of the beam is germanium and the lower surface is silicon.

Yang et al. expressed the modified coupled-stress theory by obtaining the strain energy density in terms of the curvature tensor and the function of the strain tensor. The strain energy (U) occurring in the volume of the beam with linear elastic isotropic material property was written using the modified stress couple theory [21] as follows.

$$U = \frac{1}{2} \iiint_v \sigma_{ij} (\varepsilon_{ij} + m_{ij} \chi_{ij}) dv \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad 4$$

$$\sigma_{ij} = \lambda tr(\varepsilon_{ij}) I + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad 5$$

$$m_{ij} = 2l^2 \mu \chi_{ij} \tag{6}$$

$$\chi_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla \theta + \nabla \theta^T) \tag{7}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla u + \nabla u^T) \tag{8}$$

$$\theta_{ij} = \frac{1}{2} \text{curl}(u)_i. \tag{9}$$

Using the Euler-Bernoulli based beam theory, the displacement functions given in the last 5 equations might be arranged as

$$\theta_y = -\frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \quad \theta_x = \theta_z = 0 \tag{10}$$

$$\chi_{xx} = -\frac{1}{2} \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad \chi_{yy} = \chi_{zz} = \chi_{xy} = \chi_{xz} = \chi_{yz} = 0 \tag{11}$$

$$\varepsilon_{xx} = -z \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0 \tag{12}$$

$$\sigma_{xx} = -zE \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = \sigma_{xy} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0 \tag{13}$$

$$m_{xy} = -l^2 \mu \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad m_{xx} = m_{yy} = m_{zz} = m_{xz} = m_{yz} = 0 \tag{14}$$

The elasto-dynamic behavior of an anisotropic linear elastic beam is defined by the expanded Hamilton principle. In this principle, the virtual work of the forces acting on the system in a certain time interval and the kinetic and potential energy changes occurring in the system move so that the integral is zero. Based on this approach, by deriving the dynamic equation of motion of the beam with the extended Hamilton principle and disregarding external forces, Equation (4) is arranged as

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left((EI(x) + l^2 \mu A(x)) \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right) + \rho A(x) \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} = 0. \tag{15}$$

The moment of inertia and cross-sectional area along the length direction of the tapered beam might be defined as

$$I(x) = I_0 i(x) \tag{16}$$

$$A(x) = A_0 a(x). \tag{17}$$

For the purpose of non-dimensional the beam motion equation, $\eta = \frac{x}{L}$, $\tau = \frac{t}{t_0}$, $y = \frac{w}{L}$ terms are defined. Eq. 15 is rearranged with last two equations and non-dimensional terms as follow

$$\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \left((EI_0 i(\eta) + l^2 \mu A_0 a(\eta)) \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\rho A_0 L^4}{t_0^2} a(\eta) \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} = 0 \quad (18)$$

where $i(\eta)$ and $a(\eta)$ denote inertia shape function and area shape function. In the last equation, inertia moment of the beam is defined as $I = I_0 i(\eta)$ and the components of inertia are expressed as

$$I_0 = c_i b_0 h_0^3 \quad (19)$$

$$i(\eta) = y(\eta) z^3(\eta). \quad (20)$$

In Eq. 19 represent cross section width, cross section height and cross-sectional shape function constant respectively. In Eq. 20 $y(\eta)$ and $z(\eta)$ denote dimensionless width and height of the beam and are in $0 \leq y(\eta) \leq 1$ and $0 \leq z(\eta) \leq 1$ ranges. The $A = A_0 a(\eta)$ given in the Eq.17 cross-sectional area equation was rearranged similar to definition of moment of inertia as follows

$$A_0 = c_a b_0 h_0 \quad (21)$$

$$a(\eta) = y(\eta) z(\eta) \quad (22)$$

where c_a presents cross-sectional shape function constant. For the cross section of the beam with varying exponentially, dimensionless width and dimensionless height of the beam might be expressed as

$$y(\eta) = e^{\beta_e(1-\eta)}, \quad \beta_e = \ln \beta \quad (23)$$

$$z(\eta) = e^{\alpha_e(1-\eta)}, \quad \alpha_e = \ln \alpha. \quad (24)$$

For a beam having constant height and exponential variable width, the functions of inertia and cross section might be represented as

$$i(\eta) = e^{\beta_e(1-\eta)} \quad (25)$$

$$a(\eta) = e^{\beta_e(1-\eta)} \quad (26)$$

where β_e denotes taper index of the beam.

Eq. 18 is rearranged by considering the $i(\eta) = a(\eta)$ as follow

$$\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \left(i(\eta) \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} \right) + a(\eta) \frac{\rho A_0 L^4}{(EI_0 + l^2 \mu A_0) t_0^2} \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} = 0. \quad (27)$$

The last equation is a function of spatial and time. In order to obtain a solution with time-indepented, last equation is discretized by using the equation of $y(\eta, \tau) = W(\eta) F(\tau)$ as follows

$$\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \left(i(\eta) \frac{\partial^2 W(\eta)}{\partial \eta^2} F(\tau) \right) + a(\eta) \frac{\partial^2 F(\tau)}{\partial \tau^2} W(\eta) = 0. \quad (28)$$

By considering the terms of $\tau = t / t_0$, $\Omega^4 = \omega^2 t_0^2$, $t_0^2 = \frac{\rho A_0 L^4}{(EI_0 + I^2 \mu A_0)}$, time-independent component of the Eq. 28 is expressed as

$$\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \left(i(\eta) \frac{\partial^2 W}{\partial \eta^2} \right) - a(\eta) \Omega^4 W = 0 \tag{29}$$

and time-dependend component of the Eq. 28 is obtained as

$$F''(\tau) + \omega^2 F(\tau) = 0. \tag{30}$$

The inertia and cross section area functions given in Eqs. 25 and 26 respectively, the motion equation of the tapered beam with exponentially are rearranged with Eq. 29 as follow

$$\frac{d^2}{d\eta^2} \left(e^{-\beta_e \eta} \frac{d^2 W}{d\eta^2} \right) - \Omega^4 e^{-\beta_e \eta} W = 0. \tag{31}$$

Solution of the last equation is obtained as

$$W(\eta) = e^{\delta \eta} [C_1 \cosh(\varepsilon_1 \eta) + C_2 \sinh(\varepsilon_1 \eta) + C_3 \cos(\varepsilon_2 \eta) + C_4 \sin(\varepsilon_2 \eta)] \tag{32}$$

The following equations are used to calculate the natural frequency of the beam.

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \sqrt{\Omega^2 + \delta^2} \\ \varepsilon_2 &= \sqrt{\Omega^2 - \delta^2} \end{aligned}, \quad \Omega^2 > \delta^2 \quad (\delta = \beta_e / 2) \tag{33}$$

The Ω^2 symbol indicates the natural frequency of the beam and is only due to the taper structure of the beam.

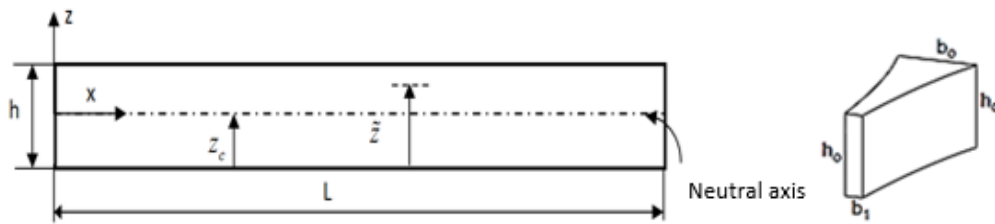


Figure 2. The coordinates and neutral axis of FDM [20]

To calculate the frequency of the FGM beam, the FGM properties of the beam must be defined. During the movement of the beam, there is a neutral axis on the beam that is not subjected to any elongation or shortening. The z_c in Figure 2 represents the distance from the bottom of the beam to the neutral axis. To determine the position of the neutral axis, force balance is expressed as

$$\int_A \sigma_{xx} dA = - \int_A E(\tilde{z}) z \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} dA = 0 \tag{34}$$

Elastic modulus expression given in the last equation is defined as

$$\int_A E(\tilde{z}) z dA = \int_A E(\tilde{z}) (\tilde{z} - z_c) dA = 0 \tag{35}$$

The distance from the bottom of the beam to the neutral axis is indicated as

$$z_c = \frac{\int_A E(\tilde{z}) \tilde{z} dA}{\int_A E(\tilde{z}) dA} = \frac{\int_A E(\tilde{z}) \tilde{z} b d\tilde{z}}{\int_A E(\tilde{z}) b d\tilde{z}} \quad 36$$

The Eq. 36 is rearranged with magnitudes of the distance z_c , power law distribution index n and elastic modulus of the upper E_t and lower E_b materials of the beam, as follows.

$$z_c = h \frac{\frac{E_b}{2} + \frac{(E_t - E_b)}{(n+2)}}{E_b + \frac{(E_t - E_b)}{n+1}} \quad 37$$

The moment resultant of the FGM beam is expressed as

$$M_x = \int_A E(\tilde{z}) z^2 \frac{d^2 w(x,t)}{dx^2} dA = (EI_0)_{eq} \frac{d^2 w(x,t)}{dx^2}. \quad 38$$

The $(EI_0)_{eq}$ expression in the Eq. 38 is defined as

$$(EI_0)_{eq} = b \left[h^3 \left(\frac{E_b}{3} + \frac{(E_t - E_b)}{n+3} \right) - \tilde{z}_c h^2 \left(E_b + \frac{2(E_t - E_b)}{n+2} \right) + \tilde{z}_c^2 h \left(E_b + \frac{(E_t - E_b)}{n+1} \right) \right]. \quad 39$$

By substituting equation (37) into above equation, the elastic modulus of the beam for a selected point in the thickness direction is expressed as follows

$$E(n) = \left(\frac{E_b}{3} + \frac{(E_t - E_b)}{n+3} \right) - \left(\frac{\frac{E_b}{2} + \frac{(E_t - E_b)}{(n+2)}}{E_b + \frac{(E_t - E_b)}{n+1}} \right) \left(E_b + \frac{2(E_t - E_b)}{n+2} \right) + \left(\frac{\frac{E_b}{2} + \frac{(E_t - E_b)}{(n+2)}}{E_b + \frac{(E_t - E_b)}{n+1}} \right)^2 \left(E_b + \frac{(E_t - E_b)}{n+1} \right) \quad 40$$

only as a function of the material distribution index. Couple moment of FGM beam is expressed as

$$Y_{xy} = \int_A l^2 \mu(\tilde{z}) \frac{d^2 w(x,t)}{dx^2} dA = l^2 (\mu A_0)_{eq} \frac{d^2 w(x,t)}{dx^2}. \quad 41$$

The $(\mu A_0)_{eq}$ expression in the Eq. (41) is defined as

$$(\mu A_0)_{eq} = bh \left[\mu_b + (\mu_t - \mu_b) \frac{1}{n+1} \right]. \quad 42$$

where μ_b and μ_t are shear modulus of the bottom and top surface materials of the beam. The $(\rho A_0)_{eq}$ expression in the Eq. (18) is defined as

$$(\rho A_0)_{eq} = bh \left[\rho_b + (\rho_t - \rho_b) \frac{1}{n+1} \right]. \tag{43}$$

Natural frequency of tapered FGM beam is indicated as

$$\omega = \Omega^2 \sqrt{\frac{((EI_0)_{eq} + l^2 (\mu A_0)_{eq})}{(\rho A_0)_{eq} L^4}}. \tag{44}$$

Two kinds of deformation occur at two different levels during vibration. These are micro rotations at the particle level and macro-deformations at the molecular level. For particle level micro-deformation, the internal length scale determines the micro properties of the particle. It is often referred to as the inner length parameter. The commonly used internal length parameter is one of the main factors in determining the average particle size required to obtain the length scale size. As the average particle size increases / decreases, the size of the length scale will increase/decrease. The inner length scale was defined by Vardoulakis and Sulem [22] as follows

$$l = \sqrt{\frac{M}{G}} \tag{45}$$

where G and M denote shear modulus and moment of force respectively. The ω_0 symbol presents the frequency for the beam with uniform cross section $\beta = 1$ and inside length parameter equal to zero $l = 0$ [21]. The frequency of the tapered FGM beam might be calculated with equation given below [20].

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\Omega^2}{\Omega_0^2} \sqrt{1 + \frac{\mu_0}{E_0 \left(\frac{h}{l}\right)^2}} \tag{46}$$

2. NATURAL FREQUENCY OF TFGM BEAM

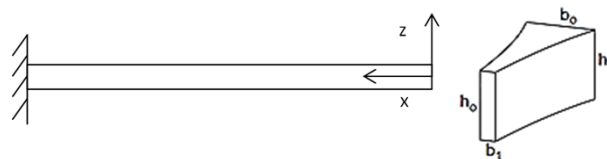


Figure 3. Cantilever FGM beam

Figure 3 indicates the cantilever tapered FGM beam and coordinate position. Boundary conditions for a cantilever beam are expressed as follows.

$$W(1) = 0, \quad W'(1) = 0, \quad W''(0) = 0, \quad W'''(0) = 0. \tag{47}$$

When the boundary conditions given in the last equation are arranged with Equations (32) and (33), a matrix is obtained as follows.

$$\begin{bmatrix} \cosh \varepsilon_1 & \sinh \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_2 & \sin \varepsilon_2 \\ \varepsilon_1 \cosh \varepsilon_1 & \varepsilon_1 \sinh \varepsilon_1 & -\varepsilon_2 \sin \varepsilon_2 & \varepsilon_2 \cos \varepsilon_2 \\ \delta^2 + \varepsilon_1^2 & 2\delta\varepsilon_1 & \delta^2 - \varepsilon_2^2 & 2\delta\varepsilon_2 \\ \delta^3 + 3\delta\varepsilon_1^2 & 3\delta^2\varepsilon_1 + \varepsilon_1^3 & \delta^3 - 3\delta\varepsilon_2^2 & 3\delta^2\varepsilon_2 - \varepsilon_2^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{Bmatrix} = 0 \tag{48}$$

From the solution of the last equation, the natural frequency of the beam due to its conical structure is obtained. Considering the material distribution of the FGM beam, the frequency values obtained by Equation (46) are given in Table 2. While h_0/l is equal to 2, the frequency ratio approaches 1; that is, it gives similar result to the classical Euler-Bernoulli theory.

Table 2. Frequency ratios

Beta (β)	Power law index (n)	ω/ω_0			
		$h_0/l=0.2$	$h_0/l=0.5$	$h_0/l=1$	$h_0/l=2$
0.2	0	17.586	7.185	3.850	2.372
	0.5	19.242	7.835	4.155	2.497
	1	20.057	8.156	4.307	2.560
	2	20.848	8.467	4.454	2.623
0.5	0	13.533	5.529	2.963	1.825
	0.5	14.807	6.029	3.197	1.921
	1	15.434	6.276	3.314	1.970
	2	16.043	6.515	3.428	2.018
0.8	0	11.762	6.515	2.575	1.586
	0.5	12.869	5.240	2.779	1.670
	1	13.414	5.454	2.880	1.712
	2	14.548	5.663	2.979	1.754

Figure 4 indicates the variations of frequency ratio by concerning tapered index β for $h_0/l=0.5$. When the beta is increasing from 0 to 1, the frequency ratio decreases with the same trend for all power law indices. It is predicted that the frequency ratios values not change for the same taper index values when the value of n is 2 or more. For tapered index values between 0 and 0.3, beam should be designed more precisely, as the frequency rates change rapidly.

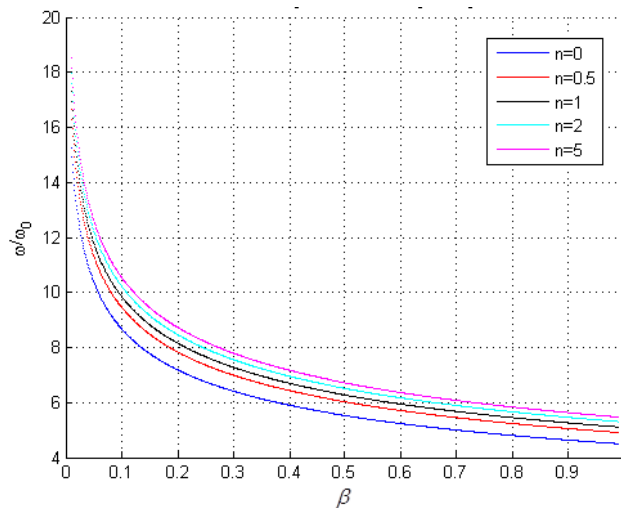


Figure 4. Variations of ω/ω_0 for $h_0/l=0.5$

3. CONCLUSIONS

Except to design parameters of beam taper index and power-law index, the ratio of beam maximum thickness h_0 to inner length scale l is determined as an additional parameter. With the additional parameter h_0/l , the shear modulus of the materials is considered for the frequency calculations. The frequency variations of the beam, which depend on the parameter used in the calculations, are presented as the frequency of the tapered beam to the uniform beam. In this study, frequency calculations are carried out for a cantilever TGF tapered beam made of Germanium and silicon materials. As a result, for all power law indices, effect beam taper index variations on the frequency has the same trend. It is determined that the fastest variation from the frequency of the uniform beam occurs when the taper index is between 0 and 0.3. While the parameter h_0/l is increasing from 0 to 2, the frequency of the tapered beam approaches to the frequency of uniform beam.

REFERENCES

- [1] Shariat, B. S., Meng, Q., Mahmud, A. S., Wu, Z., Bakhtiari, R., Zhang, J., ... & Liu, Y. (2017). Functionally graded shape memory alloys: Design, fabrication and experimental evaluation. *Materials & Design*, 124, 225-237.
- [2] Bogaerts, W., Sattari, H., Edinger, P., Takabayashi, A. Y., Zand, I., Wang, X., ... & Khan, U. (2020). MORPHIC: Programmable photonic circuits enabled by silicon photonic MEMS. In *Silicon Photonics XV* (Vol. 11285, p. 1128503). International Society for Optics and Photonics.
- [3] Zarezadeh, E., Hosseini, V., & Hadi, A. (2020). Torsional vibration of functionally graded nano-rod under magnetic field supported by a generalized torsional foundation based on nonlocal elasticity theory. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 48(4), 480-495.
- [4] Granberry, R., Eschen, K., Holschuh, B., & Abel, J. (2019). Functionally Graded Knitted Actuators with NiTi-Based Shape Memory Alloys for Topographically Self-Fitting Wearables. *Advanced materials technologies*, 4(11), 1900548.
- [5] Behrouz, S. J., Rahmani, O., & Hosseini, S. A. (2019). On nonlinear forced vibration of nano cantilever-based biosensor via couple stress theory. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 128, 19-36.
- [6] Azari, R., Rezaie, H. R., & Khavandi, A. (2019). Investigation of functionally graded HA-TiO₂ coating on Ti-6Al-4V substrate fabricated by sol-gel method. *Ceramics International*, 45(14), 17545-17555.
- [7] Aydogdu, M., & Taskin, V. (2007). Free vibration analysis of functionally graded beams with simply supported edges. *Materials & design*, 28(5), 1651-1656.
- [8] Sankar, B. V. (2001). An elasticity solution for functionally graded beams. *Composites Science and Technology*, 61(5), 689-696.
- [9] Sina, S. A., Navazi, H. M., & Haddadpour, H. (2009). An analytical method for free vibration analysis of functionally graded beams. *Materials & Design*, 30(3), 741-747.
- [10] Şimşek, M. (2012). Nonlocal effects in the free longitudinal vibration of axially functionally graded tapered nanorods. *Computational Materials Science*, 61, 257-265.
- [11] Elishakoff, I., & Candan, S. (2001). Apparently first closed-form solution for vibrating: inhomogeneous beams. *International Journal of Solids and Structures*, 38(19), 3411-3441.
- [12] Elishakoff, I., & Becquet, R. (2000). Closed-form solutions for natural frequency for inhomogeneous beams with one sliding support and the other pinned. *Journal of Sound and Vibration*, 238(3), 529-539.

- [13] Huang, Y., & Li, X. F. (2010). A new approach for free vibration of axially functionally graded beams with non-uniform cross-section. *Journal of sound and vibration*, 329(11), 2291-2303.
- [14] Murin, J., Aminbaghai, M., & Kutiš, V. (2010). Exact solution of the bending vibration problem of FGM beams with variation of material properties. *Engineering structures*, 32(6), 1631-1640.
- [15] Mindlin, R. D. (1963). *Microstructure in linear elasticity*. Columbia Univ New York Dept of Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- [16] Fleck, N., & Hutchinson, J. (1997). *Strain gradient plasticity (advances in applied mechanics)*, Vol. 33.
- [17] Yang, F. A. C. M., Chong, A. C. M., Lam, D. C. C., & Tong, P. (2002). Couple stress based strain gradient theory for elasticity. *International journal of solids and structures*, 39(10), 2731-2743.
- [18] Park, S. K., & Gao, X. L. (2006). Bernoulli–Euler beam model based on a modified couple stress theory. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 16(11), 2355.
- [19] Akgöz, B., & Civalek, Ö. (2013). Free vibration analysis of axially functionally graded tapered Bernoulli–Euler microbeams based on the modified couple stress theory. *Composite Structures*, 98, 314-322.
- [20] Asghari, M., Ahmadian, M. T., Kahrobaian, M. H., & Rahaeifard, M. (2010). On the size-dependent behavior of functionally graded micro-beams. *Materials & Design (1980-2015)*, 31(5), 2324-2329.
- [21] Kang, Y. A., & Li, X. F. (2009). Bending of functionally graded cantilever beam with power-law non-linearity subjected to an end force. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 44(6), 696-703.
- [22] Sulem, J., Vardoulakis, I., & Papamichos, E. (1995). *Microstructure and scale effect in granular rocks*. In *Continuum Models for Materials with Microstructure* (pp. 201-238). New York: Wiley.



Comparison of Control Techniques for Series Resonant Converter

Salih NACAR^{1,*} Selim ÖNCÜ² Güngör BAL³

¹Kastamonu University, Taşköprü Vocational School, Department of Electric and Energy, 37400, Taşköprü/KASTAMONU

²Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 78050, Balıklarkayası/KARABÜK

³Gazi University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Article Info

Research article

Received:02/04/2021

Revision:14/05/2021

Accepted:17/05/2020

Keywords

Resonant Converters

Control Techniques

FM

PSM

PDM

Abstract

There are many different derivatives of variable and fixed frequency switching control techniques used in control of load resonant converters. In this study; among these techniques frequency modulation (FM), phase shift modulation (PSM) and pulse density modulation (PDM) are applied separately to series resonant converter (SRC). The techniques are examined and compared in many respects. An experimental setup is built, which consists of a 400W converter, a control circuit and a resistive load to verify theoretical studies. The converter is controlled by FM, PSM and PDM separately for 120 kHz basic operating frequency and different output currents. Experimental results are compared in terms of efficiency, output voltage ripple, soft switching, switch voltage, ease of application and hardware. The comparison results are presented. Thus, effect of each technique on the operating parameters of the converter is revealed. Moreover, it is also observed that FM has better performance than the other two techniques in many aspects

1. INTRODUCTION

Efficiency of load resonant converters is affected by input voltage and output current levels of different applications in which they are used. Another factor that has an effect on the efficiency is techniques used in control of these converters [1]. The techniques can be divided into variable frequency switching and fixed frequency switching, which have different applications, for instance FM and PSM. While FM is the variable frequency switching control technique, PSM is the fixed frequency switching control technique. The both are traditional methods [2]. PDM is one of the fixed frequency switching techniques, which is frequently used in control of resonant inverters as well as DC-DC converters [3, 4].

Output power control with FM is performed by changing switching frequency (f_s). In the FM, when it is desired to decrease the output power while operating above the resonance frequency (f_r), it is necessary to increase the switching frequency. However, with increasing switching frequency, switching losses and electromagnetic interference (EMI) also increase. Therefore, changing the switching frequency for the output power control is the disadvantage for the FM. In addition, when operating below the resonance frequency, filter design becomes difficult due to the changing switching frequency [5-8]. Despite these disadvantages, its simple structure and easy applicability are the advantages of FM [9, 10].

Changing the duty ratio of the inverter voltage, which defines the effective value of the inverter voltage, performs the power control in PSM. As long as the resonance current is lagging with respect to the inverter voltage, the switches are turned on under soft switching conditions. However as the duty ratio of inverter voltage is decreased, the resonance current is leading with respect to the inverter voltage. As a result, soft switching conditions of some switches are disappeared and the switching losses increase [10-12]. The disadvantage of PSM is that the soft switching conditions of some switches are disappeared as the load current decreases. Operation at fixed switching frequency is the advantage of PSM.

PDM control can be divided into two groups as regular and irregular, the power control is performed by deleting some of switching pulses [13]. PDM is especially used in induction heating applications [14-16]. Main reason for this is that the system response does not need to be fast since the work piece temperature controlled in this application does not change rapidly. Therefore, fast output response is not required unlike DC-DC converters. Disadvantages of the regular PDM are that the varying of damping time depending on the quality factor of the resonance current causes the fluctuations in the output power and the peak value of the resonance current is much bigger than the other two techniques, especially with the decreasing load current [17,18]. In order to eliminate these disadvantages of the regular PDM method, the irregular PDM is recommended. By maintaining the oscillation of the resonance current with the irregular PDM, phase locking loop continues to operate and the changes in the resonance current are reduced. Thus, the fluctuations in the power transferred to the load are reduced. Amount of sub harmonics also decreases with the irregular PDM. However, this method requires complex and large logic circuits or memory elements to obtain gate signals of the power switches [19-22]. In the regular PDM, the control signals of the power switches can be obtained by simple logic circuits [23].

There are also hybrid applications of FM, PSM and PDM used for the power control of the load resonant converter [24-26]. In these applications, the power control is performed with more than one technique by benefiting from the advantages of each technique for different load conditions. Thus, the decreasing converter efficiency is prevented, especially in light loads. However, as a result of using more than one technique together, complexity, application difficulty and components of the control unit increase.

SRCs have a suitable structure for half and full-bridge applications. The full-bridge, which is more suitable for application of different control techniques, is preferred in this study. Because of the advantages of operating above the resonance frequency at high frequencies, the switching frequency of the full-bridge SRC is selected above the resonance frequency and MOSFETs are used as power switches. A 16-bit dsPIC33FJ16GS502 digital signal controller (DSC) is used to execute the control algorithm, generate the control signals of the switches and digitize the feedback information.

2. CONTROL OF THE FULL-BRIDGE SERIES RESONANT CONVERTERS

The isolated full-bridge SRC and control circuit used in experimental studies are shown in Figure 1. A lot of different control techniques such as FM, PSM and PDM are used to control the converter [3, 27, 28].

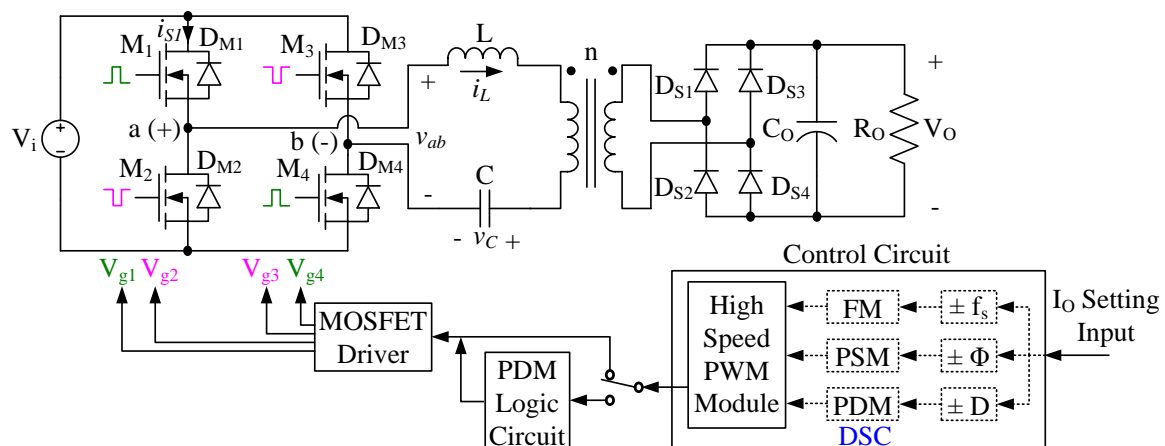


Figure 1. The isolated full-bridge SRC and control circuit

The classification of these techniques is given in the following sections.

2.1. Variable Frequency Control

Different derivatives of the variable frequency switching control technique are as follows:

- Frequency modulation

- Average current
- Capacitor voltage
- Diode conduction angle
- Optimal curve control

Among these techniques, FM is the most preferred technique because of its simple structure and easy application [5]. Gate signals V_{g1-g4} , theoretical waveforms of the inverter voltage v_{ab} and current i_L of FM controlled converter are given in Figure 2a.

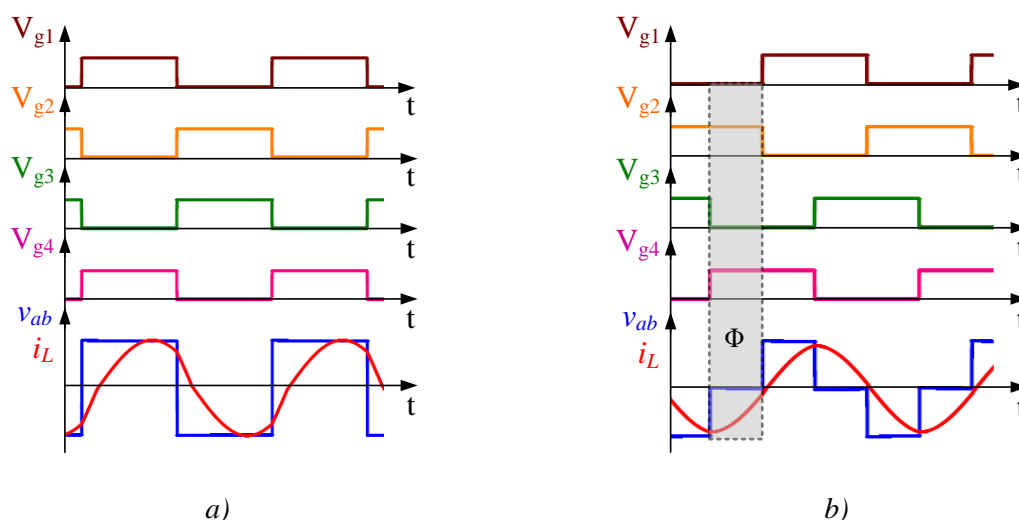


Figure 2. Waveforms of FM and PSM controlled converter, a) FM, b) PSM

While changing the switching frequency that is the control variable of this technique controls the load current, the duty ratio and peak value of the inverter voltage remain constant. In addition, the converter has four different operating intervals in steady-state conditions. Since the current is lagging in all of these operating intervals, the power switches are turned off under hard switching while they are turned on under zero voltage switching (ZVS).

2.2. Fixed Frequency Switching Control

Although the fixed frequency switching technique has different derivatives [1, 2], the control variables in these techniques differ in contrast to the variable frequency control technique. Among these techniques; PSM and PDM are frequently used in the control of resonant converters and resonant inverters, respectively.

- Phase shift modulation
- Asymmetric phase shift modulation
- Asymmetric duty ratio
- Unipolar voltage cancellation
- Secondary party
- Pulse density modulation

2.2.1. Phase Shift Control

Generally PSM is preferred to avoid the variable frequency switching for the power control and to operate at the fixed switching frequency [10-12]. The power control in PSM is accomplished by varying the duty ratio of the inverter voltage. Gate signals of the power switches, inverter voltage and current waveforms of PSM controlled converter are given in Figure 2b. The duty ratio of the inverter voltage is obtained by changing the angle Φ , which is the phase difference between the gate signals of the diagonal power switches. Since the angle Φ is the control variable, it is changed from 0 to 180 degrees to control the output current. In PSM, the output current decreases as the phase angle Φ increases. The three different

operating states occur with the decrease of the output current of PSM controlled converter [27, 28]. In one of these states, all of the power switches are turned on under ZVS conditions and the current is lagging. This operating state is preferred because of the higher efficiency, especially in applications where MOSFET is used as the power switch at high frequencies [27].

2.2.2. Pulse Density Modulation Control

In a PDM, the switching losses can be reduced by operating at the resonance frequency or at a frequency close to the resonance frequency. The regular PDM is used in the experimental studies due to its simple control circuit structure and easy applicability. The application of the regular PDM is given in Figure 3. PWM pulses and the control signal are applied to the synchronization circuit to synchronize control and PWM signals and then the synchronization circuit output and PWM pulses are applied to AND gate to determine number of PWM pulses used to drive the power switch.

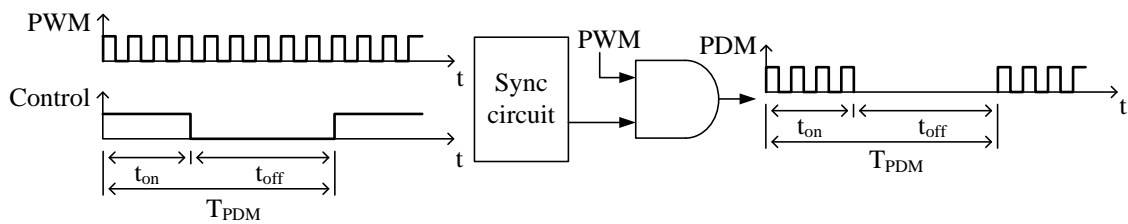


Figure 3. The generation of the regular PDM signals

PDM control is accomplished by changing the duty ratio D of the control signal given in Equation 1. Hence, the control variable is the duty ratio of the control signal.

$$D = \frac{t_{on}}{T_{PDM}} \tag{1}$$

In FM and PSM, gate signals of the power switches can be obtained with analog integrated circuits or programmable circuit elements such as microcontrollers [29-31]. The logic circuit or memory elements are required to obtain gate signals of the power switches in the regular or irregular PDM [18-22]. The logic control circuit of the regular PDM used in experimental studies is given in Figure 4a.

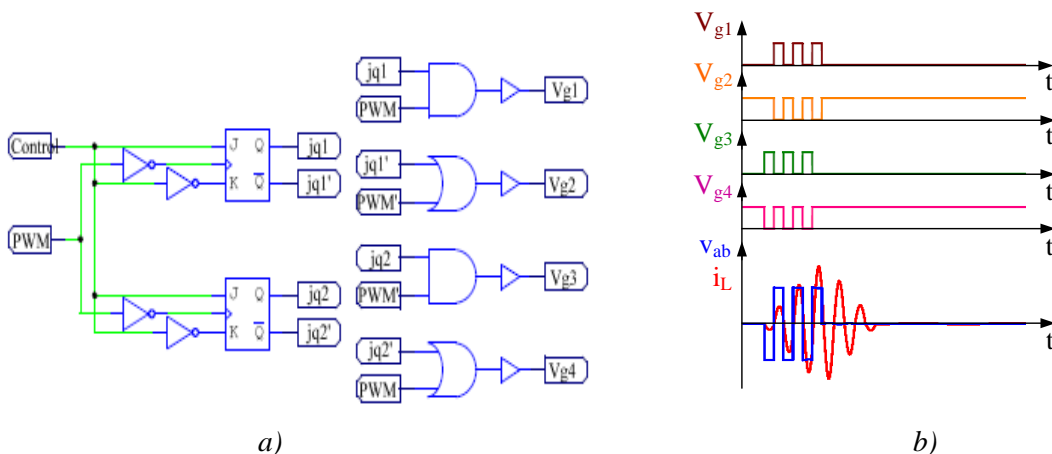


Figure 4. The logic circuit used to obtain the regular PDM signals and the waveforms of regular PDM controlled converter, a) logic circuit, b) the waveforms

Gate signals of the power switches, waveforms of the inverter voltage and current for PDM controlled converter are given in Figure 4b. For operating above the resonance frequency, t_{on} interval operation of PDM controlled converter is same as FM controlled converter. However, by keeping the power switches

M_2 and M_4 in conduction throughout t_{off} , the inverter voltage becomes zero. Therefore, there is no energy transfer from the source to the load at t_{off} interval.

3. TEST RESULTS OF DIFFERENT CONTROL TECHNIQUES FOR RESISTIVE LOAD

In this study for purpose of comparison of three different control techniques named as FM, PSM and PDM, the experimental set up is built as given in Figure 5. The converter and control circuit on the same board used to control the output current separately with three different techniques are given in Figure 6.

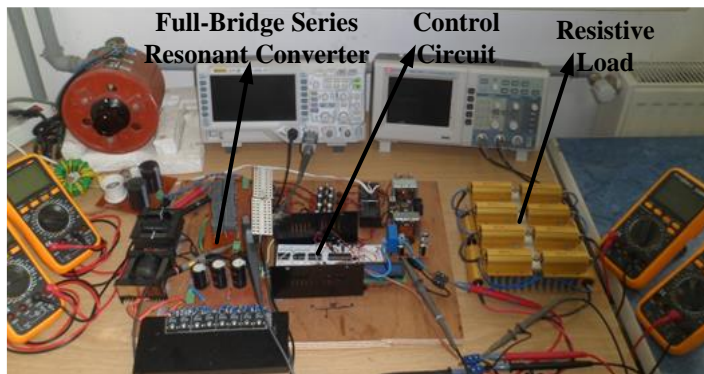


Figure 5. The experimental setup

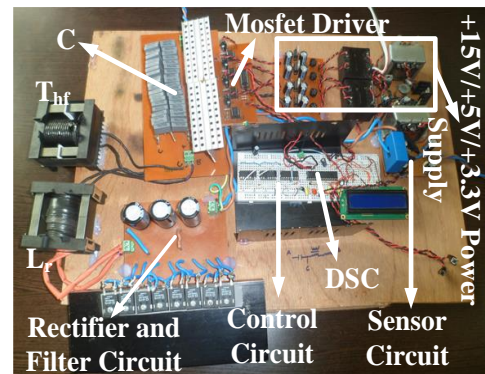


Figure 6. The converter circuit

The parameters of the converter are as given in Table 1.

Table 1. The parameters of the converter

$V_i=200$ V	$n=18:4$	$L=191$ μ H	$C=10$ nF	$f_r=115$ kHz	$R_o=3.33$ Ω
-------------	----------	-----------------	-----------	---------------	---------------------

The output voltage, current and power of the converter for 120 kHz fixed operating frequency are 36.4 V, 10.8 A and 393.12 W, respectively. Gate signals of the power switches, inverter voltage and current waveforms of the converter are given in Figure 7 for 120 kHz.

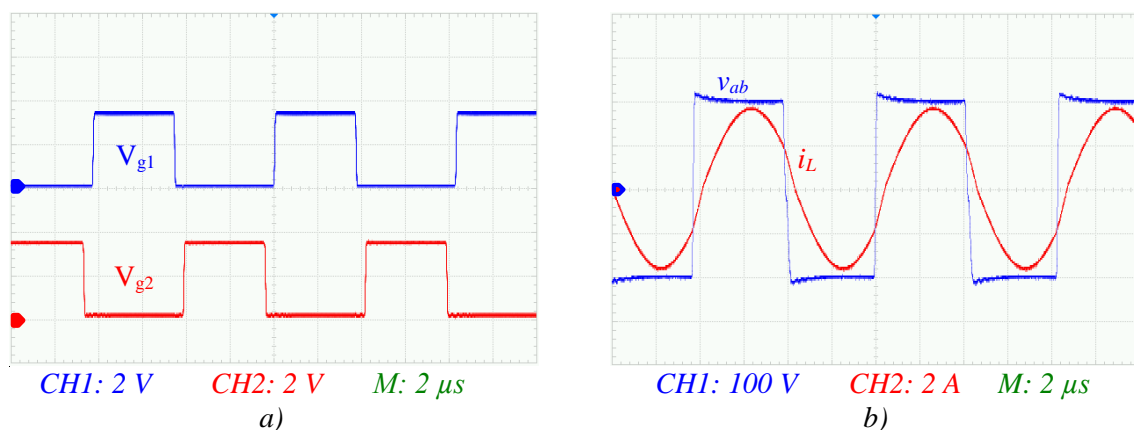


Figure 7. Gate signals of the power switches, inverter voltage and current for 120 kHz, a) gate signals of the power switches, b) the inverter voltage and current

In order to compare the techniques, the load current of the converter is controlled separately by each control technique in 1 A intervals from 4 A to 10 A. The input current (I_i), input voltage (V_i), inverter current (i_L) and voltage (v_{ab}), output current (I_o), output voltage (V_o) and output voltage ripple (ΔV_o) are measured and recorded for each determined output current value. While I_i , V_i , I_o and V_o are measured by a digital multimeter, i_L is measured by a Tektronix 011-0105-00 AC current probe.

3.1. Frequency Controlled Converter

Gate signals of the power switches of FM controlled converter are obtained by using a pair speed PWM module and two output pins of DSC. The output current is controlled from 4 A to 10 A by changing the switching frequency of the converter between 187.97 kHz and 125.63 kHz. The waveforms of the inverter voltage and current for these output currents are given in Figure 8.

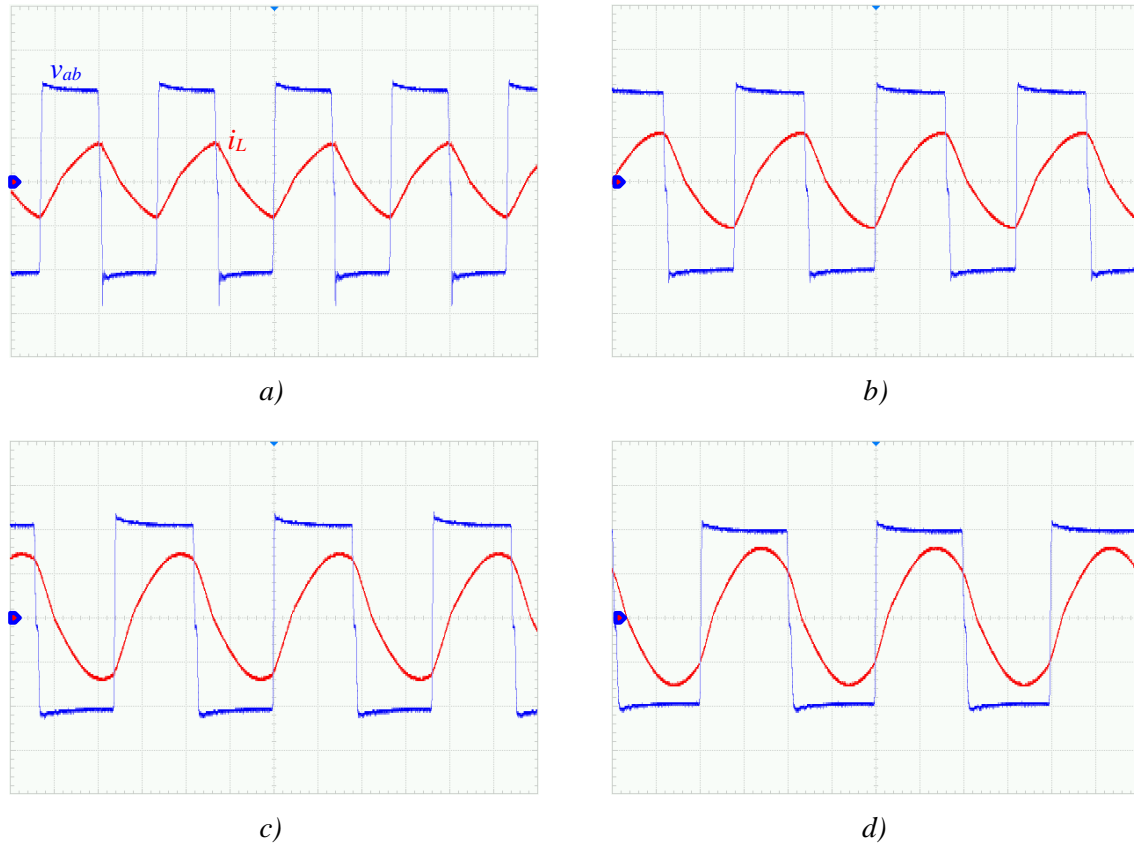


Figure 8. The inverter voltage and current of FM controlled converter for the different output currents (CH1: 100 V, CH2: 2 A and M: 2 μ s), a) 4 A, b) 6 A, c) 8 A, d) 10 A

An increase of 62.34 kHz is required in the switching frequency to reduce the output current from 10 A to 4 A in FM controlled converter. While the power switches are turned on under ZVS conditions, they are turned off under hard switching. The voltage (v_{S4}) and current (i_{S4}) of the switch M_4 are given in Figure 9 for 10 A.

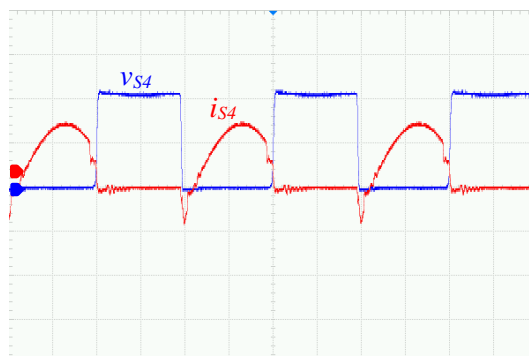


Figure 9. The voltage (v_{S4}) and current (i_{S4}) of M_4 for 10 A (CH1: 100 V, CH2: 2 A and M: 2 μ s)

The results summarizing the operation of FM controlled converter for the different output currents are given in Table 2.

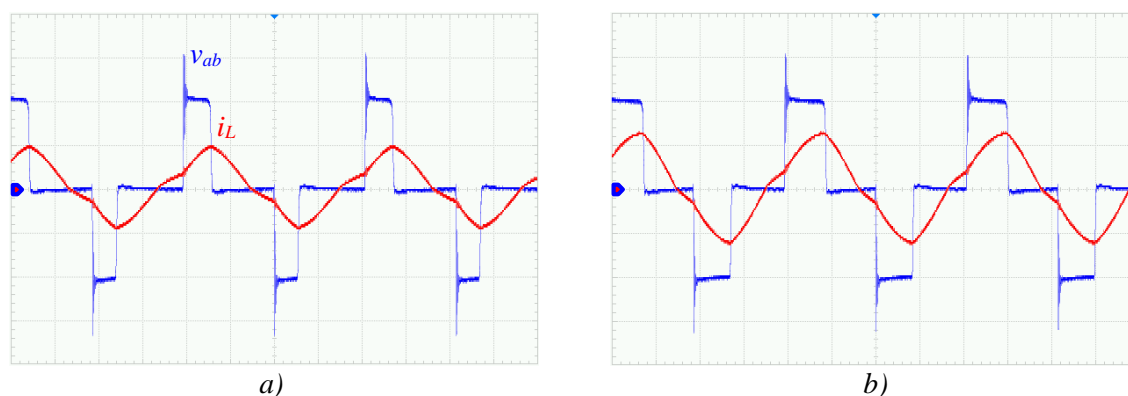
Table 2. Operation parameters of FM controlled converter

V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	Efficiency (%)	$\Delta V_o/V_o$ (%)	I_{Lm} (A)	Frequency (kHz)	Switch Stresses (V)
200	0.372	14.10	4.03	76.37	4.25	1.85	187.97	280
200	0.524	17.00	5.01	81.26	3.82	1.97	171.23	260
200	0.715	20.30	6.03	85.6	3.44	2.2	156.25	230
200	0.957	23.50	7.02	86.19	3.19	2.48	146.2	230
200	1.236	26.90	8.02	87.27	3.71	2.92	138.12	230
200	1.561	30.30	9.03	87.63	4.62	3.08	130.89	220
200	1.905	33.50	10.02	88.1	5.97	3.2	125.63	220

The efficiency is obtained by dividing the output power ($V_o I_o$) by the input power ($V_i I_i$) and it decreases as the switching frequency increases in FM, as seen in Table 2. The voltage stresses across the switch increase as the output current decreases. However, ZVS is guaranteed from 10 A to 4 A as the converter operates above the resonance frequency.

3.2. Phase Shift Controlled Converter

Gate signals of the power switches of PSM controlled converter are obtained by using two pair speed PWM module and four output pins of DSC. The inverter voltage and current of the converter whose switching frequency is 120 kHz and output current is controlled by PSM from 4 A to 10 A, are given in Figure 10.



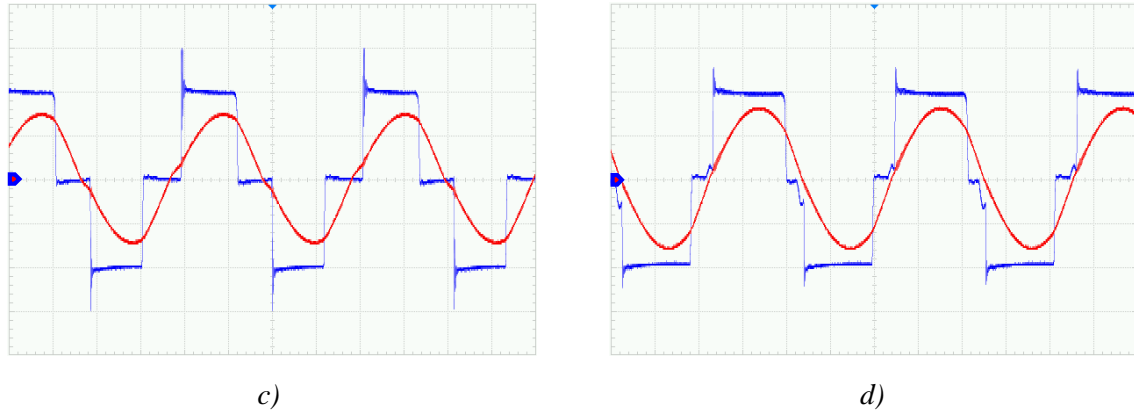


Figure 10. The inverter voltage and current of PSM controlled converter for the different output currents (CH1: 100 V, CH2: 2 A and M: 2 μ s), a) 4 A, b) 6 A, c) 8 A, d) 10 A

Since the phase difference (Φ) increases with the decreasing output current in PSM controlled converter, the lagging current becomes leading with respect to the inverter voltage. As can be seen from the voltage and current waveforms of M_2 and M_4 switches given in Figure 11 for 10 A, while the power switches on the left arm of the full-bridge are leading, the power switches on the right arm of the full-bridge are lagging. As a result, ZVS conditions for the power switches on the left arm are disappeared. The switches are turned off under zero current switching conditions and turned on under hard switching. Moreover, the switch stresses increase with increasing the phase difference. On the other hand, while the switches on the right arm are turned on under ZVS, they are turned off under hard switching.

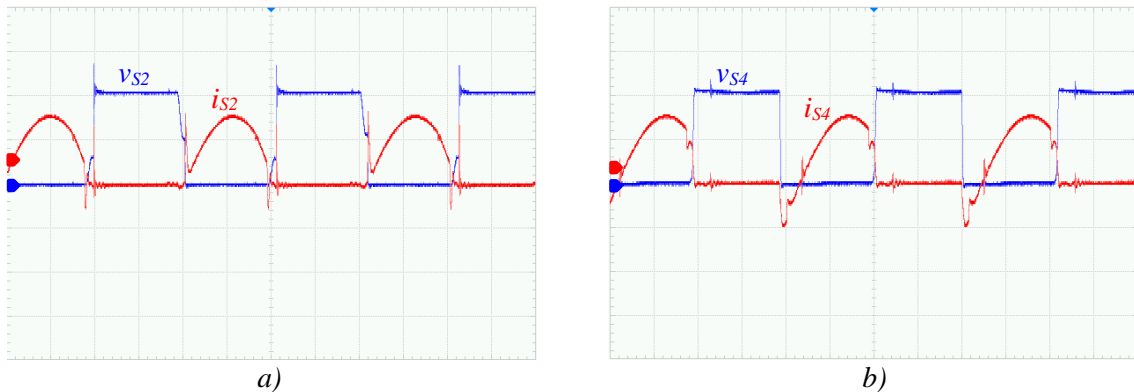


Figure 11. The voltage and current of M_2 and M_4 for 10 A (CH1: 100 V, CH2: 2 A and M: 2 μ s), a) the voltage and current of M_2 , b) the voltage and current of M_4

The results summarizing the operation of PSM controlled converter for the different output currents are given in Table 3.

Table 3. Operation parameters of PSM controlled converter

V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	Efficiency (%)	$\Delta V_o / V_o$ (%)	I_{Lm} (A)	Φ Phase Angle ($^\circ$)	Switch Stresses (V)
200	0.415	14.1	4.04	68.631	3.9	1.95	118.77	340
200	0.625	17.5	5.04	70.56	4	2.4	105.84	320
200	0.855	20.9	6.02	73.578	4.7	2.6	92.31	320
200	1.13	24.4	7.03	75.899	4.9	2.9	77.77	320

200	1.449	28.2	8.05	78.333	5.1	3.02	62.21	300
200	1.72	31.2	9.05	82.081	5.9	3.46	47.47	310
200	1.982	33.8	10.06	85.779	6.8	3.3	30.52	260

As the output current decreases from 10 A in PSM, the switch stresses increase and the efficiency decreases due to disappeared ZVS conditions of the switches (M_1 , M_2) on the left arm.

3.3. Pulse Density Controlled Converter

The frequency of PDM control signal is 8.22 kHz and the switching frequency is 120 kHz. Two pair speed PWM modules and four output pins of DSC and the additional logic circuitry are used to obtain gate signals of the power switches. The inverter voltage and current waveforms of PDM controlled converter for different output currents are given in Figure 12.

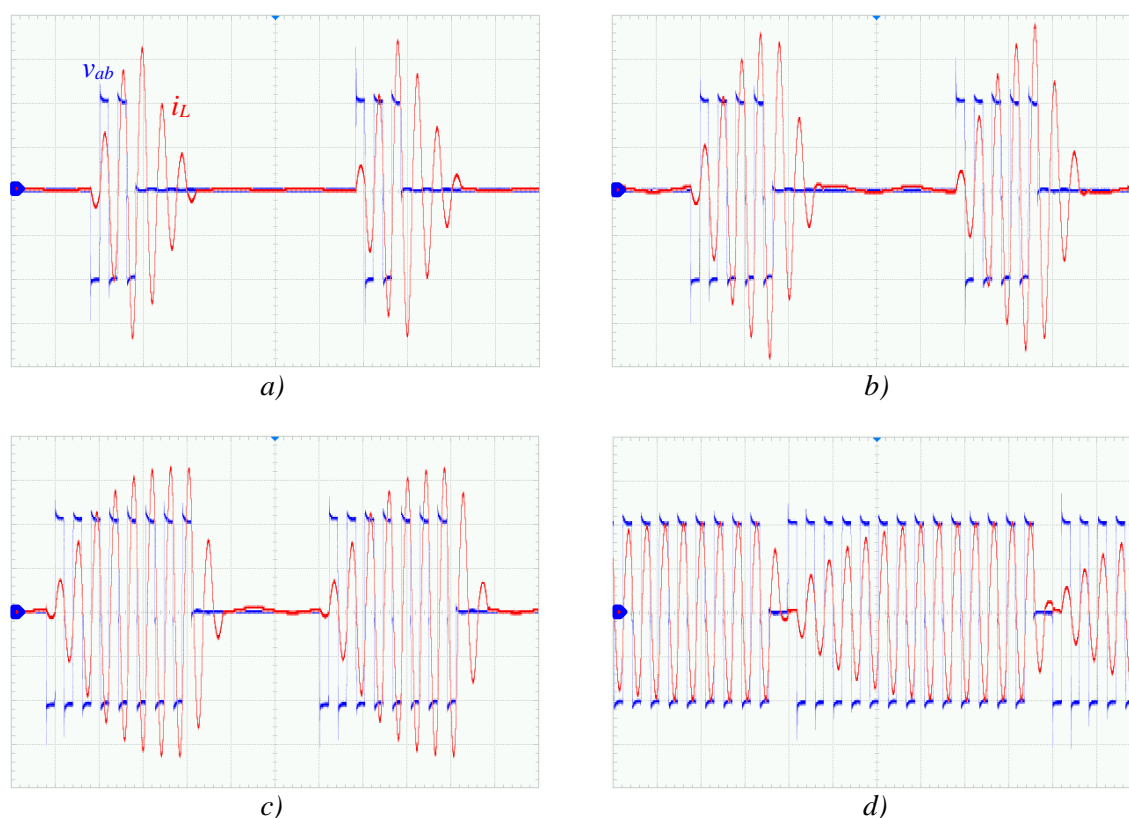


Figure 12. The inverter voltage and current of PDM controlled converter for the different output currents (CH1: 100 V, CH2: 2 A and M: 20 μ s), a) 4 A, b) 6 A, c) 8 A, d) 10 A

Although the switching frequency is selected above the resonance frequency to guarantee ZVS, in the first three cycles of the duty period of PDM, the current is not lagging and so soft switching conditions are disappeared. Therefore, the voltage stress on the ends of the power switches increases. The voltage and current waveforms of the switch M_4 are given in Figure 13 for 10 A. The zoomed version of the part shown with dashed lines in Figure 13a is given in Figure 13b.

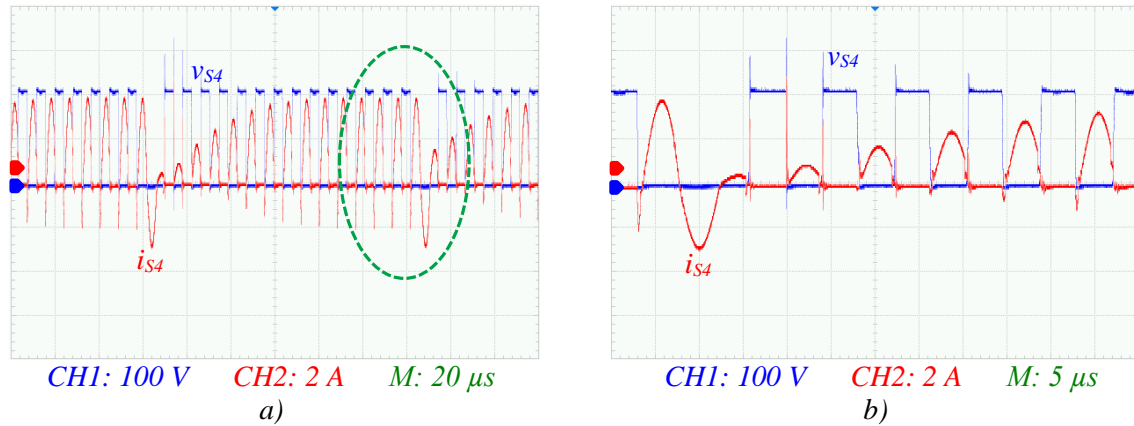


Figure 13. The voltage and current of M_4 for 10 A, a) the voltage and current of M_4 , b) the zoomed voltage and current of M_4

The results summarizing the operation of PDM controlled converter for the different output currents are given in Table 4.

Table 4. Operation parameters of PDM controlled converter

V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	Efficiency (%)	$\Delta V_o / V_o$ (%)	I_{Lm} (A)	Duty Ratio (D)	Switch Stresses (V)
200	0.397	13.60	4.02	68.86	6.6	7	0.16	330
200	0.580	17.00	5.02	73.57	5.8	8	0.22	340
200	0.800	20.50	6.05	77.52	6.8	7.6	0.3	300
200	1.060	23.80	7.03	78.92	6.3	7.6	0.39	335
200	1.333	27.20	8.03	81.93	6	6.7	0.53	300
200	1.610	30.50	9.04	85.63	5.9	5.2	0.68	300
200	1.930	33.80	10.02	87.74	6.2	4.2	0.93	310

The peak value of the current of PDM controlled converter is approximately three times higher than FM and PSM, especially for low output currents.

3.4. Comparison of The Control Techniques

The efficiency, output voltage ripple, current peak value and switch voltage curves versus the output current of the converter controlled separately by three techniques from 4 A to 10 A are given in Figure 14.

The results obtained from the studies and the curves in Figure 14 are presented comparatively as follows.

- While the highest efficiency is obtained with FM, the technique with the lowest converter efficiency is PSM.
- The technique with the lowest output voltage ripple is FM.
- While FM is the technique with the lowest peak value of the current, it is much higher in PDM compared to FM and PSM.
- The switch voltage stresses of FM controlled converter are lower compared to PSM and PDM controlled converter.
- In FM, the switches are turned on with ZVS in a wide range of the output current. In PDM, while ZVS conditions cannot be satisfied in the first cycles of the control signal, the switches are turned on under ZVS conditions in the following cycles. When the current is leading in PSM, ZVS conditions are disappeared for the two switches on the left arm.

- While FM is the simplest and easiest technique for implementation, PDM is the most difficult one.
- Among the techniques, while FM has the least hardware, PDM has the most hardware because it requires the additional logic circuits other than DSC.
- In terms of the power control, PDM has disadvantages according to the other two techniques because the resolution of the output power depends on the frequency of the control signal and audible sounds are produced when the frequency of the control signal is selected below 20 kHz.

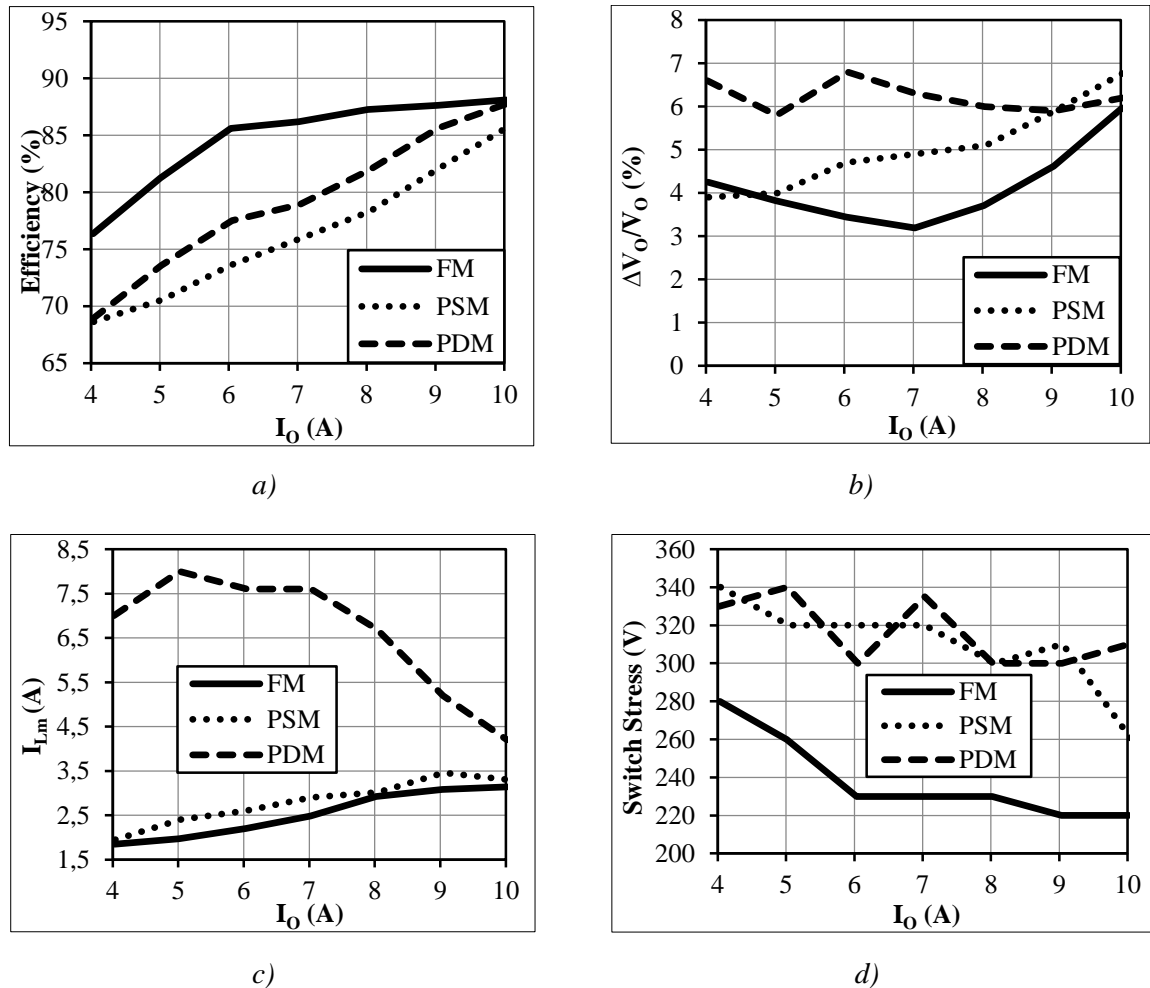


Figure 14. The efficiency, output voltage ripple, current peak value and switch voltage curves versus the output current, a) efficiency, b) output voltage ripple c) current peak value, d) switch voltage stresses

The summary of the examinations and comparisons for the three techniques is given in Table 5.

Table 5. Comparison of FM, PSM and PDM

Comparison Futures	Control technique		
	FM	PSM	PDM
Application ease	Simple	Medium	Difficult
Efficiency	High	Low	Low
Hardware structure	Simple	Medium	Complex
Switch voltage	Low	High	High
Soft switching	Moderate	Poor	Moderate
Output voltage ripple	Low	High	High
Resonance current	Low	Medium	High
Operating frequency	Variable	Fixed	Fixed
Dynamic response	Fast	Fast	Slow

As can be seen from Table 5, there is no control technique that meets the positive aspects of all comparison parameters.

4. CONCLUSIONS

In the present study, full-bridge SRC, one of the basic applications of load resonant converters, is designed and built to compare FM, PSM and PDM control techniques. The converter is individually controlled by each of these techniques for different output currents. Except for the additional logic circuit of the PDM, the control of the converter by FM, PSM and PDM is performed via the low-cost DSC. As a result of the control processes repeated with each technique for different output currents, it is observed that these techniques affect the efficiency, the ripple level of the output voltage, the output response speed, the operation under soft switching conditions, the operating frequency, the power control and power switches selection of the converter. The advantages and disadvantages of these techniques, which are compared in many ways, are also determined. Consequently, although FM performs the power control by varying the switching frequency in a wide range, it is more advantageous than PSM and PDM in many ways. In future studies, the hybrid techniques combining the advantages of each technique can be used to control the converter and compared with FM, PSM and PDM techniques.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Karabük University Research Fund (KBUBAP-17-DR-264).

REFERENCES

- [1] Youseff, M.Z., Jain, P.K. (2004). A review and performance evaluation of control techniques in resonant converters. The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 215-221.
- [2] Aboushady, A. A., Ahmed, K. H., Finney, S. J., Williams, W. (2013). Linearized large signal modeling, analysis and control design of phase-controlled series-parallel resonant converters using state feedback. IEEE Transactions on power electronics, 28(8), 3896-3911.
- [3] Özbay, H., Karafil, A., Öncü, S. (2021). Sliding mode PLL-PDM controller for induction heating system. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2021(29), 1241-1258.

- [4] Karafil, A., Özbay, H., Öncü, S. (2021). Comparison of regular and irregular 32 PDM patterns for induction heating. *IET Power Electronics*, 14(1), 78-89.
- [5] Chen, Y., Xu, J., Wang, Y., Lin, L., Cao, J. (2019). A dual-carrier modulation technique for half-bridge resonant converter with wide soft-switching range. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (1), 223-232.
- [6] Chen, Y., Xu, J., Gao, Y., Lin, L., Cao, J., Ma, H. (2019). Analysis and design of phase-shift pulse-frequency modulated full bridge LCC resonant converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(2), 1092-1102.
- [7] Guo, B., Zhang, Y., Zhang, J., Gao, J. (2018). Hybrid control strategy of phase-shifted full-bridge LLC converter based on digital direct phase-shift control. *Journal of Power Electronics*, 18(3), 802-816.
- [8] Zhou, Y., He, X., Shenge, L. (2021). Full-bridge resonant converter with hybrid control for wide input voltage range applications. *Journal of Power Electronics*, 21(1), 269-281.
- [9] Hu, S., Li, X., Bhat, K.S. (2019). Operation of a bidirectional series-resonant converter with minimized tank current and wide ZVS range. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(1), 904-915.
- [10] Li, G., Xia, J., Wang, K., Deng, Y., He, X., Wang, Y. (2019). Hybrid modulation of parallel-series LLC resonant converter and phase shift full-bridge converter for a dual-output DC-DC converter. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 7(2), 833-842.
- [11] Zhu, J., Qian, Q., Lu, S, Sun, N. (2019). Phase-shift triple full-bridge ZVZCS converter with all soft switched devices. *Journal of Power Electronics*, 19(6), 1337-1350.
- [12] Choi, J., Jung, J. (2020). Hybrid modulations strategy of three-phase dual-active-bridge converter to improve power conversion efficiency under light load conditions in LVDC applications. *Journal of Power Electronics*, 20(4), 894-903.
- [13] Calleja, H., Pacheco, J. (2000). Frequency spectra of pulse-density modulated waveforms. 7th IEEE International Power Electronics Congress, 223-228.
- [14] Fujita, H., Akagi, H. (1996). Pulse-density-modulated power control of a 4 kW, 450 kHz voltage-source inverter for induction melting applications. *IEEE Transaction on Industry Applications*, 32(2), 279-286.
- [15] Nagarajan, B., Sathi, R.R. (2015). Phase locked loop based pulse density modulation scheme for the power control of induction heating applications. *Journal of Power Electronics*, 15(1), 65-77.
- [16] Esteve, V., Sanchis-Kilders, E., Jordan, J., Dede, E.J., Cases, C., Maset, E., Ejea, J.B., Ferreres, A. (2015). Enhanced pulse-density-modulated power control for high-frequency induction heating inverters. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 62(11), 6905-6914.
- [17] Hammouma, C., Zeroug, H., Attab, A. (2018). Combined PDM with frequency-temperature profile adaptation control for induction metal hardening. 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 3485-3490.
- [18] Herasymenko, P., Hutsaliuk, V., Pavlovskiy, V., Yurchenko, O. (2017). A software phase-locked loop of control system of a series-resonant voltage-source inverter for induction heating equipment. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, 384-389.
- [19] Sandali, A., Cheriti, A., Sicard, P (2004). Comparison of the various PDM control modes. 2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 574-579.

- [20] Fan, M., Shi, L., Yin, Z., Li, Y. (2017). A novel pulse density modulation with semi-bridgeless active rectifier in inductive power transfer system for rail vehicle. *CES Transaction on Electrical Machines and Systems*, 1(4), 397-404.
- [21] Liu, Y. (2007). Design and implementation of an FPGA-based CCFL driving system with digital dimming capability. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(6), 3307-3316.
- [22] Oncu, S., Karafil, A. (2017). Pulse density modulation controlled converter for PV sytems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 17823-17830.
- [23] Park, N., Lee, D., Hyun, D. (2007). A power-control scheme with constant switching frequency in class-D inverter for induction-heating jar application. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 54(3), 1252-1260.
- [24] Li, Y., Zhang, K., Yang, S. (2019). Multimode hybrid control strategy of LLC resonant converter in applications with input voltage range. *Journal of Power Electronics*, 19(1), 201-210.
- [25] Suryawanshi, H.M., Pachor, S., Ajmal, T., Talapur, G.G., Sathyan, S., Ballal, M.S., Borghate, V.B., Ramteke, M.R. (2018). Hybrid control of high-efficient resonant converter for renewable energy system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(5), 1835-1845.
- [26] Yeh, C., Chen, C., Lee, M., Lai, J. (2019). A hybrid modulation method for single-stage soft-switching inverter based on series resonant converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(6), 5785-5796.
- [27] Sabate, J.A., Lee, F.C.Y. (1991). Offline application of the fixed-frequency clamped-mode series resonant converter. *IEEE Transaction on Power Electronics*, 6 (1), 39-47.
- [28] Aboushady, A.A., Ahmed, K.H., Finney, S.J., Williams, B.W. (2010). Steady-state analysis of full-bridge series resonant converter with phase-shift and frequency control. *5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives*, 1-6.
- [29] Cavallaro, C., Cecconi, V., Chimento, F., Musumeci, S., Santonocito, C., Sapuppo, C. (2007). A Phase-Shift full bridge converter for the energy management of electrolyser systems. *IEEE International Symposium*, 2649-2654.
- [30] Török, L., Nielsen, C.K., Munk-Nielsen, S., Romer, C., Flindt, P. (2015). High-efficiency electrolyzer power supply for household hydrogen production and storage systems. *17th European Conference on Power Electronics and Applications*, 1-9.
- [31] Babu, R.S.R., Henry, J. (2012). A Comparative Analysis of DC-DC Converters for Renewable Energy System. *Proceedings of the international Multi conference of Engineers & Computer Scientists*, 1020-1025.

Efficiency and Performance Comparison Between Synchronous Reluctance and Induction Motor in Axial Flux Concept

Harun Serhat GERÇEKÇİOĞLU*  Mehmet AKAR 

Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechatronics Engineering, 60150, Taşlıçiftlik/TOKAT

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received:06/04/2021
Revision:18/04/2021
Accepted:11/05/2021

Highlights

- Motor Design.
- Axial Flux.
- Finite Element Method.

Keywords

Synchronous Reluctance
Axial Flux Motor
Finite Element Method

Efficiency, power density and cost play an important role in motors used in low-power industrial applications. In today's world, where the importance of energy efficiency and compact structure is increasing day by day, the Axial Flux Synchronous Reluctance Motor (AF-SynRM) design, which is a unique motor with no copper loss in its rotor and compact with its axial structure, has been compared with the Axial Flux-Induction Motor (AF-IM) with the same stator structure.

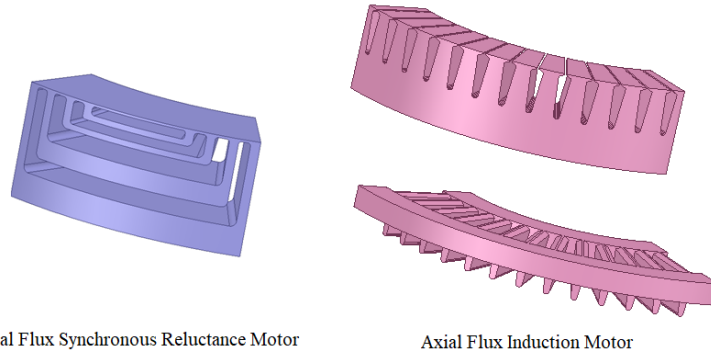


Figure A. Rotor parts of two motors (AF-SynRM and AF-IM) with the same stator structure.

Purpose: In this study, in two motors with the same stator structure and dimensions; In AF-IM and AF-SynRM, only the rotor part has been changed and the change in output parameters has been examined.

Theory and Methods: In the preliminary study of the designs, the motor dimensions were calculated analytically and modeled with the 3D Finite Element Method (FEM). To optimize the saliency ratio, which is the most important factor affecting AF-SynRM performance, a Genetic Algorithm (GA) based optimization was made and the rotor geometry was changed.

Results: In comparison, the outer diameter, inner diameter and stator parameters are the same, and the motor efficiency has been increased proportionally by 8.53% with only rotor change, and it has been increased from IE3 to IE4 standards. At full load, the AF-SynRM produced 23.2% more power than the AF-IM

Conclusion: Considering the total losses, costs and efficiency values, the AF-SynRM design will be an alternative to the AF-IM compared with reference. In future studies, experimental comparison of AF-SynRM, which goes through production processes, with AF-IM will also be possible. In addition, designs of AF-SynRM with permanent magnets can also be designed and the comparison procedure can be repeated.



Efficiency and Performance Comparison Between Synchronous Reluctance and Induction Motor in Axial Flux Concept

Harun Serhat GERÇEKÇİOĞLU* Mehmet AKAR

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 60150, Taşlıçiftlik/TOKAT

Abstract

In this study, the Axial Flux Synchronous Reluctance Motor (AF-SynRM) with multiple barriers in its rotor is designed and it is aimed to compare the performance with the Axial Flux Induction Motor (AF-IM) with the same stator structure and dimensions. For an equal comparison, the motor dimensions and stator structure are chosen the same, only the rotor is changed. In the preliminary study of the designs, machine dimensions are calculated analytically and modeled with the 3D Finite Element Method (FEM). To optimize the saliency ratio, which is the most important factor affecting AF-SynRM performance, Genetic Algorithm (GA) based optimization is performed and the rotor geometry is changed. Thus, a suitable model is created for comparison. Torque, efficiency, input power, power factor, total losses and torque per ampere parameters are analyzed. With the proposed comparison method, AF-SynRM obtains higher efficiency, power, torque per ampere and lower losses than AF-IM at the same power rating (2.2 kW). The AF-SynRM rotor will be a good alternative in applications where high efficiency and torque are required, with low cost-maintenance costs due to the absence of a squirrel cage and its structure without magnet.

Eksenel Akı Konseptindeki Senkron Relüktans ve İndüksiyon Motor'un Verim ve Performans Karşılaştırması

Öz

Bu eserde, rotorunda çoklu sayıda bariyere sahip Eksenel Akı Senkron Relüktans Motor (EA-SRM) tasarımı yapılarak, aynı stator yapısı ve boyutlara sahip Eksenel Akı İndüksiyon Motor (EA-IM) ile performans karşılaştırması yapmak amaçlanmıştır. Eşit bir karşılaştırma olabilmesi için motor ölçüleri ve stator yapısı aynı seçilmiş, sadece rotor değişimi yapılmıştır. Tasarımların ön çalışmasında motor ölçüleri analitik olarak hesaplanmış ve 3D Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile modellenmiştir. EA-SRM performansını etkileyen en önemli faktör olan çıkıntı oranını optimal düzeye getirmek için Genetik Algoritma (GA) tabanlı optimizasyon yapılmış ve rotor geometrisi değiştirilmiştir. Böylece karşılaştırma için uygun model oluşturulmuştur. Tork, verim, giriş gücü, güç faktörü, toplam kayıplar ve akım başına tork parametreleri analiz edilmiştir. Önerilen karşılaştırma metodu ile EA-SRM aynı güç değerindeki (2.2 kW) EA-IM den daha yüksek verim, güç, amper başına tork ve daha düşük kayıplar elde edilmiştir. Karşılaştırmada dış çapı, iç çapı ve stator parametreleri aynı olup sadece rotor değişimi ile motor verimi oransal olarak %8.53 artarak, IE3'ten IE4 standartlarına çıkarılmıştır. Tam yükte EA-SRM de, EA-IM den %23.2 fazla güç üretilmiştir. EA-SRM rotorunda sincap kafesi bulunmaması sebebiyle bakır kayıplarının olmaması ve mıknatıssız yapısıyla maliyet-bakım masraflarının düşüklüğü, yüksek verim ve tork istenilen uygulamalarda iyi bir alternatif olacaktır.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 06/04/2021
Düzeltilme: 18/04/2021
Kabul: 11/05/2021

Keywords

Synchronous Reluctance
Axial Flux Motor
Finite Element Method

Anahtar Kelimeler

Senkron Relüktans
Eksenel Akı Motor
Sonlu Elemanlar Yöntemi

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya genelinde üretilen enerjinin %40 ı sanayi uygulamalarında kullanılan elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. AB ülkelerinde ise elektrik motorları ve sistemleri endüstrinin önemli bir parçası halindedir ve üretilen enerjinin %70 i elektrik motorları ve sistemleri tarafından tüketilmektedir [1-2]. IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) 'nın 2020 yılı küresel enerji inceleme raporunda dünya enerji

tüketiminin yıllık ortalama %3 arttığı ayrıca yenilenebilir kaynaklardan (su, rüzgâr ve güneş) üretilen elektrik üretiminin de %7 arttığı belirtilmiştir [3]. Gelecek yıllardaki enerji tüketimi artışı ve verim talebi senaryoları da incelendiğinde, son yıllarda yüksek verimli elektrik motoru tasarımlarına ihtiyaç olduğu görülmüş ve çalışmalar yapılmıştır. Endüstride en çok kullanılan ve en büyük market payına sahip Üç Fazlı Sincap Kafesli İndüksiyon Motorlar üzerinde geliştirmeler yapılmıştır fakat rotor kayıplarının bulunması, alternatif ve daha verimli motor tiplerine yönelmeyi gerektirmiştir [4]. Böylece rotor kayıplarından arındırılmış Senkron Relüktans Motor (SRM) tasarımları incelenmiş ve dikkate alınmıştır. SRM ler uzun zaman boyunca düşük performansları dolayısıyla önemsenmemiştir. Özellikle şebeke kalkışı için kullanılan sincap kafesi içeren tasarımlar dikkat çekmemiştir. Fakat son yıllarda gelişen güç elektroniği ve sürücü sistemleri ile sincap kafesi bulunmayan tasarımlar çalışılmış ve performansları ile dikkat çekmiştir. Özellikle geleneksel AC motor ve senkron motorlar ile aynı tip stator kullanımı önemli bir fayda sağlamıştır.

Bu çalışmada aynı stator yapısı ve boyutlara sahip iki motorda; Eksenel Akılı İndüksiyon Motor (EA-IM) ve Eksenel Akılı Senkron Relüktans Motor (EA-SRM), sadece rotor değişimi ile çıkış parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Beş bölümden oluşan bu eserde birinci bölüm Giriş kısmıdır. İkinci bölümde İndüksiyon ve Senkron Relüktans Motorlar üzerinde bilgi verilmiş olup Eksenel Akılı modelleri üzerine literatür taramaları yapılmıştır. Üçüncü bölümde eksenel akılı motorlar için boyutlandırma Denklemlerine yer verilmiş olup, stator ve rotor tasarımları için detaylandırılmıştır. Dördüncü bölüm, analitik olarak hesaplanmış modellerin Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak tasarlanması, analiz edilmesi ve karşılaştırmasını içermektedir. Son olarak Sonuç kısmı sunulmuştur.

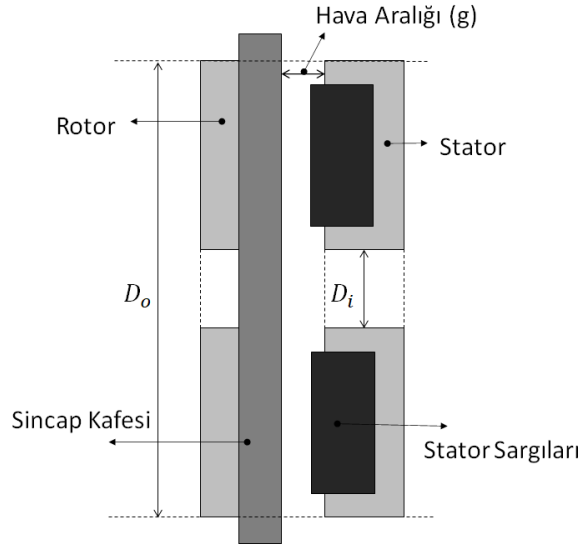
2. İNDÜKSİYON VE SENKRON RELÜKTANS MOTORLAR (INDUCTION AND SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTORS)

İndüksiyon ve Senkron Relüktans Motorlar ile ilgili yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, geleneksel modelleri yani radyal akılı modelleri kullanılmıştır [5-8]. 2.2 kW, 4kW, 5.5kW ve 15 kW güçlerindeki motorlar karşılaştırılmış verim, tork ve tork dalgalanması parametrelerinde radyal akılı SRM'nin üstün olduğu gösterilmiştir. Günümüzde elektrikli araçlar ve ev tipi uygulamalarda kullanılacak motorlarda hacim önem kazanmıştır. Bu sebeple eksenel akılı motor kavramı üzerine çalışmalar artmış olup: geniş yarıçap/uzunluk oranı, düzlemsel ve ayarlanabilir hava aralığı, daha yüksek güç yoğunluğu, daha küçük hacim ve ağırlık, yüksek frekans ve düşük hızlara uygunluk ve yüksek verim gibi özellikleri ile radyal akılı motorlardan öne çıkmaya başlamıştır [9-18].

2.1. Eksenel Akılı İndüksiyon Motorlar (Axial Flux Induction Motors)

Eksenel akılı motorların kullanımı düşünüldüğünde, sanayide en çok kullanılan radyal akılı indüksiyon motorların eksenel tasarımları da çalışılmıştır. Eksenel akılı indüksiyon motorlar radyal akılı indüksiyon motorlar ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Temelde eksenel akı, rotor çubuklarının üzerine güç uygular ve Lenz kanunu ile rotorda indüklenen EMF nin en düşük olduğu yöne hareket ettirir. Elektromanyetik tork, motor çapının etkisinin üzerinde bir etki ile üretilir ve konveksiyonel motorlardaki gibi sabit bir çap oranına bağlı değildir. Çünkü elektrik ve manyetik devrelerin hesaplamaları çap uzunluğunun bir fonksiyonudur. Örnek olarak yan taraftan görünüşe sahip EA-IM Şekil 1 de gösterilmiştir [15].

EA-IM'ler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Geleneksel stator-rotor yapısından farklı olarak çift stator-tek rotor ve çift stator-çift rotor yapısındaki tasarımlar incelenmiştir. Bu yapılar ile eksenel akılı motorlardaki manyetik çekimin azaltıldığı gözlenmiştir. Rotor oluk sayısının fazla olması ve stator sargı yapılarının değişimi ile tork ve verim parametrelerinde olumlu etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Mıknatıslı senkron motorlar ile de karşılaştırmalar yapılmıştır. EA-IM'de daha düşük tork yoğunluğu-verim değerleri olmasına rağmen mıknatısların demagnetize olma ihtimali de değerlendirilmiştir. Tasarımlarda eğik kısa devre çubuklarının gözlenebilmesi ve tork dalgalanmasının değerlendirilmesi istendiği durumlar için 3D SEY kullanılması gerektiği belirtilmiştir [11-22, 29].

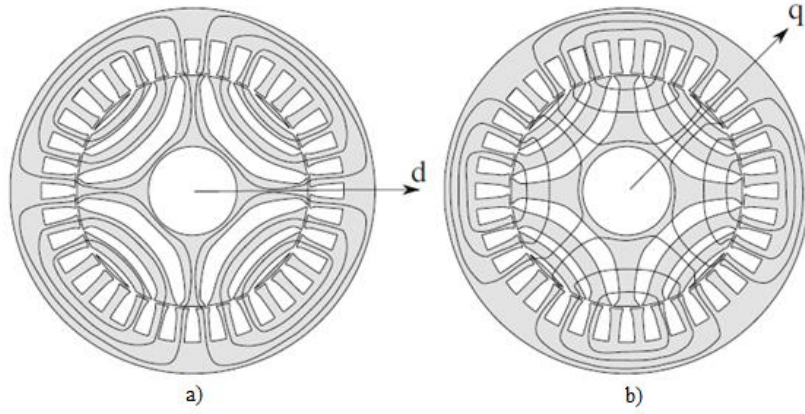


Şekil 1. EA-IM yandan görünüşü

EA-IM' ler ayarlanabilir hava aralığı, iyi güç-ağırlık ve çap-uzunluk oranı, kompakt yapısı, iyi verimi ve özellikle yüksek kutup sayısı kullanılabilirliği ile fanlar, tekerlek uygulamaları, pompalar, ev aletleri ve elektrik araçlarında geleneksel motorlara göre alternatif olabilmektedir. EA-IM ile aynı güç değerinde bir radyal akıllı indüksiyon motor (RA-IM) karşılaştırıldığında: stator bakır kayıpları, stator demir kayıpları ve rotor bakır kayıpları açısından avantajlı görünse de rotor eddy akımı kayıplarının fazla olması dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların dışında motor paket uzunluğu olarak neredeyse radyal akıllı bir motorun yarısı kadardır. EA-IM ler yüksek hızlı uygulamalar için RA-IM ler kadar uygun değildir. Bunun sebebi indüksiyon motorların çalışma prensibi dolayısıyla en verimli modelleri 2 veya 4 kutuplu olanlarıdır. EA-IM lerde kısa rotor ve geniş çap dolayısıyla yüksek hızlarda aşırı sürtünme kayıpları olacağından, rotor çekirdeğinin mekanik dayanımı yetersiz görünmektedir. EA-IM ler diğer eksenel akıllı motorlarda da karşılaşılan, kuvvetli eksenel manyetik çekime sahip olması dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır [19,29].

2.2. Eksenel Akıllı Senkron Relüktans Motorlar (Axial Flux Synchronous Reluctance Motors)

Son zamanlarda birçok uygulamada kullanılan AC motorlar arasında, radyal akıllı senkron relüktans motorlar (SRM): Rotorunda kafes bulunmadığı için bakır kaybı olmaması, yüksek verimi, sağlam yapıları, yüksek tork yoğunluğu ile öne çıkmaktadır. Elektrik motorlarındaki yüksek verim IE4 sınıfına giren bu tasarımlar, sanayide en çok kullanılan asenkron motorların yerine almaya aday haline gelmiştir [30-36]. Senkron relüktans motorlar, rotorlarında bulunan bariyer yapıları ile manyetik geçirgenlik farkları bulunan iki eksen arasındaki akı farkı tork üretimindeki önemli bir parametredir. Rotorda iki farklı akı yolu vardır. Birincisi yüksek geçirgenlikli Şekil 2.a da gösterilmiştir ve d-ekseni yönü olarak tanımlanmıştır. Diğeri ise düşük geçirgenlikli Şekil 2.b de gösterilen ve q-ekseni yönü olarak isimlendirilmiştir [22]. d-ekseni endüktansı (L_d) ve q-ekseni endüktansı (L_q) farkını bariyer yapısı değiştirilerek artırmak, tork değerini de artırmaktadır. Bu sebeple rotor tasarımı öne çıkmaktadır. Rotora ilave edilen mıknatıslar ile tork vb. kapasitesi artırabilir olmasına rağmen demagnetizasyon gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca mıknatıssız tasarımlar maliyet olarak düşüktür. Sonlu elemanlar yöntemi analizleri ve optimizasyonları ile tork, tork ripple, verim ve çıkıntı oranı gibi değerlerde iyileştirmeler yapılarak performansları artırılabilir.

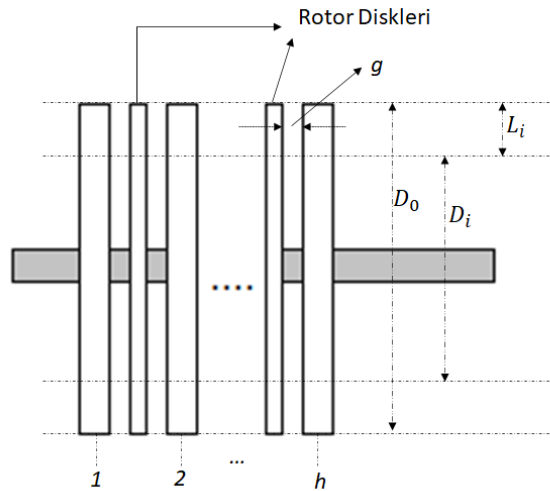


Şekil 2. SRM ve akı yolları a)yüksek geçirgenlik b)düşük geçirgenlik

Rotor kayıplarından arındırılmış radyal akılı SRM ler için yeni bir yaklaşım olan EA-SRM'ler (disk tipi motorlar) örnek olarak otomotiv alanındaki boyut sıkıntısı yaşanan uygulamalarda (fan v.b. içerdiğinde büyük boyutlu), kompakt yapısı ve yüksek güç/tork yoğunluğu ile radyal akılı motorların karşısında alternatif olarak yer almaktadır. Radyal akılı SRM ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen EA-SRM çalışmaları çok az sayıdadır. 3D SEY ile oluşturulmuş tasarımlarda stator için konsantre sargılar tercih edilmiştir. SRM, mıknatıslı SRM ve mıknatıslı EA-SRM ile karşılaştırılmıştır. Üstün yönleri belirtilmiş ve üretilebilirliği tartışılmıştır [23-25]. Bir başka çalışmada ise 2.2 kW-1500 d/d-8 kutuplu EA-SRM prototipi tasarlanmış, rotor geometrisi üzerine detaylı çalışılmış ve üretilmiştir. Similasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında sonuçların örtüştüğü görülmüştür. EA-SRM'nin 60034-30-1:2014 IE4 Süper Premium verim sınıfına sahip olduğu belirtilmiştir [26].

3. BOYUTLANDIRMA EŞİTLİKLERİ (SIZING EQUATIONS)

Boyutlandırma Denklemleri, aksel akılı motor denklemleri kullanılarak yapılmıştır. Aksel yapılı bir motor olduğu için stator ve rotor dış-iç çapları eşit olacaktır. Aksel akılı motorlarda stator ve rotor tasarımı, indüksiyon ve senkron motorlardaki silindirik yapı baz alınarak yapılmaktadır. Belirlenen parametreler sabit manyetik devre hesaplama yöntemiyle stator ve rotor iç çapı, dış çapı ve kalınlıkları aksel yapı dikkate alınarak hesaplanmıştır [27-28]. Aksel akılı motorların genelleştirilmiş gösterimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Aksel Akılı Senkron Motor (EA-SM) genelleştirilmiş gösterimi

Şekil 3'te D_o , D_i , L_i , g ve h ifadeleri stator dış çapı, iç çapı, etkin boyu, hava aralığı ve stator sayısı EA-SM'ler de diğer önemli parametreler stator ortalama çapı D_{av} ve kutup aralığı ortalama çapıdır (τ).

$$D_o = \sqrt[3]{\frac{\varepsilon P_{out}}{\pi^2 k_D k_{\omega 1} n_s B_{mg} A_m \eta \cos \varphi}} \quad 1$$

$$D_i = k_d D_o \quad 2$$

$$D_{av} = 0.5(D_o + D_i) \quad 3$$

$$\tau = \frac{\pi D_{av}}{2p} \quad 4$$

$$k_D = \frac{1}{8}(1 + k_d)[1 - (k_d)^2] \quad 5$$

Verilen denklemlerde ε emf-faz gerilimi oranıdır, P_{out} çıkış gücü, k_D ifadesi D_i/D_o oranı ile ilgili bir katsayıyı ifade etmektedir, $k_{\omega 1}$ sargı faktörü, n_s rotor hızı, B_{mg} hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunu tepe değeri, A_m hat akım yoğunluğunun tepe değeri, η verim, $\cos \varphi$ güç faktörünü göstermektedir. k_d ise stator iç çapının dış çapına oranıdır. Hava aralığında indüklenen akımın, sinüsoidal dağılmış stator akımı nedeniyle sinüsoidal olarak dağıldığı varsayılırsa, her fazdaki akımlar Denklem 6, 7 ve 8 de ve üç fazın toplam akımı Denklem 9'daki gibidir [28].

$$Faz A : \hat{i} \cos \omega t \frac{N_s}{2} \sin p\theta d\theta \quad 6$$

$$Faz B : \hat{i} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \frac{N_s}{2} \sin(p\theta - \frac{2\pi}{3}) d\theta \quad 7$$

$$Faz B : \hat{i} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \frac{N_s}{2} \sin(p\theta + \frac{2\pi}{3}) d\theta \quad 8$$

$$\frac{3}{2} I \sqrt{2} \frac{N_s}{2} \sin(p\theta - \omega t) d\theta \quad 9$$

I akımın rms değeridir ve \hat{i} akımın tepe değeridir. N_s seri sarım, p kutup çifti sayısıdır. Uygun denklemler belirtildikten sonra tek stator için temel tork değeri ifadesi Denklem 10 da verilmiştir.

$$T_1 = \frac{3}{8} \sqrt{2} \pi B_{g1} N_s I (r_o^2 - r_i^2) \sin(\beta) \quad 10$$

Tork ifadesindeki r_o ve r_i stator dış ve iç çaplarıdır ve β senkron makinadaki tork açısıdır. Denklem 12 de N_{ph} her fazdaki seri sarım sayısıdır. Aynı şekilde tork eşitliği yeniden yazılırsa;

$$N_s = \frac{4}{\pi} k_{\omega 1} N_{ph} \quad 11$$

$$T_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} \pi B_{g1} k_{\omega 1} N_{ph} I D_{av} L_i \sin(\beta) \quad 12$$

Tasarım formülleri sadeleştirmek için stator yüzeyi akım yoğunluğu katsayısını ifade eden ve Denklem 13 te verilen K_1 değeri eklenmiştir. Bu ifade genellikle düşük güçlü motorlar için 10000 A/m civarında ve orta güçlü motorlar için 40000 A/m civarı değerlerindedir. [28]

$$K_1 = \frac{3\sqrt{2} I_2 N_{ph}}{D_{av} \pi} \quad 13$$

Tek statorlu motorda tork ifadesi son halini alarak Denklem 14'te dönüşmektedir.

$$T_1 = \frac{1}{4} \pi B_{g1} k_{\omega 1} K_1 D_{av}^2 L_i \sin(\beta) \quad 14$$

Stator sayısı arttıkça tork ifadesi de her stator için hesaplanabilir. Benzer şekilde her fazda endüklenen EMF nin rms değeri de hesaplanabilir.

$$E_{ph} = \frac{\sqrt{2}}{2} B_{g1} \omega_m k_{\omega 1} N_{ph} D_{av} L_i \quad 15$$

Görünür güç S_{elm} bağlantı tipi ne olursa olsun Denklem 16'dan hesaplanabilir. h stator sayısını ifade etmektedir [28].

$$S_{elm} = 3hE_{ph}I = \pi \frac{h}{2} B_{g1} \omega_m k_{\omega 1} K_1 D_{av}^2 L_i \quad 16$$

Oluk kutup sayısı seçimi relüktans torku üretimi ve ortalama tork yoğunluğu için önemlidir. Oluk kutup kombinasyonu seçimi sargı faktörünü maksimize etmesi gereklidir [29]. Eksenel akılı senkron relüktans motor da çift katmanlı dağıtılmış sargılar seçilmiştir. Konsantre sargıların üretimi kolay ve bakır kayıpları küçük olmasına rağmen, yüksek relüktans torku için dağıtılmış sargılar tercih edilmektedir [25,30,32]. Bu sebeplerle 48 oluk ve 8 kutup yapısı tercih edilmektedir. Bu oluk-kutup uyumu ile yüksek relüktans tork sağlayacaktır fakat bu sargı seçimi ile tork dalgalanması da yüksek olacaktır. İleri bölümlerde bahsedilecek optimizasyon çalışmaları ile tork dalgalanması değeri düşürülmeye çalışılacaktır. Akım yoğunluğu J (A/m²) değeri 3-7 A/m² aralığında değişmektedir. Eğer sistemde ilave soğutma ekipmanları bulunursa bu değer yüksek seçilebilmektedir. Manyetik devrelerdeki akı yoğunluğu makinanın laminasyonunda kullanılan materyale bağlı olarak belirli değerler altında olmalıdır. Genellikle iyi tasarlanmış bir motorda stator dişlerindeki maksimum akı yoğunluğu değeri $0.2 T \leq B_{avg} \leq 0.8 T$ aralığında olmalıdır. SRM'ler amper başına maksimum tork ile çalıştırıldıklarında, dezavantajlarından olan düşük güç faktörü değerine sahiptirler. Çıkış geriliminin giriş gerilimine dönüşüm oranı 0.8-1 aralığında kabul edilmektedir. Stator oluk dolgu faktörü $k_{fill} = A_{cu}/A_{su}$ eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada A_{cu} toplam bakır alanını ve A_{su} ile stator oluk alanını ifade etmektedir. Dağıtılmış sargı tip kullanıldığında 0.6 değerinde dolgu faktörü kullanılabilir. Bu oran yalıtım kalınlığına ve iletkenlerin geometrisine göre de bağlı olarak değişebilmektedir. İç çapın dış çapa oranı k_d kutup sayısı ile doğru orantılı değişen bir değerdir. 8 kutuplu motorda bu değer 0.72-0.74 arası seçilmektedir [31]. EA-IM ve EA-SRM tasarımları için seçilen başlangıç değerleri ve stator oluk ölçüleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarım için seçilen başlangıç değerleri ve stator oluk ölçüleri

Parametreler	Tanım	Değer
P_o	Çıkış gücü	2.2 kW
n	Hız	1500 d/d
η	Verim	%90
$\cos \varphi$	Güç faktörü	0.7
p	Kutup çifti sayısı	4
B_{avg}	Ortalama manyetik akı yoğunluğu	0.65 T
A_m	Elektrik yükü	23000 A.turn/m
q_s	Her faz her kutuptaki oluk sayısı	2
J	Akım yoğunluğu	5 A/mm ²
k_{st}	Laminasyon faktörü	0.96
k_w	Sargı faktörü	0.933
k_{fill}	Dolgu faktörü	0.6
k_d	Stator iç-dış çap oranı	0.72
HS_0	Stator oluk girişi uzunluğu	1.5 mm
HS_1	Stator oluk girişi-boyunduruğu arası	1.5 mm
HS_2	Stator oluk yüksekliği	18.75 mm
BS_0	Stator oluk girişi genişliği	2.5 mm
BS_1	Stator oluk üst genişliği	6.5 mm
BS_2	Stator oluk alt genişliği	6.5 mm

3.1. Rotor Tasarımları (Rotor Designs)

Rotor oluk sayısı seçmek, tork dalgalanması, ilave kayıplar, radyal kuvvetler, gürültü ve titreşim değerlerini en aza indirmek için önemlidir. Yapılan çalışmalarda oluk sayısı eşleşmeleri ve performansları incelenmiştir [32-34]. Rotor çubukları eğik olmayan durumlarda, rotor çubukları çift sayıda seçilmelidir. Eğer stator oluk sayısı 48 seçilmişse en uygun rotor oluk sayısı 54 seçilmelidir. Bir başka çalışmada da rotor oluk sayısı 52 alındığında R=54 ile korelatif değerler çıkmıştır. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analizler yapıldığında analiz sonuçlarının hızlı alınması için EA-IM'nin ¼ modeli alınırsa R=52 daha uygun olacaktır. 4 kutuplu (p=4) için stator-rotor oluk eşleşmeleri Tablo 2'de gösterilmiştir [35].

Tablo 2. 4 kutuplu (p=4) IM için stator-rotor oluk eşleşmeleri

<i>p</i>	<i>R</i> (eğimli rotor çubukları-çift)	
4	22, 26, 30, 36, 38, 50, 52, 54, 58, ...	
4	<i>S</i> = 48	<i>S</i> = 72
	(eğik olmayan rotor çubukları – çift)	(eğik olmayan rotor çubukları – çift)
	30, 42, 50, 54, 58, 62, ...	42, 44, 46, 50, 58, 60, 82, ...

Rotor bar akımı Denklem 17'de gösterilmiştir.

$$\frac{K_1 2mN_1 K_{w1} I_a}{N_r} \quad 17$$

Bu Denklemden;

$$K_1 = 0.8 \cos \phi_n + 0.2 \quad 18$$

Yüksek verimde rotor barındaki akım yoğunluğu $j_b = 3.42 \text{ A/mm}^2$ alınabilir. Rotor kullanılabilir oluk alanı Denklem 18 ile hesaplanabilir.

$$A_b = \frac{I_b}{j_b} \quad 19$$

Şekil 4'te görülen uzunluklar aşağıdaki Denklemler yardımıyla hesaplanabilir. $l_r = 0.5 \text{ mm}$ ve $O_r = 1.5 \text{ mm}$ alınabilir. Rotor dişi genişliği b_{tr} Denklem 20'de ve rotor oluk dişi uzunluğu τ_r Denklem 21'de ifade edilmiştir. Rotor dişlerindeki akı yoğunluğu B_{tr} ifadesi radyal akılı motorlarda 1.5-2.2 T alınmaktadır. EA-IM de de aynı şekilde kullanılabilir [26,29].

$$b_{tr} = \frac{B_g}{K_{Fe} B_{tr}} \tau_r \quad 20$$

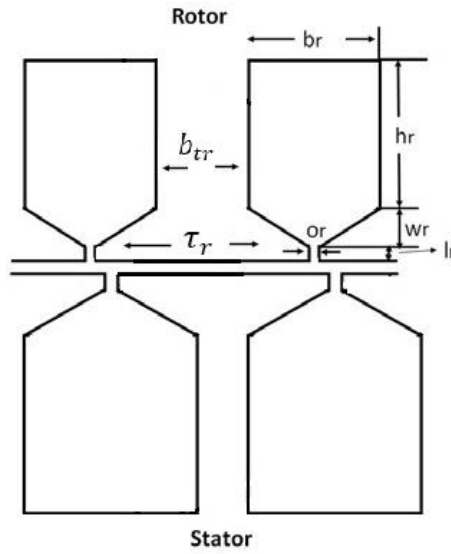
$$\tau_r = \frac{\pi(D_{in} - 2g)}{N_r} \quad 21$$

EA-SRM, rotor -d ve -q eksenlerindeki endüktans farkı ile relüktans torkunun oluşması konsepti ile çalışmaktadır. Rotor bariyerlerindeki özgün tasarım ile bu endüktans farkı maksimize edilmeye çalışılmış ve tork dalgalanması minimize edilmiştir. Yapılan optimizasyonlar ile rotor bariyerlerinin sayısı, genişlikleri, bariyer başlangıç açıları gibi değişkenler optimum şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak daha önceden yapılmamış ve özgün rotor topolojisi oluşturulmuştur. Motor da üretilen tork değeri Denklem 22'de verilmiştir [37].

$$T_{em} = \frac{3}{2} p (L_{md} - L_{mq}) i_{md} i_{mq} = \frac{3}{2} p (L_{md} - L_{mq}) I_m \sin(2\gamma) \quad 22$$

Denklem 22'de L_{md} ve L_{mq} -d ve -q eksenlerinde hava aralığındaki endüktansları, i_{md} ve i_{mq} -d ve -q eksenlerindeki stator akımlarını, I_m stator akımının vektör genliğini ve γ ise akım açısını ifade etmektedir. Görüldüğü üzere tork değeri rotorun yapısı ve geometrisi ile doğrudan ilişkilidir. EA-SRM rotor yapısındaki bariyer ve segmentlerin oranları yalıtım oranı (k_q) olarak isimlendirilmektedir [39].

$$k_q = \frac{l_a}{l_y} \quad 23$$



Şekil 4. EA-IM için rotor oluk geometrisi

l_a toplam bariyer genişliğini ve l_y ise toplam demir genişliğini ifade etmektedir. Burada amaç optimum tasarımı bularak torku maksimize etmek ve tork dalgalanmasını en aza indirmektedir. Literatürde radyal akıllı motorlar için k_q değerleri 0.4, 0.6, 1, 1.2 ve 1.5 gibi değerler alınarak çalışmalar yapılmıştır [31,38]. Rotor kutuplarında bulunan segment ve bariyerlerin açılmal olarak pozisyonları tork ve tork dalgalanmasında önemli parametrelerdir. Denklem 24'te " α " bariyerler arasındaki açıdır. " β " ise α açısının kontrolü için gerekli ilave yardımcı açıdır.

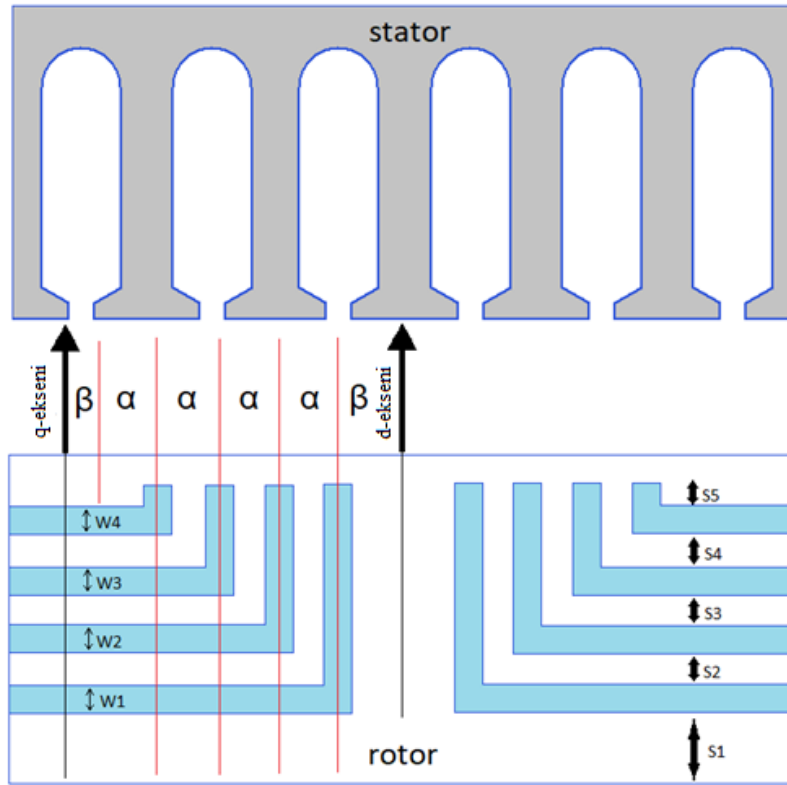
$$\alpha = \frac{\frac{\pi}{2p} - \beta}{n_{layer} + \frac{1}{2}} \quad 24$$

α açısı ile tork dalgalanması minimize edilebilmektedir. Optimizasyon çalışmaları ile β açısının da değişeceği çalışmalar ile gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda $\alpha = \frac{\beta}{2}$ alınarak hesaplamalar yapılabilmektedir [38]. Diğer önemli parametreler, bariyer ve segmentlerin kalınlıklarının hesaplarıdır. Şekil 5'te EA-SRM rotorun bir kutubundaki bariyer ve segmentleri örnek olarak gösterilmiştir.

Şekil 5'te segment genişliği " S " ile bariyer genişlikleri ise " W " ile gösterilmiştir. Segmentlerin hava aralığında oluşan MMF lerinin ortalama (p.u.) değerleri hesaplanmış, bir segmentten diğerine toplam akı farkı dikkate alınmıştır. Aynı yöntem ile bariyer genişliklerinin hesapları da her bariyer üzerindeki MMF farkı (Δf_k) ile yapılabilmektedir. Bu hesaplar sonrası her bir segment ve bariyerin kalınlıkları elde edilmiş olacaktır. Böylece yalıtım oranı k_q , l_y ve l_a oranları ile hesaplanıp elde edilebilir [15, 26, 31, 39].

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) TASARIMLARI VE ANALİZLERİ (FINITE ELEMENT METHOD (FEM) DESIGN AND ANALYSIS)

Tasarım metodolojisinde ilk olarak tasarım kriterleri belirlenmektedir. Daha sonra elektromanyetik tasarım olarak ifade edilen, içerisinde motor boyutlandırılması, optimizasyonu ve SEY analizini içermektedir [5]. Bu çalışmada stator tasarımı ve motor boyutları aynı olan motorların, rotor tasarımlarının farklılıkları ile motor performansını karşılaştırmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak sadece rotor değişimi motor performansının karşılaştırması yapılacaktır. 2.2 kW gücündeki referans EA-IM ile yeni bir tasarım olan 2.2 kW gücündeki EA-SRM karşılaştırılacaktır.



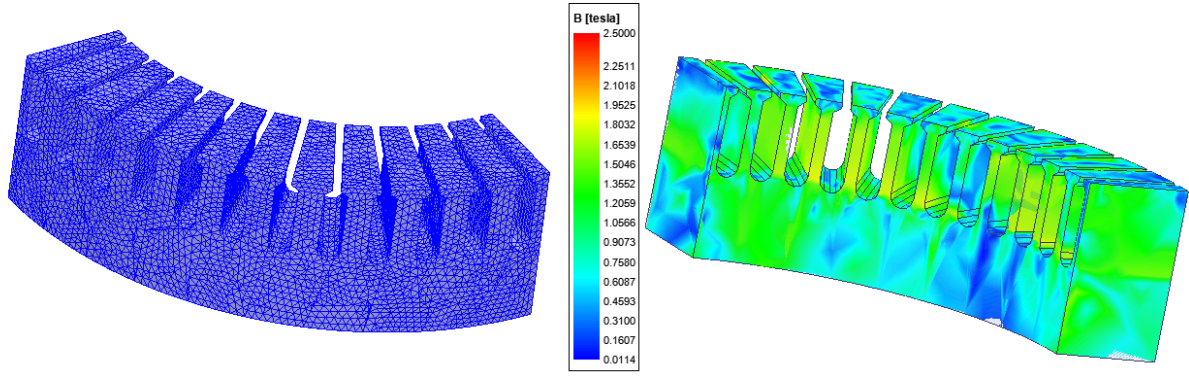
Şekil 5. EA-SRM rotor bariyer ve segmentleri

4.1. Stator Modeli (Stator Model)

Her iki motor tipinde ortak seçilecek stator tasarımında sargı parametreleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Stator ve amper-sarım değerleri eşit bir karşılaştırma olması için aynı seçilmiştir. Stator mesh ve manyetik akı yoğunluğu görüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir. Analizlerin doğruluğu açısından mesh sayısı özel olarak artırılarak "200364" mesh oluşturulmuştur. Manyetik akı yoğunluğuna bakıldığında ortalama 1.5 T ile malzemenin doyumunda olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 3. Stator sargı parametreleri

Tanım	Değer
Faz sayısı	3
Sargı katmanı	2
Sargı tipi	Tam kalıp
Paralel kol	1
Oluktaki iletken sayısı	58
Adım sayısı	5
İletken boyutu çapı	2x0.85mm
Oluk sayısı	48



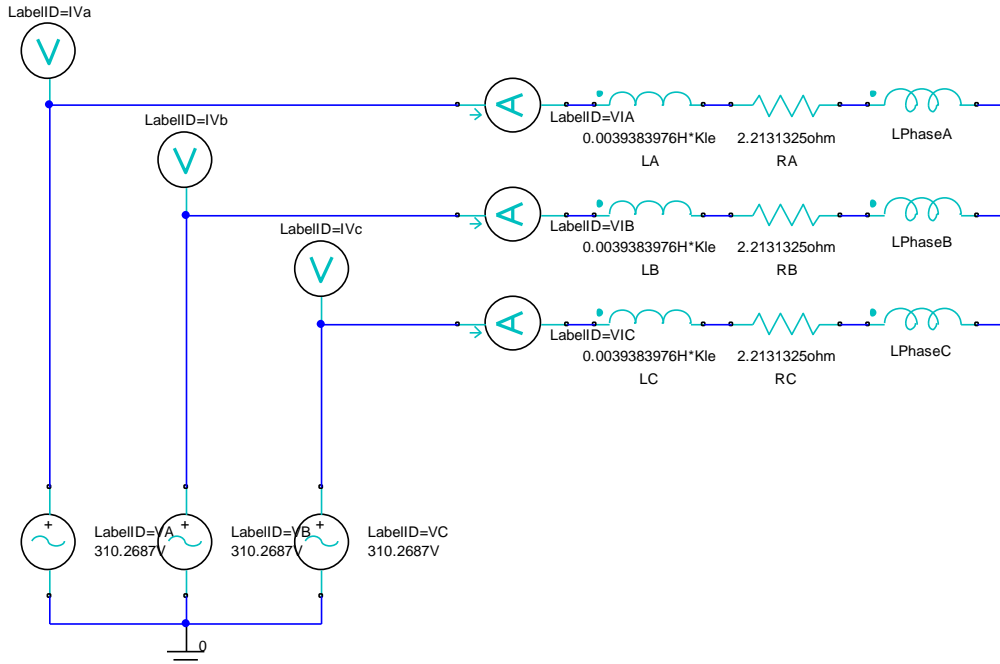
Şekil 6. Stator ve mesh görüntüsü

4.2. Ea-Im / Ea-Srm Rotor Modelleri Ve Sey Analizleri (Af-Im / Af-Synrm Rotor Models And Fem Analysis)

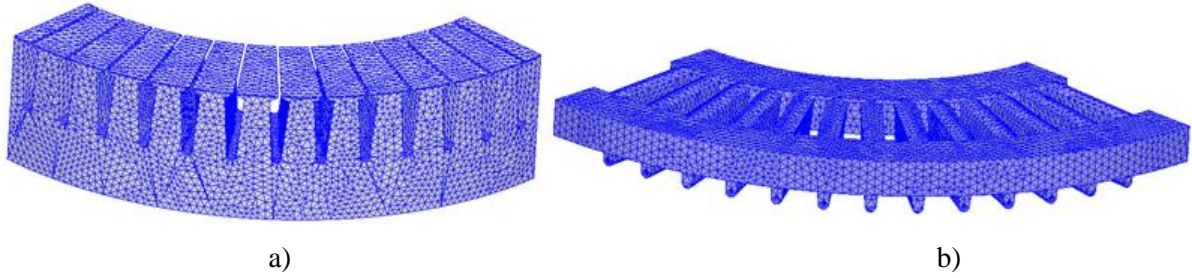
Analitik olarak tasarlanmış EA-IM ve EA-SRM nin karakteristik eğrilerini çıkarmak için 3D- Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile analizleri yapılmıştır. Bariyer analiz ve tasarımları için SEY tabanlı benzetim programı ile çalışmalar yapılmıştır. SEY, akışkanlar dinamiği, elektromanyetik, magnetostatics ve termal iletkenlik gibi integral ve diferansiyel denklemler içeren eşitliklerin çözümü için kullanılan nümerik bir tekniktir. ANSYS programı, sonlu elemanlar yöntemi gibi fiziksel problemlerin çözümü için kullanılan bir paket programdır. Bu çalışmadaki modeller ANSYS Electromagnetics Suite paket programı ile tasarlanmış ve analizleri yapılmıştır. Manyetik analizlerdeki hesaplama sürelerini azaltmak için stator-rotor bariyer uyumları göz önüne alınarak EA-SRM'nin 1/8 ve EA-IM'nin 1/4 motor modeli kullanılmıştır. Motor parçalarında materyal olarak, Stator için "JFE_Steel_35JN300" ve rotor için "Steel_1010" kullanılmıştır. Tasarlanmış modellerin SEY analizleri 80 ms boyunca 0.33 ms lik aralıklarla analiz edilecektir. EA-IM için harici uyarım devresi uygulanmıştır ve Şekil 7'de gösterilmiştir. EA-SRM sabit akımda uyarılmıştır ve uygulanan akım değerleri-parametreleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu çalışmada referans olarak seçilen EA-IM' nin ¼ model rotor görüntüsü (mesh) ve sincap kafesi (mesh) Şekil 8'de gösterilmiştir. Stator-rotor oluk sayısı eşleşmesi olarak 48-52 seçilmiştir [35].

Tablo 4. EA-SRM uygulanan akım ve parametre değerleri

Parametreler	Açıklama	Değer
Γ_{TSC}	Akım açısı	45^0
I_{max_TSC}	Akım	8.202 A
$Speed_TSC$	Hız	1500 d/d
Phase A akımı	$I_{max_TSC} * \sin(Speed_TSC/1rpm*8/60*pi*time+\Gamma_{TSC}-0.0deg- \bar{\omega} deg)$	8.20 A
Phase B akımı	$I_{max_TSC} * \sin(Speed_TSC/1rpm*8/60*pi*time+\Gamma_{TSC}-120.0deg- \bar{\omega} deg)$	-4.14 A
Phase C akımı	$I_{max_TSC} * \sin(Speed_TSC/1rpm*8/60*pi*time+\Gamma_{TSC}-240.0deg- \bar{\omega} deg)$	-4.06 A
$\bar{\omega}$	d-q eksenleri hizalama açısı	-15.3^0

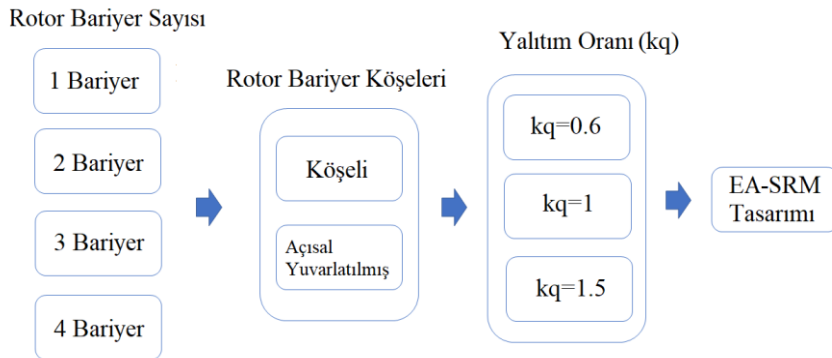


Şekil 7. EA-IM harici uyarım devresi



Şekil 8. a) EA-IM Rotor ve b) EA-IM Sincap Kafesi

EA-SRM tasarımında Şekil 9'da gösterilen aşamalar izlenmiştir. Bu aşamalardaki parametrelerin değişimi, maliyet, verim ve üretilebilirliği için önemlidir [5]. Hava aralığı olarak 0.3 mm alınmıştır. Uygun model oluşturulduktan sonra referans EA-IM ile performansları karşılaştırılacaktır.



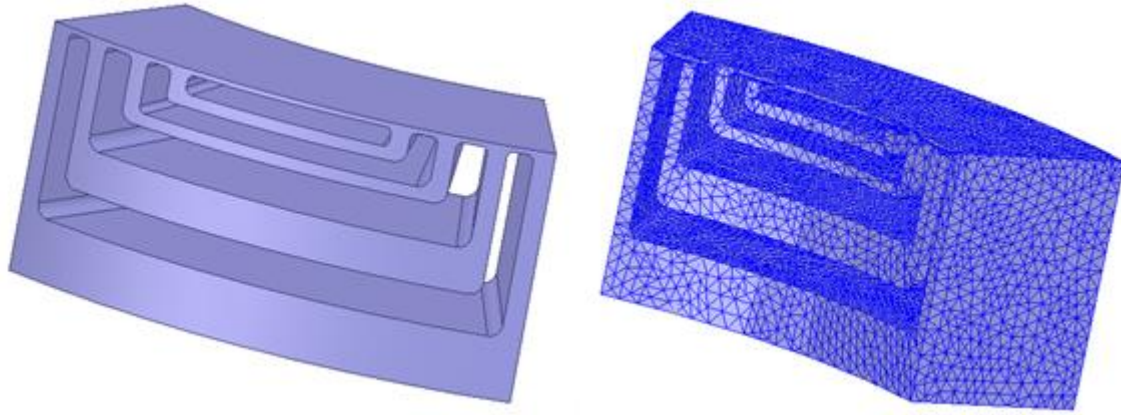
Şekil 9. EA-SRM tasarım aşamaları

Daha önce yapılmış çalışmada 2.2 kW gücündeki EA-SRM tasarımında Şekil 9'daki aşamalar detaylıca incelenmiştir [26]. Yapılan analiz ve karşılaştırmalar sonucunda, 2.2 kW güç değerindeki bir motor için nominal tork değerini gerçekleştirmiş ve en düşük tork dalgalanması değerini veren model 4 bariyerli, bariyer köşeleri açısız olarak yuvarlatılmış ve 0.6 yalıtım oranı seçilmiştir. Analiz sonucu seçilen modelde tork dalgalanması değerini düşürmek için Genetik Algoritma (GA) tabanlı optimizasyon analizi de

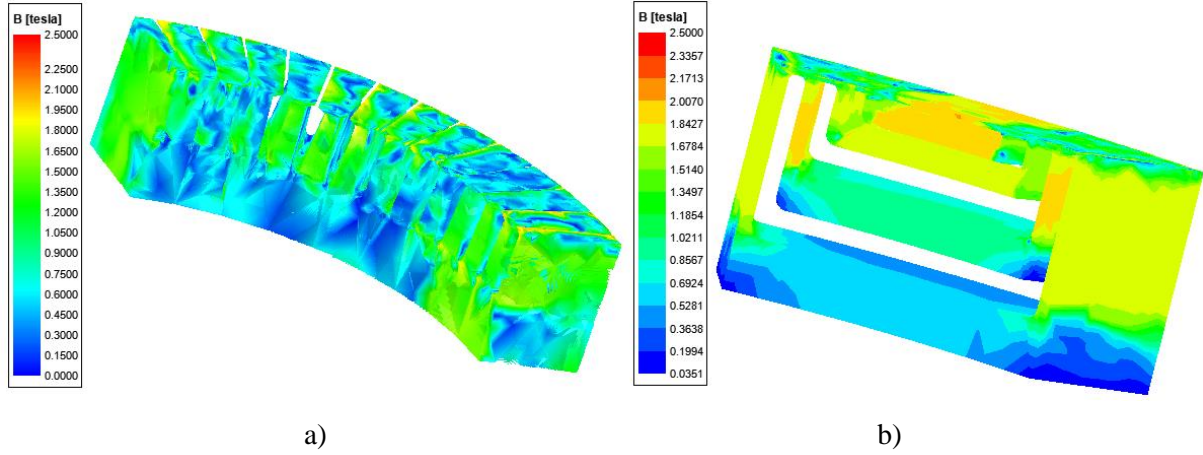
yapılmıştır. Rotor bariyerlerinin $-q$ eksen yönündeki kalınlıkları ve bariyer uçlarının genişlikleri değiştirme yöntemi uygulanmıştır. Yapılan optimizasyon öncesi ve sonrası bariyer ölçüleri Tablo 5'te gösterilmiştir. 'emb' olarak belirtilen değişkenler bariyer uçları genişliklerini ifade etmekte ve '0-0.99' aralığında değişmektedir. 'S' ise q -ekseni bariyer genişliğini milimetre cinsinden göstermektedir [26]. Şekil 10'da optimizasyon analizi sonucu tasarlanmış EA-SRM rotoru ve mesh görüntüsü gösterilmiştir.

Tablo 5. Optimizasyon öncesi ve sonrası EA-SRM rotor bariyer ölçüleri

<i>Değişkenler</i>	<i>Optimizasyon öncesi</i>	<i>Optimizasyon sonucu</i>
<i>emb 11</i>	0.95	0.9236
<i>emb 12</i>	0.85	0.8262
<i>emb 21</i>	0.75	0.7539
<i>emb 22</i>	0.65	0.6387
<i>emb 31</i>	0.55	0.5697
<i>emb 32</i>	0.45	0.4688
<i>emb 41</i>	0.3516	0.3970
<i>S 11</i>	29.99	28.6331
<i>S 12</i>	24.355	22.7361
<i>S 21</i>	15.787	15.9944
<i>S 22</i>	11.2	10
<i>S 31</i>	7.818	8
<i>S 32</i>	4.914	5
<i>S 41</i>	2.458	3



Şekil 10. EA-SRM 1/8 rotor modeli (mesh)



Şekil 11. a) EA-IM ve b) EA-SRM Rotor Manyetik Akı Yoğunlukları

Şekil 11’de gösterilen rotor manyetik akım yoğunlukları incelendiğinde malzemelerin doyumda olmadığı gözlenmiştir. EA-IM rotor dişlerindeki akı yoğunluğu değerleri 1.3-1.7 T aralığında ve uygun aralıktadır. EA-SRM nin rotor boyunduruğunda 0.5-0.7 T aralığında ve hava aralığına yaklaştıkça 1.7-1.8 T akım yoğunluğu değerleri ile malzemenin doyumda olmadığı gösterilmiştir.

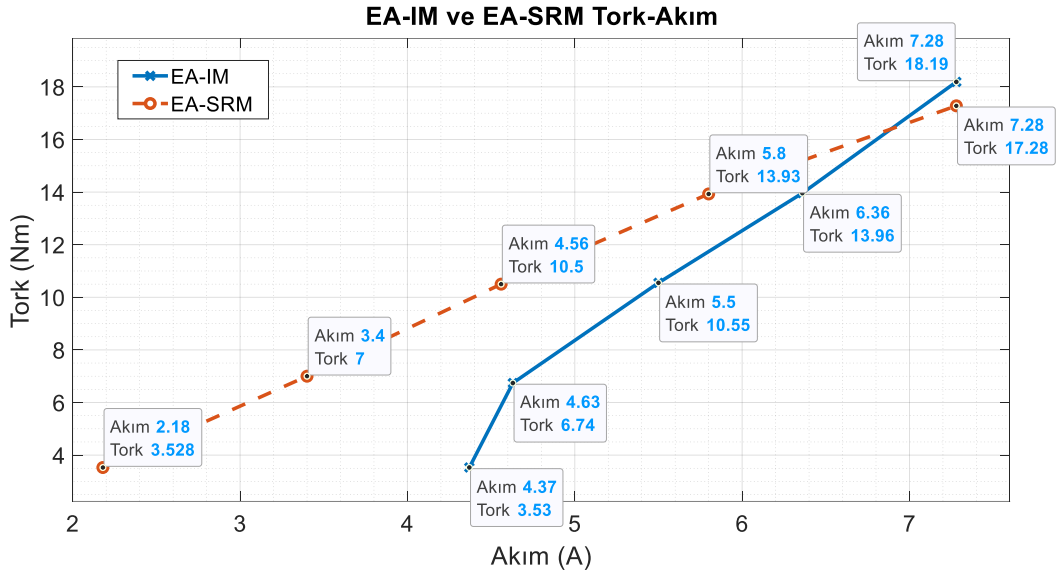
Son durumda EA-IM ve EA-SRM rotor topolojileri oluşturulmuş ve manyetik akı yoğunluğu açısından da incelenip karşılaştırılabilir duruma gelmişlerdir. Bir sonraki bölümde motorların sadece rotor değişiminin motor performansına etkisi gösterilecektir.

4.3. Performans Karşılaştırmaları (Performance Comparisons)

Analiz sonuçları Tablo 6’da gösterilmiştir ve %25-%50-%75-%100-%125 yük aralıklarında alınmıştır. Şekil 12-18 aralığında performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

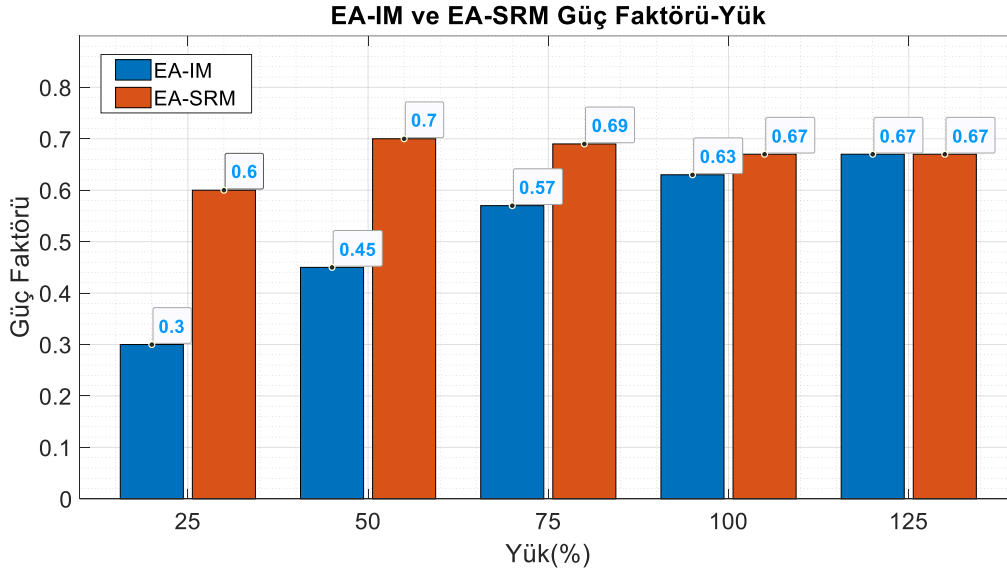
Tablo 6. EA-IM ve EA-SRM SEY analiz sonuçları

		Yük (%)				
		25	50	75	100	125
Tork (Nm)	EA-IM	3.53	6.74	10.55	13.96	18.19
	EA-SRM	3.528	7	10.5	13.93	17.28
Verim (%)	EA-IM	70.62	81.33	82.92	82.28	80.55
	EA-SRM	88.88	90.75	89.5	89.3	85.8
Güç Faktörü (cos φ)	EA-IM	0.3	0.45	0.57	0.63	0.67
	EA-SRM	0.6	0.7	0.69	0.67	0.67
Giriş Gücü (kW)	EA-IM	0.82	1.41	1.89	2.5	2.75
	EA-SRM	0.76	1.49	2.25	3.08	4.14
Toplam Kayıplar (kW)	EA-IM	0.2	0.5	0.57	0.63	0.51
	EA-SRM	0.06	0.11	0.18	0.26	0.39
Akım başına Tork (Nm/A)	EA-IM	0.75	1.45	1.92	2.2	2.48
	EA-SRM	1.62	2.06	2.3	2.4	2.37



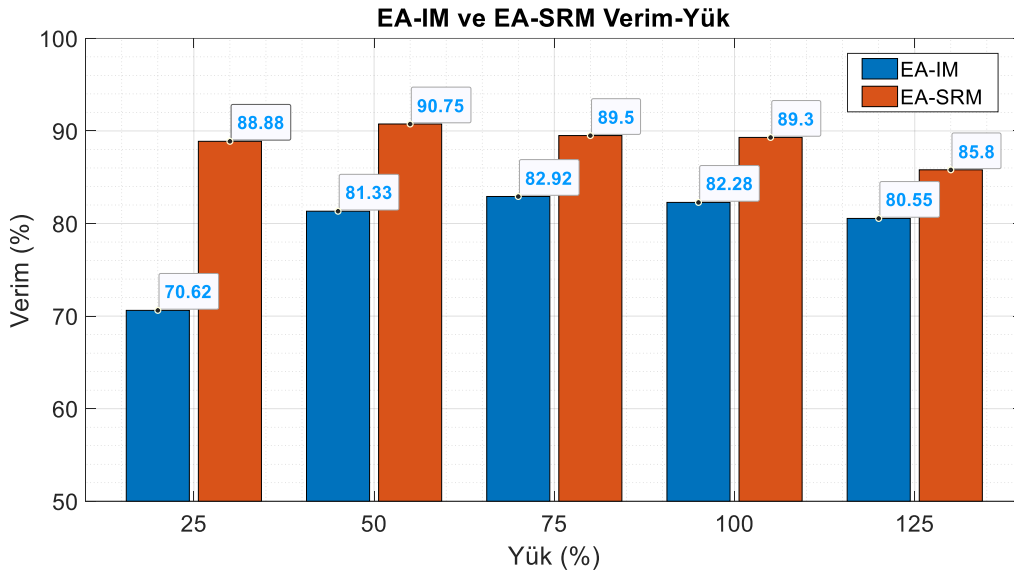
Şekil 12. Tork-Akım karşılaştırması

Şekil 12’te görüldüğü üzere EA-SRM’nin tork değeri, %125 yük durumunda güç faktörü hariç diğer tüm yük durumlarında üstün çıkmıştır. Bunun sebebi olarak, güç faktörü grafiğinde de görüleceği üzere EA-SRM de tam yükün üzerinde güç faktörü de düşmüştür. Şekil 13’te Güç faktörü-Yük durumları karşılaştırılmıştır. %25 yük durumunda güç faktörü farkı fazla olmasına rağmen %125 yük durumunda eşitlenmiştir. Fakat EA-SRM’nin üstün durumda olduğu görülmektedir.

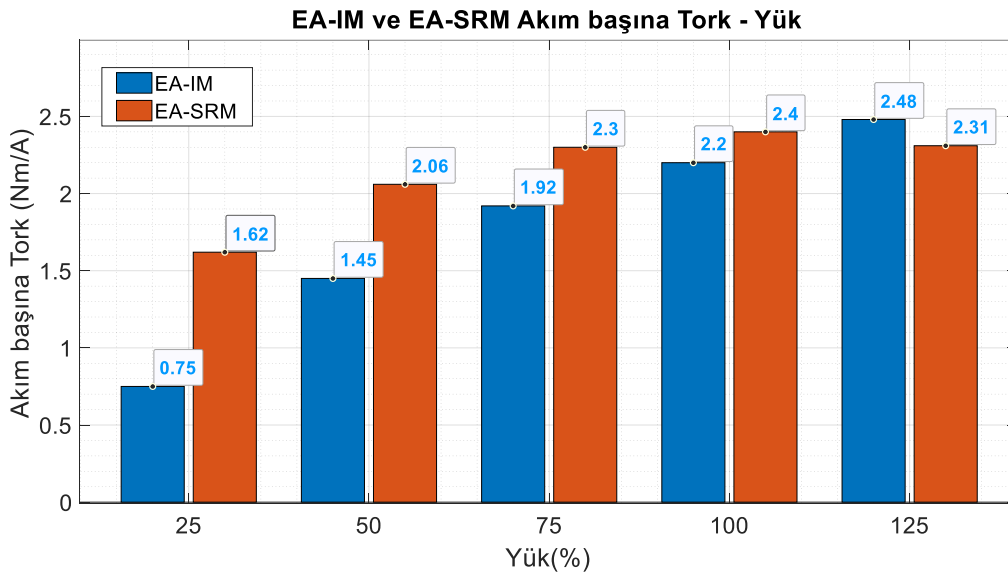


Şekil 13. Güç Faktörü-Yük karşılaştırması

Verim karşılaştırması Şekil 14’te gösterilmiştir. Tüm yük durumlarında EA-SRM’nin verimi üstün çıkmıştır. Tam yükte EA-SRM verimi oransal olarak %8.53 daha fazladır.

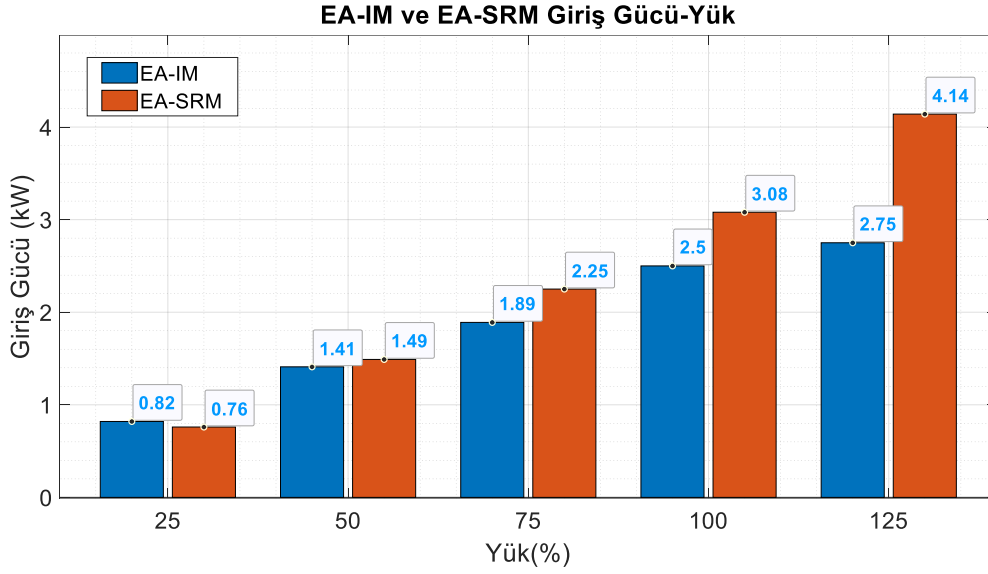


Şekil 14. Verim-Yük karşılaştırması

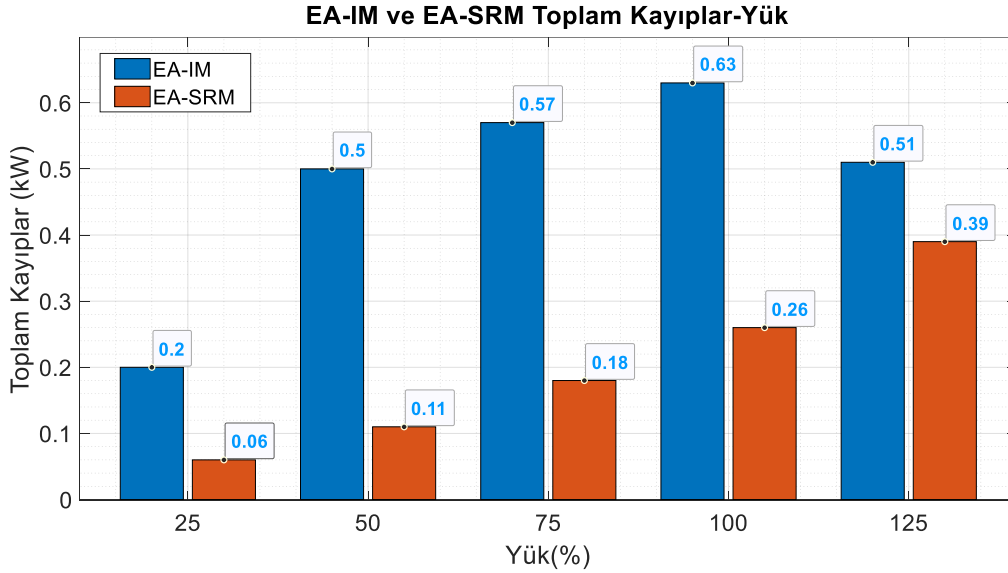


Şekil 15. Akım başına Tork (Nm/A)-Yük karşılaştırması

Şekil 15'te akım başına tork değerlerine bakıldığında %125 hariç EA-SRM üstün çıkmıştır. Yük miktarı arttıkça Nm/A oranı da artmıştır. Tork değeri yük ile doğru orantılı artmış olmasına rağmen EA-SRM'de Nm/A oranı maksimum, tam yük değerinde gözlenmiştir. Bu da EA-SRM 'nin optimal çalışma noktasında çalıştığının göstergesidir.



Şekil 16. Giriş Gücü-Yük karşılaştırması



Şekil 17. Toplam Kayıplar-Yük karşılaştırması

Şekil 16'da EA-IM ve EA-SRM giriş güçlerinin yük ile değişimi gösterilmiştir. Her iki motorda yük ile giriş gücü doğru orantılı olarak artmıştır ve EA-SRM üstündür. Şekil 17'de ise toplam kayıplar karşılaştırılmıştır. Tam yükte EA-IM toplam kaybı EA-SRM'nin 2.42 katı fazladır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Düşük güçlü endüstriyel uygulamalarda kullanılan motorlarda verim, güç yoğunluğu ve maliyet önemli rol oynamaktadır. Enerji verimliliği ve kompakt yapının öneminin her geçen gün arttığı günümüzde, rotorunda bakır kaybı bulunmayan ve eksenel yapısı ile kompakt yapıda bulunan ve özgün bir motor olan EA-SRM tasarımı, aynı stator yapısına sahip EA-IM ile karşılaştırılmıştır. EA-SRM rotor tasarımı üzerinde bariyer sayısı, bariyer yapısı ve çıkıntı oranını (L_d/L_q) doğrudan etkileyen yalıtım oranı (k_q) parametreleri üzerinde detaylı çalışılmış ve ayrıca optimizasyonu da yapılmıştır. Bu çalışmada 2.2 kW gücü referans alınmış iki motor tasarlanmıştır. Karşılaştırmada dış çapı, iç çapı ve stator parametreleri aynı olup sadece rotor değişimi ile motor verimi oransal olarak %8.53 artarak, IE3'ten IE4 standartlarına çıkarılmıştır. Tam yükte EA-SRM de, EA-IM den %23.2 fazla güç üretilmiştir.

Sonuç olarak toplam kayıpları, maliyetleri ve verim değerleri göz önüne alındığında, EA-SRM tasarımı, referans alınarak karşılaştırılan EA-IM'a alternatif olacaktır. İlerleyen çalışmalarda üretimsel süreçlerden

geçen EA-SRM'nin, EA-IM ile deneysel karşılaştırması da yapılabilecektir. Ayrıca EA-SRM'nin mıknatıslı tasarımları da tasarlanıp karşılaştırma prosedürü tekrarlanabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, 2020/41 numaralı proje ile desteklenmiştir.





KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Almeida, A.T., Ferreira, F., & Duarte, A.Q. (2014). Technical and Economical Considerations on Super High-Efficiency Three-Phase Motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50, 1274-1285.
- [2] Huang, H., Hu, Y., Xiao, Y., & Lyu, H. (2015). Research of Parameters and Antidemagnetization of Rare-Earth-Less Permanent Magnet-Assisted Synchronous Reluctance Motor. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51, 1-4.
- [3] IEA, Uluslararası Enerji Ajansı, 2020 Raporu, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity#electricity-supply>
- [4] Mohanarajah, T., Rizk, J., Nagrial, M., & Hellany, A. (2018). Finite Element Analysis and Design Methodology for High-Efficiency Synchronous Reluctance Motors. *Electric Power Components and Systems*, 46, 1478-1493.
- [5] Ozcelik, N., Dogru, U.E., Imeryuz, M., & Ergene, L.T. (2019). Synchronous Reluctance Motor vs. Induction Motor at Low-Power Industrial Applications: Design and Comparison. *Energies*, 12, 1-20.
- [6] Villan, M., Tursini, M., Popescu, M., Fabri, G., Credo, A., & Leonardo, L.D. (2018). Experimental Comparison Between Induction and Synchronous Reluctance Motor-Drives. 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), 1188-1194.
- [7] Boglietti, A., & Pastorelli, M. (2008). Induction and synchronous reluctance motors comparison. 2008 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 2041-2044.
- [8] Oner, Y., Ersoz, M., & Bingöl, O. (2016). Akı Bariyerli TLA Tipi Senkron Relüktans Motor Tasarımı ve Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, sayı. 4, ss. 0-0, Ara. 2016, doi:10.17341/gazimmfd.278449.
- [9] Nakahara, A., Deguchi, K., Kikuchi, S., & Enomoto, Y. (2014). Comparative electrical design of radial- and axial-flux permanent magnet synchronous machines under space limitation. 2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM), 422-428.
- [10] Ashari, M., Suryoatmojo, H., Riawan, D.C., Mardiyanto, R., Fahmi, D., Hidayat, S., & Adam, K.B. (2015). Design and Implementation of Axial Flux Induction Motor Single Stator - Single Rotor for Electric Vehicle Application.
- [11] Babu, V.R., Soni, M., & Manjeera, C. (2012). Modeling of axial flux induction machine with sinusoidal winding distribution. 2012 Annual IEEE India Conference (INDICON), 481-486.
- [12] Kalo, A.K., Dwivedi, A., Srivastava, R., & Banchhor, D.K. (2015). Experiences with Axial-Flux induction motor. 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE), 1-6.
- [13] Banchhor, D.K., & Dhabale, A. (2018). Design, Modeling, and Analysis of Dual Rotor Axial Flux Induction Motor. 2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 1-6.

- [14] Benoudjit, A., & Said, N.N. (1998). New dual-airgap axial and radial-flux induction motor for on wheel drive electric propulsion systems. POWERCON '98. 1998 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No.98EX151), 1, 615-619 vol.1.
- [15] Dwivedi, A., Gupta, S., Singh, S., & Srivastava, R. (2015). Experiences with axial flux sheet rotor induction motor. 2015 IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems / Petroleum and Chemical Industry Conference (ICPSPCIC), 115-118.
- [16] Hu, Z., Huang, W., Hong, C., & Bu, F. (2018). Control Strategy of Self-Bearing Dual Stator Solid Rotor Axial Flux Induction Motor for Flywheel Energy Storage. 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 1513-1517.
- [17] Nobahari, A., Darabi, A., & Hassannia, A. (2017). Axial flux induction motor, design and evaluation of steady state modeling using equivalent circuit. 2017 8th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 353-358.
- [18] Profumo, F., Zhang, Z., & Tenconi, A. (1997). Axial flux machines drives: a new viable solution for electric cars. IEEE Trans. Ind. Electron., 44, 39-45.
- [19] Nasiri-Gheidari, Z., & Lesani, H. (2012). A Survey on Axial Flux Induction Motors. Przegląd Elektrotechniczny, 300-305.
- [20] Zhang, C., Tseng, K., & Nguyen, T.D. (2010). Analysis and comparison of axial flux PM synchronous motor and induction motor. 2010 Conference Proceedings IPEC, 572-577.
- [21] Igelspacher, J., Fluegel, S., & Herzog, H. (2011). Analytic examination of coupled axial-flux induction machines with reduced yoke. 2011 1st International Electric Drives Production Conference, 153-158.
- [22] Bianchi, N., & Jahns, T. (2016). The Rediscovery of Synchronous Reluctance and Ferrite Permanent Magnet Motors: Tutorial Course Notes.
- [23] Pop, A., Piglesan, F.P., Martis, R., Vintiloiu, I., & Martis, C. (2018). First Insights on the Electromagnetic Design of Axial-Flux Synchronous-Reluctance Maschine. IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 5702-5709.
- [24] Akiki, P., Hage-Hassan, M., Bensetti, M., Vannier, J., Prieto, D., & McClelland, M. (2018). Axial Ferrite-Magnet-Assisted Synchronous Reluctance Motor. 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), 583-589.
- [25] Tarek, M.T., & Sozer, Y. (2019). Design of a Novel Axial Flux Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor. 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 3004-3009.
- [26] Gerçekcioglu, H.S., & Akar, M. (2021). Optimal rotor design of novel axial flux synchronous reluctance motor and validation. Int Trans Electr Energ Syst. 2021; e12866.
- [27] Chlebiš, P., Havel, A., & Vaculík, P. (2012). The Design of HEV Drive Unit with an Axial Flux Rotary Converter.
- [28] Sahin, F., Tuckey, A.M., & Vandenput, A. (2001). Design, development and testing of a high-speed axial-flux permanent-magnet machine. Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference. 36th IAS Annual Meeting (Cat. No.01CH37248), 3, 1640-1647 vol.3.
- [29] Taghavi, S., & Pillay, P. (2014). A comparative study of synchronous reluctance machine performance with different pole numbers for automotive applications. IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 3812-3818.

- [30] Shi, J., Chai, F., Li, X., & Cheng, S. (2011). Study of the number of slots/pole combinations for low speed high torque permanent magnet synchronous motors. 2011 International Conference on Electrical Machines and Systems, 1-3.
- [31] Aghazadeh, H., Afjei, E., & Siadatan, A. (2019). Sizing and detailed design procedure of external rotor synchronous reluctance machine. *Iet Electric Power Applications*, 13, 1105-1113.
- [32] Sawhney, A. K., & Chakrabarti, A. (2010). *Course in electrical machine design*. Delhi: Dhanpat Rai.
- [33] Boldea, I., & Nasar, S. A. (2010). *The induction machines design handbook*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis. Formun Altı
- [34] Gürdal, O. (2001). *Elektrik makinalarının tasarımı*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- [35] Joksimović, G., Melecio, J.I., Tuohy, P.M., & Djurović, S. (2020). Towards the optimal 'slot combination' for steady-state torque ripple minimization: an eight-pole cage rotor induction motor case study. *Electrical Engineering*, 102, 293-308.
- [36] Gundogdu, T., Zhu, Z., & Mipo, J. (2017). Influence of rotor slot number on rotor bar current waveform and performance in induction machines. 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 1-6.
- [37] Kamper, M. J., Van der Merwe, F. S., & Williamson, S. (1996). Direct finite element design optimisation of the cageless reluctance synchronous machine. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 11(3), 547-555.
- [38] Ibrahim, M. N. F., Sergeant, P., & Rashad, E. (2016). Simple design approach for low torque ripple and high output torque synchronous reluctance motors. *Energies*, 9(11), 942.
- [39] Moghaddam, R. R. (2007). *Synchronous reluctance machine (SynRM) design*. KTH Electrical Engineering.

Design and Implementation of an Analog Controller Based on K-Factor Design Method for a Novel Isolated Z-Source DC-DC Converter with High Voltage Gain

Enes TURAN^{1,*} , Bülent DAĞ¹ , Bünyamin TAMYÜREK¹ , M.Timur AYDEMİR² 

¹Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, 06570, ANKARA

²Kadir Has University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical Electronics Engineering, 34093, İSTANBUL

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received:10/04/2021
Revision:16/05/2021
Accepted:16/05/2021

Highlights

- Closed Loop Control
- Coupled Inductor
- PLECS

Keywords

K-Factor
DC-DC Converter
Z-Source
Analog Controller

In this study, a closed-loop analog controller design and implementation is achieved for a novel isolated Z-source dc-dc converter with high voltage gain by using K-factor design method. The novel structure of the converter complicates the design of an effective closed-loop controller that guarantees high performance under all conditions. Within this context, a small signal model is developed to reflect the dynamics of the converter. By using the bode diagram obtained from the small signal model, the error amplifier circuit is designed with the K-factor design method. Simulation study is performed in PLECS to verify the design. Applying the experimental study, the results are compared with the simulation study. The results of the study prove that the control system designed with the K-factor design method works successfully.

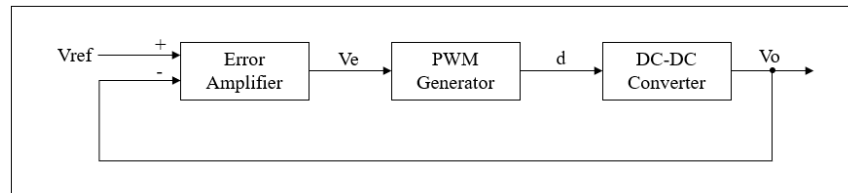


Figure A. The overall block schema of a closed-loop controlled dc-dc converter

Purpose: The main purpose of this study is to ensure that the output voltage of a novel Z-source dc-dc converter supplies a stable and constant output voltage despite the variations in input voltage and load within certain limits. The converter is turned into a closed loop system with analog control method. In order to achieve this purpose, the K-factor design method used for error amplifier circuit design and the small signal model used for this method are explained.





Theory and Method: The type-3 compensator is used to turn a novel Z-source dc-dc converter into closed loop system. Firstly, the small signal model required for the K-factor design method is obtained by using the PLECS. Secondly, the type-3 error amplifier circuit is designed by using the theoretical study and small signal model. Finally, the output voltage is analyzed by creating step changes in input voltage and load with simulation and experimental study.

Results: 10% and 20% changes in the input voltage and 20% changes in the load of the dc-dc converter are implemented. Despite the changes, the output voltage provided by the converter remains constant with an error margin of 1%.

Conclusion: In this paper, by using the K-factor design method, a novel Z-source dc-dc converter is turned into closed loop controlled system. Although the input voltage and load changes, the dc-dc converter continues to produce a constant output voltage with the created controller. The most important advantage of the method is that the K-factor design method has a certain flow of mathematical equations. The mathematical method makes the design process easier and safer. By means of implementing with a new generation dc-dc converter, a robust and reliable control method has been proved for a new generation converter.



Design and Implementation of an Analog Controller Based on K-Factor Design Method for a Novel Isolated Z-Source DC-DC Converter with High Voltage Gain

Enes TURAN^{1,*} , Bülent DAĞ¹ , Bünyamin TAMYÜREK¹ , M.Timur AYDEMİR² 

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 06570, ANKARA

²Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 34083, İSTANBUL

Abstract

In this study, an analog controller design and implementation are performed by using the K-factor design method for a novel isolated Z-source dc-dc converter with high voltage gain. The closed loop converter system created by the controller circuit ensures a constant output voltage at the converter output although there is a step change in input voltage and load within certain limits. The K-factor design method used to design the controller circuit allows obtaining the design of the feedback circuit with a certain flow of mathematical equations. The mathematical method used to calculate the controller circuit elements increases the reliability of the closed loop system. In this study, firstly, theoretical study of a closed loop control of a novel Z-source dc-dc converter topology is completed with K-factor design method. Secondly, the theoretical study results are analyzed by implementing a simulation study in PLECS. Lastly, by conducting an experimental study, simulation results and experimental results are compared. The results of the simulation study and experimental study demonstrates that the controller generated with the K-factor design method controls the output voltage. As a result, it has been demonstrated that a reliable control method is created for a new generation dc-dc converter with the K-factor design method.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 10/04/2021
Düzelme: 16/05/2021
Kabul: 16/05/2021

Keywords

K-Factor
DC-DC Converter
Z-Source
Analog Controller

Anahtar Kelimeler

K-Faktör
DA-DA Dönüştürücü
Z-Kaynak
Analog Denetleyici

Yeni Nesil Yüksek Gerilim Kazançlı ve İzoleli Z-Kaynak DA-DA Dönüştürücü için K-Faktör Tasarım Yöntemi ile Analog Denetleyici Tasarımı ve Uygulaması

Öz

Bu çalışmada yeni nesil yüksek gerilim kazançlı ve izoleli Z-kaynak da-da dönüştürücü için K-faktör tasarım yöntemi kullanılarak analog denetleyici tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Denetleyici devresi ile oluşturulan kapalı çevrim dönüştürücü sistemi giriş geriliminde ve yükte belirli sınırlar içerisinde değişim meydana gelmesine rağmen dönüştürücü çıkışında sabit çıkış gerilimi elde edilmesini sağlar. Denetleyici devresini tasarlamak için kullanılan K-faktör tasarım yöntemi ile geri besleme devresinin tasarımı belirli bir matematiksel denklem akışı ile elde edilir. Denetleyici devresinin elemanlarını hesaplamak için kullanılan matematiksel yöntem kapalı çevrim sistemin güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak K-faktör tasarım yöntemi ile yeni nesil bir Z-kaynak da-da dönüştürücü topolojisinin kapalı döngü denetiminin teorik çalışması yapılmıştır. İkinci olarak PLECS de teorik çalışma sonuçları benzetim çalışması yapılarak incelenmiştir. Son olarak deneysel çalışma da yapılarak benzetim sonuçları ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışması ve deneysel çalışma sonuçları K-faktör tasarım yöntemi ile oluşturulan denetleyicinin çıkış gerilimini denetim altına alabildiğini göstermiştir. Sonuç olarak K-faktör tasarım yöntemi ile yeni nesil bir da-da dönüştürücü için güvenilir bir kontrol yöntemi oluşturulabileceği gösterilmiştir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

DA-DA dönüştürücüler girişine uygulanan DA gerilimi yükselten veya düşüren elektronik devrelerdir. DA-DA dönüştürücülerde kontrol işlemi devrede anahtarlanan yarı iletkenlerin değişimlere karşı uygun doluluk oranında anahtarlanması prensibine dayanır. Yükseltme veya düşürme işlemi anahtarlama elemanı olarak kullanılan yarı iletkenlerin anahtarlama süresi değiştirilerek yapılır [1-3]. Kapalı çevrim sistem dönüştürücünün giriş geriliminde veya beslediği yükte değişim olmasına rağmen çıkış geriliminin hedeflenen seviyede sabit kalmasını sağlar [2-3].

Son yıllarda özellikle fotovoltaik sistemler, elektrikli araç sistemleri gibi yüksek gerilim ihtiyacı olan sistemlerde kullanmak amacıyla yüksek gerilim kazancı sağlayan ve izolasyon özelliği bulunan da-da dönüştürücüler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek gerilim kazancı sağlayabilmek için kuplajlı endüktör kullanımına olan ilgi artmaktadır [4]. Kuplajlı endüktör ile gerilim kazancı oranını arttırabilmek için özgün topolojiler geliştirilmektedir. Kuplajlı endüktör kullanımına ek olarak anahtarlama kayıplarını azaltarak kazancı arttırmak amacıyla sıfır akım altında anahtarlama yapabilen topoloji geliştirilmiştir [5]. Kuplajlı endüktör yapısına gerilim katlama yönteminin dahil edilmesi bir diğer kazancı artırma çalışmadır [6]. Çok katlı topolojilerin geliştirilmesi [7], geleneksel bir topoloji ile kuplajlı endüktör yapısının birlikte kullanılması, anahtarlama kapasitörlerin dahil edilmesi [8] kuplajlı endüktör kaynaklı kaçak endüktans enerjisinin devre elemanları üzerinde stres oluşturmasının önüne geçerek kazancı arttırmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak kuplajlı endüktör bağlantı yapısına Z-kaynak bağlantı yapısının dahil edilmesiyle ortaya çıkarılan topolojiler bulunmaktadır [9-11].

Bu çalışma kapsamında yeni nesil yüksek gerilim kazançlı ve izoleli Z-kaynak da-da dönüştürücü kullanılmıştır [9]. Kuplajlı endüktör ve Z-kaynak bağlantısı ile oluşturulan bu dönüştürücülerin getirdiği önemli avantajlar vardır [9-11];

1. Kuplajlı endüktör sayesinde yüksek gerilim kazancı için düşük sarım oranları yeterli olur.
2. Z-kaynak bağlantı yapısı ile kuplajlı endüktörden kaynaklı kaçak endüktans enerjileri kapasitörler üzerine boşalarak devredeki yarı iletkenler üzerinde ilave stres oluşturmaz.
3. Kuplajlı endüktörün Z-kaynak bağlantı yapısı sayesinde daha düşük doluluk oranında yüksek gerilim kazancı elde edilir. Düşük doluluk oranı birincil sargıdaki ortalama gerilim değerini azaltacağı için yarı iletkenlerden ve iletimden kaynaklı kayıplar azalır.
4. Kuplajlı endüktör sayesinde giriş ve çıkış arasında izolasyon sağlanır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerjinin belirli şartlar altında, istenilen seviyede, güvenli bir şekilde üretimi için zorunluluklar oluşturulmaktadır [12]. Bu zorunluluklar altında enerjinin üretimi aşamasında kontrol sistemleri kritik bir rol oynamaktadır. Yeni nesil yüksek gerilim kazançlı da-da dönüştürücülerin geliştirilmesiyle bu topolojilerin endüstriyel uygulamalarda kullanımlarında sabit çıkış gerilimi sağlayabilmeleri için kontrol uygulamaları üzerine de çalışmalar yaygınlaşmaya başlamıştır.

Dijital tabanlı geleneksel PI ve PID kontrol yöntemleri kuplajlı endüktör kullanan dönüştürücü topolojilerinde kullanılmaktadır [13-14]. Dijital elemanlar analog elemanlara göre ömür süresi ve çevresel etkiler açısından daha verimli iken devre üzerindeki gürültülere karşı daha dayanıklıdır [14]. Ancak dijital yöntemler için yazılım bilgisine ihtiyaç vardır. Yazılımsal çalışmalar optimizasyona ihtiyaç duyarken doğrulama faaliyetleri de tasarım sürecini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı dijital kontrol yöntemleri için maliyet bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Kuplajlı endüktör kullanan da-da dönüştürücü topolojilerinde kullanılan bir diğer kontrol yöntemi tepe akım mod kontrol yöntemidir [15]. Bu yöntemde PI kontrol yönteminden yararlanılmaktadır. Kontrol yönteminin dinamik tepkisi iyidir bundan dolayı geçici durum değişimlerine karşı hızlı tepki vermektedir. Ancak bu kontrol yönteminde PI kontrol sabitlerini ayarlayabilmek için optimizasyon çalışması yapmak gerekmektedir. Kayan mod kontrol yöntemi ile geleneksel PI veya PID kontrol yöntemlerinin birlikte kullanıldığı kontrol yöntemleri de literatürde bulunmaktadır [16-17]. Bu yöntemde iki aşamalı bir kontrol uygulaması yapılmaktadır. Doğrusal olmayan dönüştürücüler için doğrusal olmayan kontrol yöntemi kullanılması özellikle geçici durum cevaplarında başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Kayan mod kontrol [16-17], bulanık mantık [18] ve yapay sinir ağı [19] kullanarak oluşturulan kontrol yöntemleri da-da denetim yöntemlerinin daha modern yöntemleri olarak örnek verilebilir. Ancak bu yapıların hesaplama

karmaşıklığı ile kullanım zorluğunun bulunması endüstride tercih edilmelerinin önüne geçmektedir [20]. Literatürde K-faktör tasarım yöntemi kullanılarak yapılmış kontrol uygulamaları bulunmaktadır [21-22]. Ancak bu çalışmalarda kullanılan da-da dönüştürücüler karmaşık olmayan ve eski tip dönüştürücüler olup yeni nesil dönüştürücüler için K-faktör tasarım yönteminin performansı hakkında bilgi vermemektedir.

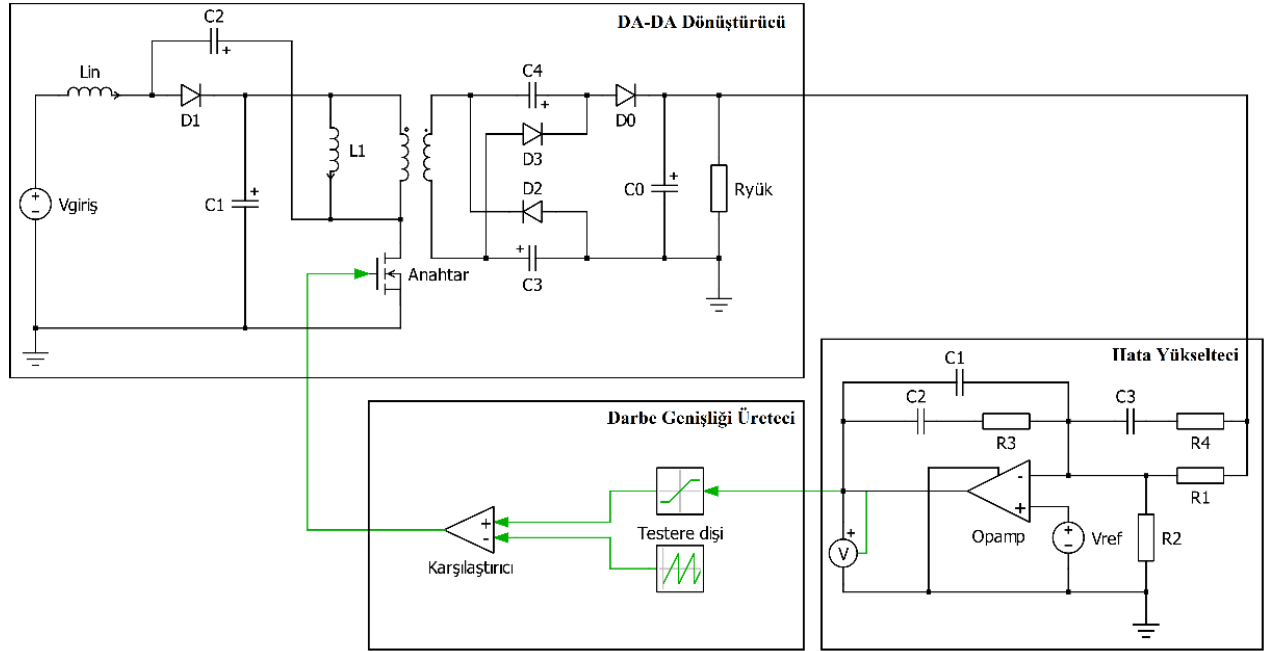
Bahsi geçen yeni tip Z-kaynak dönüştürücü ile ilgili daha önceki çalışmada, Z-kaynak dönüştürücünün açık çevrim tasarımı yapılmıştır ancak kapalı çevrim sistem haline getirilmemiştir [9]. Bu yayın içerisinde dönüştürücünün kapalı çevrim denetleyici tasarımı yapılmış ve bu kapsamda kullanılan tip-3 analog denetleyicinin tasarımı için K-faktör tasarım yöntemi kullanılmıştır. K-faktör tasarım yöntemi frekans alanında kesim frekansı ve faz payı odaklı çalışan analog denetleyici tasarım yöntemidir. Yöntem doğrusal bir kontrol yöntemi olduğu için da-da dönüştürücünün küçük sinyal modeline ihtiyaç duyar. Yöntemin tasarım hesaplamaları için belirli bir matematiksel denklem akışına sahip olması ve bu akış içerisinde küçük sinyal modelini kullanması yöntemi güvenilir kılmaktadır. Matematiksel yöntem tasarım sürecini kolaylaştırmak ile birlikte optimizasyon işlemine gerek duymadığı için ekstra tasarım yükünü ortadan kaldırarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Yöntemin analog bir yapıya sahip olmasından dolayı dijital yöntemlerin aksine yazılım ihtiyacı olmaması daha düşük maliyet ile denetleyici yapısı kurulmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın temel katkısı yeni nesil bir da-da dönüştürücü ile gerçekleştirilmesi sayesinde K-faktör tasarım yönteminin yeni nesil da-da dönüştürücüler için de kullanılabileceğini göstermesidir.

Çalışmanın devamında Bölüm 2’de Z-kaynak da-da dönüştürücü kapalı çevrim sisteminin tanımlaması yapılmıştır. Bölüm 3’de da-da dönüştürücünün geri besleme devresi için kullanılan tip-3 kompanseör topolojisinin K-faktör tasarım yöntemi ile matematiksel modeli açıklanmıştır. Bölüm 4’de benzetim çalışmaları sunulmuştur. Bölüm 5’de deneysel çalışma sonuçları verilmiş ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bölüm 6’da çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

2. Z-KAYNAK DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ KAPALI ÇEVİRİM SİSTEMİ (CLOSED LOOP SYSTEM OF Z-SOURCE DC-DC CONVERTER)

Kullanılan Z-kaynak da-da dönüştürücünün kapalı çevrim haline getirilmiş devre yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. Z-kaynak dönüştürücünün girişi ile çıkışı arasındaki kazanç ilişkisi denklem 1 ile belirtilmiştir [9]. Denklem 1’de D doluluk oranını, n sarım oranını ve k kuplaj katsayısını temsil etmektedir. Dönüştürücünün kararlı bölgede çalışabilmesi için %50 doluluk oranı üzerinde sürülmemesi gerekmektedir. %50 üzerinde doluluk oranı kazanç ilişkisini negatif değere çevirir. Bu durumda dönüştürücünün kararlı çalışmasını engeller. Z-kaynak da-da dönüştürücünün temel çalışma mantığı iki ana modda gerçekleşmektedir. Bu modlar anahtarın açık ve kapalı olduğu iki moddan oluşur. Anahtar iletimde iken giriş gerilimi kuplajlı endüktörün sekonder ucuna aktararak yükü besler ve çıkış kapasitörünü (C_0) doldurur. Anahtar iletimden çıktığında yük çıkış kapasitörü üzerinden beslenir. Z-kaynak bağlantı yapısı sayesinde kaçak endüktanslardan kaynaklı enerji $C_1-C_2-C_3-C_4$ kapasitörleri üzerine boşalarak devredeki yarı iletkenler üzerinde ilave stres oluşturmaz.

Şekil 1’deki kapalı çevrim sistemde hata yükseltici devresi hedeflenen çıkış gerilimi için ölçeklendirilmiş çıkış gerilimi ile referans gerilimini karşılaştırarak hata işareti üretir. Kompanze edilmiş hata işareti darbe genişliği üretici devresinde testere dişi gerilim ile karşılaştırılarak hedeflenen çıkış gerilimini sağlayan doluluk oranında anahtarlama sinyali üretilir. Elde edilen doluluk oranıyla anahtarlanan güç devresinin çıkışındaki gerilim ölçeklendirilerek denetleyici tarafından referans gerilimine eşitlenir. Giriş geriliminde ve yükte meydana gelen değişimlere karşı denetleyici ölçeklendirilmiş çıkış geriliminin referans gerilimine eşit olmasını sağlamak için doluluk oranını ortalama bir değer etrafında değiştirir.



Şekil 1. Kapalı çevrim Z-kaynak da-da dönüştürücü

$$\frac{V_{\text{çıkış}}}{V_{\text{giriş}}} = \frac{1+D}{1-2D}nk$$

1

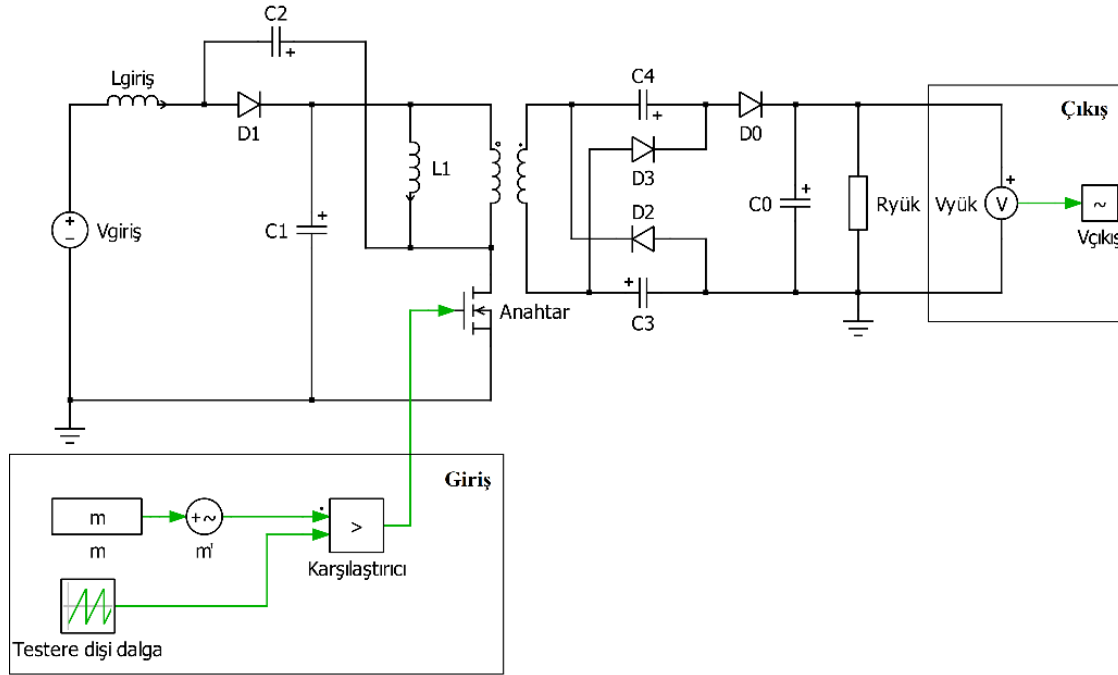
Hata yükseltici devresinin tasarımı için kullanılan K-faktör tasarım yöntemi doğrusal bir denetleyici yöntemi olduğu için dönüştürücünün doğrusallaştırılmış modeline ihtiyaç duyar. Sistemin kararlılık analizi bu model üzerinden gerçekleştirilir. Doğrusal model sayesinde çıkış gerilimi ile doluluk oranı arasındaki dinamik ilişkiyi veren küçük sinyal modeli elde edilir. Küçük sinyal modeli kullanılarak açık çevrim dönüştürücünün bode diyagramı elde edilir.

Literatürde da-da dönüştürücülerinin küçük sinyal modellerinin teorik olarak nasıl elde edileceği üzerine çalışmalar vardır [23-26]. Bu çalışmalarda yöntem temel olarak aynıdır. Dönüştürücü içerisindeki pasif elemanlar durum değişkeni olarak tanımlanır. Durum değişkenlerinin birbirleri ile olan ilişkisini belirlemek için devre analizi yapılır. Devre analizi sonucunda elde edilen tüm denklemler durum değişkenlerine bağlı olarak uygun formatta matrislere konumlandırılır. Dönüştürücüdeki yarı iletkenlerin açık ve kapalı olduğu modlara göre durum değişkenlerinin ağırlıklı ortalamaları alınır. Elde edilen matrisler kontrol teorisinin temelinde oluşturulan denkleme yerleştirilerek dönüştürücünün doğrusallaştırılmış modelini veren küçük sinyal modelinin elde edilmesi sağlanır.

Küçük sinyal modelini elde etmek için iki farklı yöntem daha vardır. Bunlardan birincisi eğer kontrol edilen dönüştürücü fiziksel olarak mevcut ise ağ analizörü yardımıyla sistemin doğrusallaştırılmış modeli elde edilebilir [27]. İkinci olarak teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektronik devre tasarımları yapmayı kolaylaştıran benzetim programları dönüştürücülerin küçük sinyal modellerinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır [28]. Bu yayın kapsamında kullanılan da-da dönüştürücünün küçük sinyal modeli PLECS programı ile elde edilmiştir.

Küçük sinyal modelinin bode diyagramı PLECS de dürtü yanıtı analizi ile elde edilir. Analiz dönüştürücü açık çevrim çalışırken kararlı duruma geldiği anda bir periyotta sinüzoidal dürtüyü dönüştürücüye uygular. Analizin algoritması dürtünün dönüştürücü çıkışında meydana getirdiği tepkiyi kullanarak çıkış gerilimi ile doluluk oranı arasındaki dinamik ilişkiyi veren küçük sinyal modelini elde eder ve bode diyagramını üretir. Bu analizi yapabilmek için açık çevrim dönüştürücüde Şekil 2'de gösterilen giriş ve çıkış yapılarının oluşturulması gerekir. Giriş kısmındaki m isimli parametre dönüştürücünün girişidir. Bu parametre testere dişi dalga ile karşılaştırılır ve anahtarı süren anahtarlama sinyali üretilir. Sinüzoidal

dürtü m üzerine m' isimli değişken ile uygulanır. Küçük sinyal modelinin doğru bir şekilde üretilmesi için m' değişkeninin genliğinin sabit giriş genliğinin (m) yüzde biri oranında olması gerekmektedir. Sinüzoidal sinyalin frekansını algoritma kendisi ayarlamaktadır. Algoritmanın dönüştürücü çıkışını algılayabilmesi için dönüştürücünün çıkış gerilimi $V_{çıkış}$ değişkenine aktarılır. Algoritma m' değişkenden kaynaklı tepkiyi $V_{çıkış}$ isimli değişken ile algılayarak ikisi arasındaki ilişkiyi üretir. Bu ilişki küçük sinyal modelini verir ve modelden elde edilen bode diyagram kullanıcıya sunulur.



Şekil 2. PLECS de tanımlanması gereken giriş ve çıkış yapıları

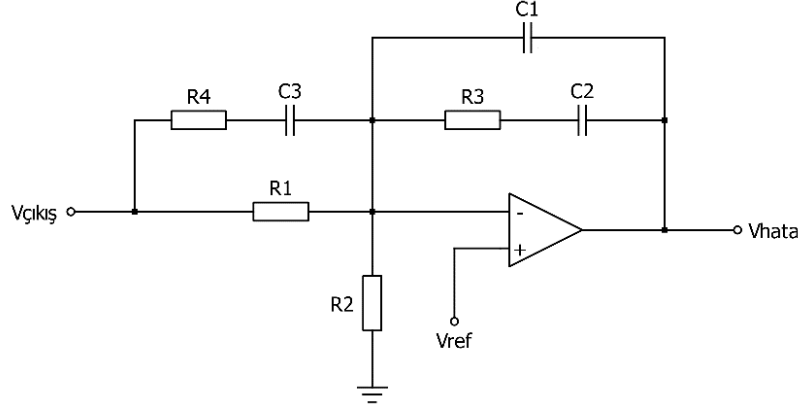
Bode diyagramından hata yükseltici devresi tasarımında kullanılan kesim frekansına karar verilir ve kesim frekansında açık çevrim dönüştürücünün faz gecikmesi değeri elde edilir. Kesim frekansında kapalı çevrim dönüştürücünün giriş geriliminde ve beslediği yükte meydana gelen değişimlere karşı vereceği tepkinin hızını belirler [21]. Seçilen kesim frekansında dönüştürücüde ne kadar faz gecikmesi olduğu önemli bir noktadır. Faz gecikmesi K-faktör yöntemi ile tasarım yapabilmek için sınırlayıcı bir değerdir [23]. Kapalı çevrim bir dönüştürücünün kararlı bir şekilde çalışabilmesi için kapalı çevrim dönüştürücü kazancının 0 dB olduğu noktada faz kaymasının -180° den büyük olması gerekir. Eğer bu kriter sağlanamazsa dönüştürücü kararsız bölgeye düşer ve doğrusal bölgede çalıştırılmaz. Kapalı çevrim dönüştürücünün bode diyagramında görülen fazın -180° den uzaklığını gösteren değere faz payı denir. Faz payı kapalı çevrim dönüştürücünün giriş geriliminde ve beslediği yükte meydana gelen değişimlere karşı vereceği tepkinin aşım miktarını belirler [21].

3. TİP-3 KOMPANSATÖR (TYPE-3 COMPENSATOR)

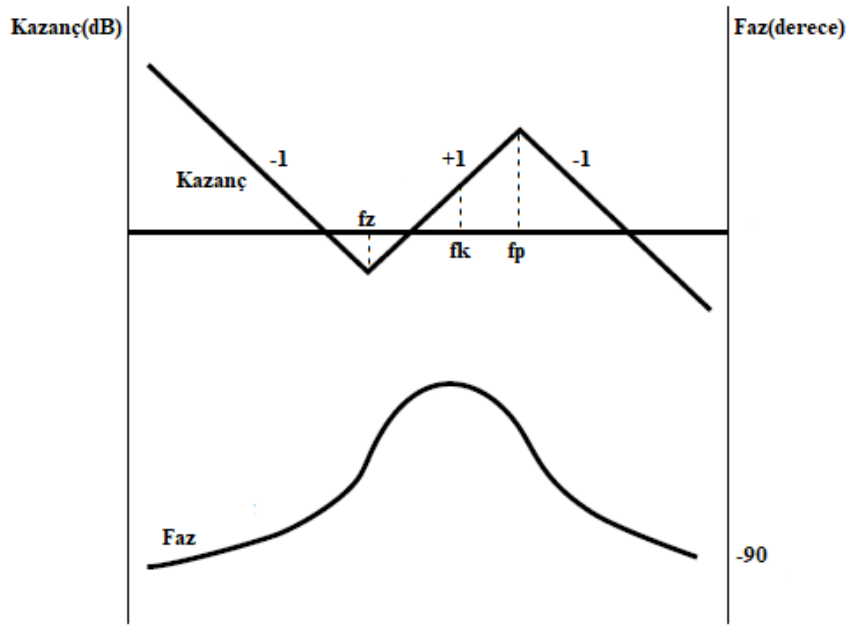
Şekil 3'de tip-3 kompensatörün devre şeması verilmiştir. $V_{çıkış}$ Şekil 1'de belirtilen kapalı çevrim da-da dönüştürücünün çıkışından alınan geri bildirim sinyalidir. Burada geri bildirim sinyali ile referans sinyali (V_{ref}) karşılaştırılarak hata sinyali (V_{hata}) üretilir. Devre şemasına ait transfer fonksiyonunun (TF) genelleştirilmiş hali denklem 2 ile verilmiştir. Şekil 4'de tip-3 kompensatörün bode diyagramı belirtilmiştir. Tip-3 kompensatörün orijininde bir tane kutup vardır. Bu kutba ek olarak iki tane sıfır-kutup çifti vardır. Sıfır-kutup çiftleri çakışık köklerdir. Tip-3 bode diyagramına göre kazanç sıfır frekansına kadar -1 eğim (-20 db/decade) ile azalır. Faz katkısı sağladığı sıfır frekans ile kutup frekans aralığında kazanç değeri $+1$ eğim ($+20$ db/decade) ile artar. Kutup frekansından sonra -1 eğim (-20 db/decade) ile azalmaya devam eder. $+1$ eğimi çakışık sıfır kökleri sağlamaktadır. Maksimum faz katkısını yaptığı,

kutup ve sıfır frekansının orta noktası kesim frekansıdır. Tip-3 kompanseörün sağlayabileceği maksimum faz katkısı 180° dir.

$$TF_{Tip-3} = \frac{V_{hata}}{V_{çıkış}} = \frac{A}{s} \frac{(s+\omega_z)^2}{(s+\omega_p)^2} \quad 2$$



Şekil 3. Tip-3 kompanseör devre şeması



Şekil 4. Tip-3 kompanseör bode diyagramı

Tip-3 kompanseörün devre elemanları ile oluşturulmuş transfer fonksiyonu denklem 3 ile verilmiştir.

$$TF_{Tip-3} = -\frac{1}{sR_1(C_1+C_2)} \frac{1+sR_3C_2}{1+sR_3\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}} \frac{1+s(R_1+R_4)C_3}{1+sR_4C_3} \quad 3$$

$C_2 \gg C_1$ ve $R_1 \gg R_4$ varsayımı ile transfer fonksiyonu denklem 4'deki halini alır.

$$TF_{Tip-3} = -\frac{1}{sR_1C_2} \frac{1+sR_3C_2}{1+sR_3C_1} \frac{1+sR_1C_3}{1+sR_4C_3} \quad 4$$

Denklem 4'den yola çıkarak çakışık sıfır ve kutupların buldukları frekanslar sırasıyla denklem 5, 6, 7 ve 8 ile verilmiştir. Kutup ve sıfırların çakışık olması sebebi ile denklem 9 ve 10 da yazılır.

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi R_3 C_2} \quad 5$$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi R_1 C_3} \quad 6$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} \quad 7$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_4 C_3} \quad 8$$

$$f_{z1} = f_{z2} \quad 9$$

$$f_{p1} = f_{p2} \quad 10$$

Kutup ve sıfırların orta noktası kesim frekansı olduğu için bu nokta hata yükselteci devresinin kazancını verir. Kazanç devre elemanları cinsinden denklem 11 ile bulunur. Kazancı bulmanın diğer eşitliğini denklem 12 sağlar.

$$G_{yükselteç}(\omega_k) = \frac{R_3}{R_1} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \quad 11$$

$$G_{yükselteç}(\omega_k) = \frac{1}{G_{sistem} G_{pwm}} \quad 12$$

Burada G_{sistem} açık çevrim dönüştürücünün kesim frekansındaki kazancıdır. G_{pwm} değeri ise darbe genişliği üretici devresinde kullanılan testere dişi dalganın tepe geriliminin çarpma işlemine göre tersidir.

K değeri devre elemanları hesaplamak için kullanılan sabit bir katsayıdır. K değerini belirleyen kritik parametre hata yükseltecinin sağlayacağı faz katkısıdır. Faz katkısı açık çevrim dönüştürücünün kesim frekansındaki faz gecikmesine ve belirlenen faz payına bağlıdır. K değerini elde etmek için hesaplanması gereken faz katkısı (\emptyset_{destek}) denklem 13 ile bulunurken K değeri denklem 14 ile bulunur [23].

$$\emptyset_{destek} = \emptyset_{fp} - 90^\circ - \emptyset_{dönüştürücü} \quad 13$$

Denklem 13'deki \emptyset_{fp} değeri kapalı çevrim dönüştürücü için belirlenen faz payı, $\emptyset_{dönüştürücü}$ açık çevrim dönüştürücünün kesim frekansındaki faz gecikme değeridir.

$$K = \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset_{destek}}{4}\right) \quad 14$$

Kesim frekansı ile sıfır ve kutupların frekanslarının arasındaki ilişkiyi K değeri belirler. Yani sıfırlar kesim frekansının K değeri ile bölünmesi ile kutuplar kesim frekansının K değeri ile çarpılması ile bulunur. Çünkü kesim frekansı kutup ve sıfırların geometrik ortalamasıdır. Sıfır ve kutup noktaları ile K değeri arasındaki ilişki sırasıyla denklem 15, 16 ve 17 ile bulunur.

$$\omega_{z12} = \frac{1}{R_3 C_2} = \frac{1}{R_1 C_3} = \frac{\omega_k}{K} \quad 15$$

$$\omega_{p12} = \frac{1}{R_3 C_1} = \frac{1}{R_4 C_3} = \omega_k K \quad 16$$

$$\frac{\omega_{p12}}{\omega_{z12}} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{R_1}{R_4} = K^2 \quad 17$$

Tip-3 kompensatörün devre şemasındaki R_1 değeri dönüştürücünden ne kadar akım çekileceğine bağlıdır. Eğer dönüştürücü düşük güç, yüksek gerilim üretiyorsa R_1 değerinin büyük olması ($R_1 > 10k\Omega$) gerekir. Dönüştürücü yüksek güç, düşük gerilim üretiyorsa daha düşük bir değer seçilebilir. R_2 değeri hedeflenen çıkış gerilimini referans gerilimi seviyesine ölçeklendirmek için kullanılır. R_2 hesabı için denklem 18 kullanılır.

$$R_2 = \frac{V_{ref}R_1}{V_{çıkış} - V_{ref}} \quad 18$$

R_1 ve R_2 belirlendikten sonra denklem 11 ve denklem 17 ile R_3 'ü elde etmek için denklem 19 bulunur.

$$R_3 = \frac{GyükselteçR_1}{K} \quad 19$$

Denklem 17 kullanılarak R_4 'ü elde etmek için denklem 20 bulunur.

$$R_4 = \frac{R_1}{K^2} \quad 20$$

Denklem 16 kullanılarak C_1 için denklem 21 bulunur.

$$C_1 = \frac{1}{\omega_k R_3 K} \quad 21$$

Denklem 15 kullanılarak C_2 için denklem 22 bulunur.

$$C_2 = \frac{K}{\omega_k R_3} \quad 22$$

Denklem 16 kullanılarak C_3 için denklem 23 bulunur.

$$C_3 = \frac{1}{\omega_k R_4 K} \quad 23$$

4. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

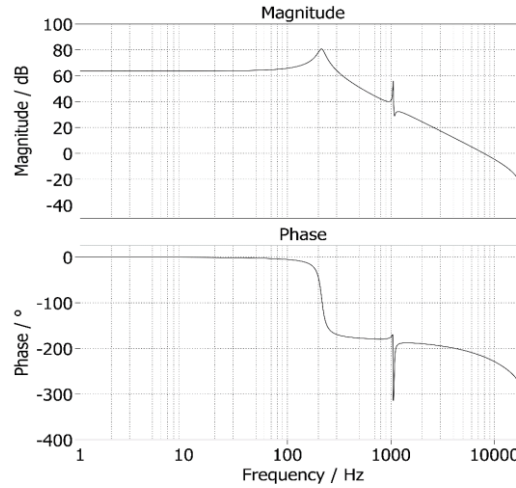
Yeni nesil Z-kaynak da-da dönüştürücünün giriş gerilimi 20V olarak belirlenmiş, kazancı 13.5 kat olarak hesaplanmış ve 270V çıkış gerilimi üreten 130W gücünde bir devre tasarımı yapılmıştır [9]. Tablo 1'de verilen parametreler ile da-da dönüştürücünün açık çevrim devresi kurulmuştur.

Tablo 1. DA-DA dönüştürücü devre elemanlarının değerleri

Parametre	Değer
L_{in}	24 μ H
L_2	16 μ H
C_1	680 μ F
C_2	680 μ F
C_3	47 μ F
C_4	47 μ F
C_0	47 μ F
n	4.6
k	0.9
d	%30
$f_{anahtarlama}$	40kHz
$R_{yük}$	560 Ω

Şekil 5'de Tablo 1'deki değerler ile oluşturulan açık çevrim da-da dönüştürücünün PLECS programı ile elde edilen bode diyagramı verilmiştir. Kesim frekansı 3 kHz seçilmiştir. 3 kHz kesim frekansında

dönüştürücünün kazancı 17.4 dB ve faz gecikmesi -194.3° olmuştur. Bu doğrultuda hata yükselteci devresinden alınması gereken faz katkısı denklem 13 kullanılarak 164.3° bulunur. Faz payı 60° olarak seçilmiştir. Referans gerilimi 5V, testere dişi dalga tepe gerilimi 15V olarak belirlenmiştir. R_1 değeri $53k\Omega$ olarak seçilmiştir. Bölüm 3’de tip-3 kompensatör için verilen denklem akışı kullanılarak Tablo 2’de verilen hata yükselteci devresinin devre elemanları hesaplanmıştır.

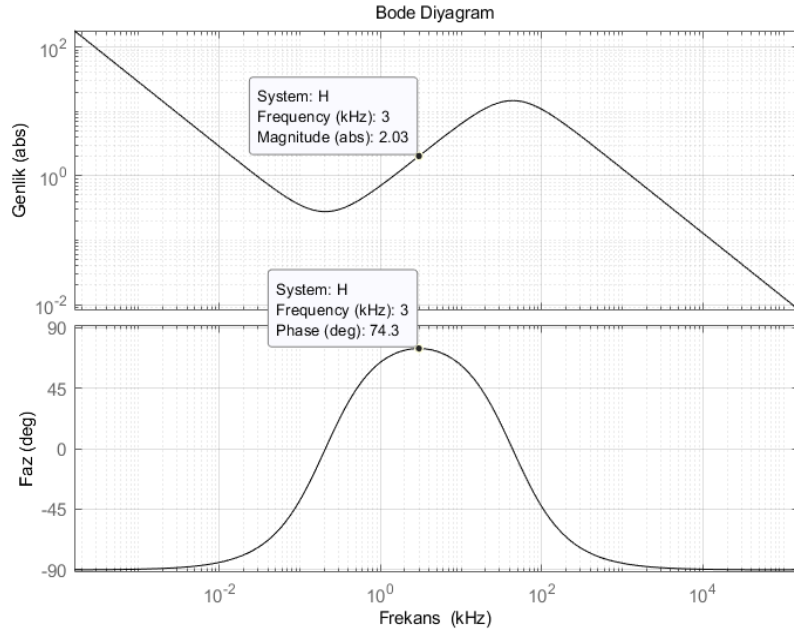


Şekil 5. Açık çevrim da-da dönüştürücü bode diyagramı

Tablo 2. Hata yükselteci devre elemanları

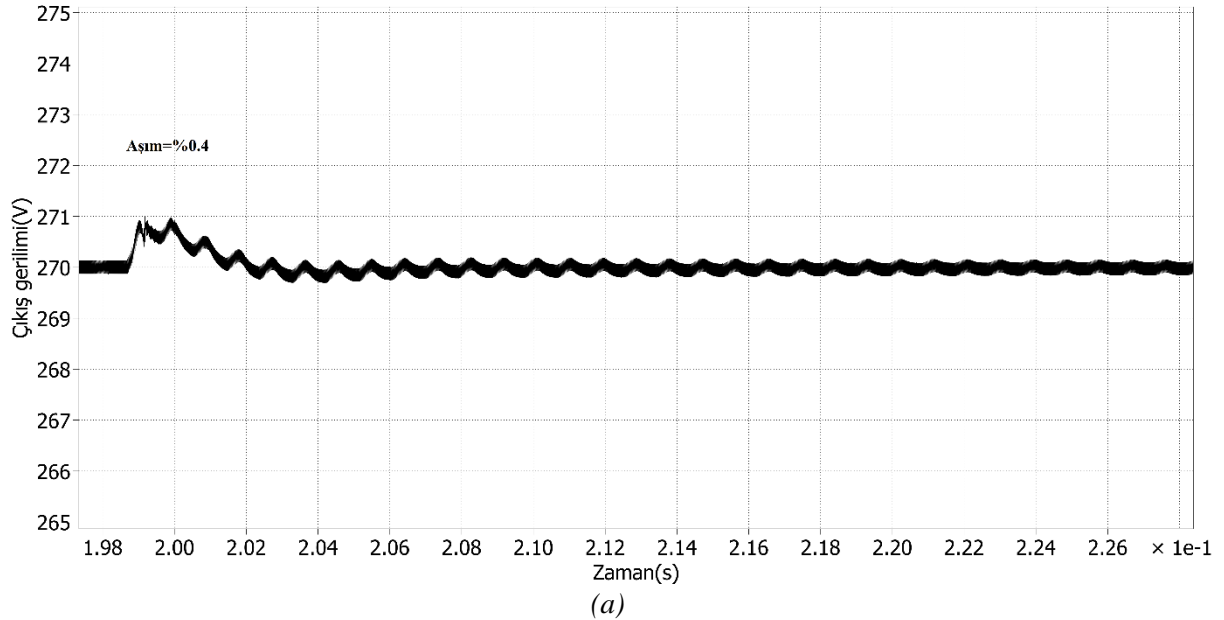
Parametre	Değer
R_1	$53k\Omega$
R_2	$1k\Omega$
R_3	$7.36k\Omega$
R_4	250Ω
C_1	$500pF$
C_2	$100nF$
C_3	$15nF$

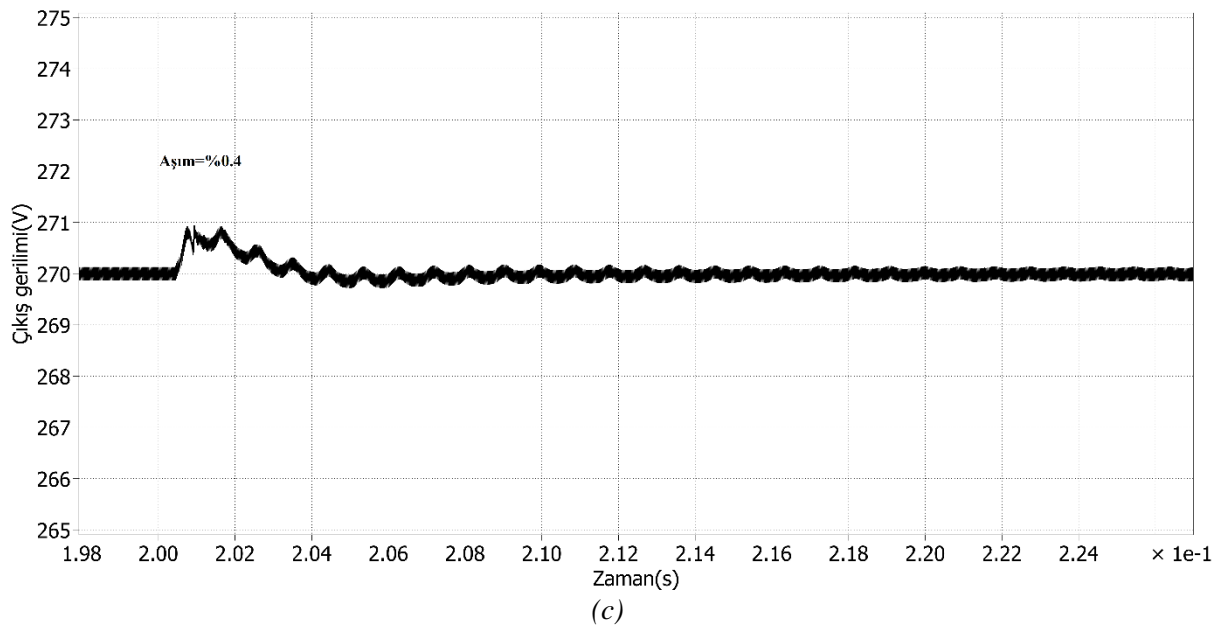
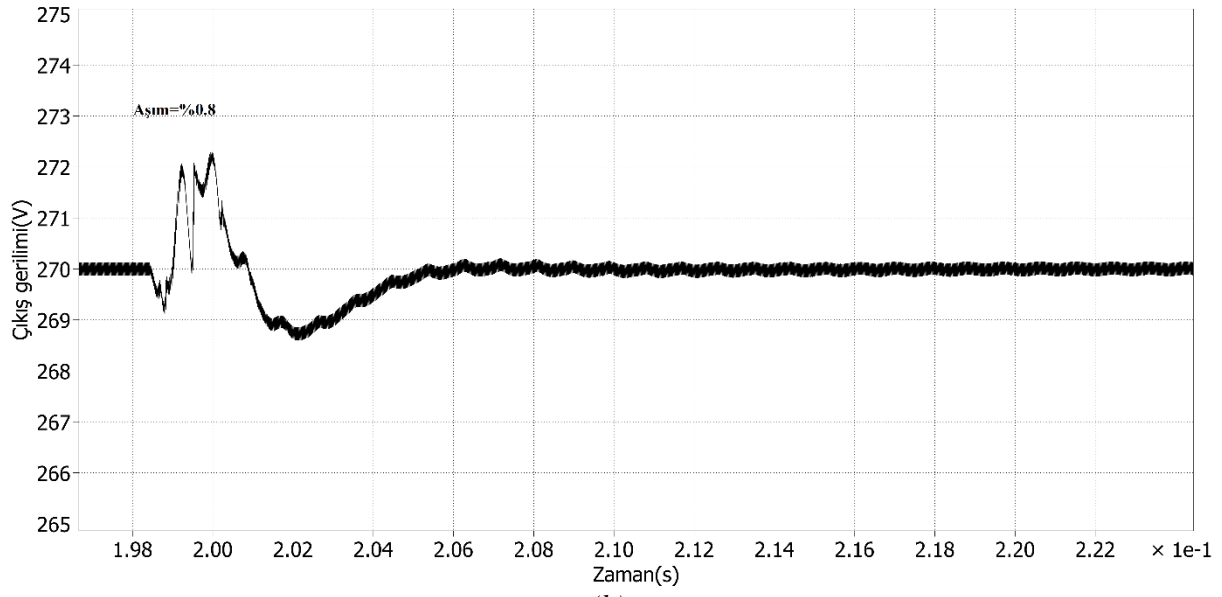
Denklem 2 ile üretilen hata yükselteci devresinin bode diyagramı Şekil 6’da sunulmuştur. Kesim frekansında maksimum faz katkısını sağlamaktadır. Diyagram -90° den başladığı için 3 kHz noktasında görülen 74.3° ($74.3^\circ - (-90^\circ) = 164.3^\circ$) değeri doğrudur. Devrenin kesim frekansında kazancı 17.4 dB (7.41 abs), testere dişi dalga tepe gerilimi 15V olunca hata yükselteci devresinin kesim frekansında kazancı denklem 12 ile 2.03 olarak bulunur. Bu değer de sağlandığı için oluşturulan hata yükselteci devresinin doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 6. Hata yükselteci bode diyagramı

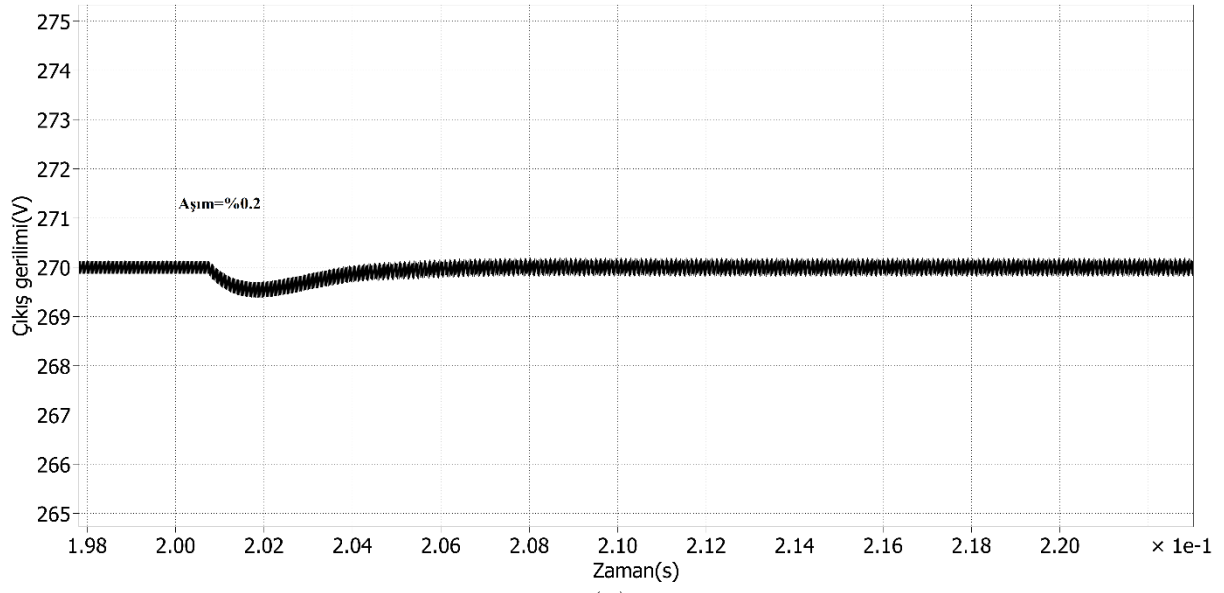
Kapalı çevrim denetleyici sisteminin performansını inceleyebilmek için iki farklı test senaryosu oluşturulmuştur. İlk olarak sabit yük altında ($R_{yük} = 560\Omega$) altında giriş gerilimi ($V_{giriş}$) 18V-22V aralığında değiştirilerek dönüştürücünün performansı incelenmiştir. Şekil 7 (a)'da giriş gerilimi 20V'dan 22V'a yükseltilmiştir. Şekil 7 (b)'de giriş gerilimi 22V'dan 18V'a düşürülmüştür. Şekil 7 (c)'de giriş gerilimi 18V'dan 20V'a yükseltilmiştir. Tüm gerilim değişimlerinde aşım %1'in altında kalırken yerleşim zamanı da 20ms altında kalmaktadır.



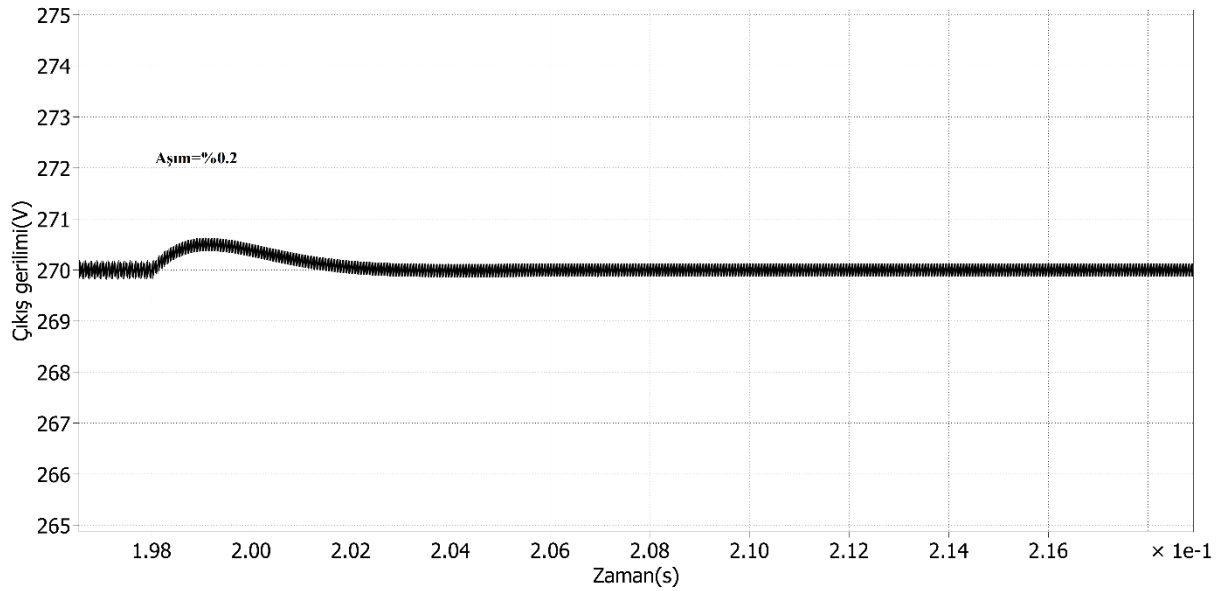


Şekil 7. Giriş gerilimi değişimi anında çıkış gerilimi tepkileri, (a) $V_{giriş}=20V \rightarrow V_{giriş}=22V$, (b) $V_{giriş}=22V \rightarrow V_{giriş}=18V$, (c) $V_{giriş}=18V \rightarrow V_{giriş}=20V$

Kapalı çevrim denetleyici sisteminin performansını inceleyebilmek için ikinci test senaryosunda sabit giriş gerilimi altında yük değişimi gerçekleştirilmiştir. Giriş gerilimi 20V ile sabit iken Şekil 8 (a)'da yük 560Ω (130W)'dan 460Ω (158W)'a düşürülmüş, Şekil 8 (b)'de yük 460Ω 'dan 560Ω 'a yükseltilmiştir. Her iki değişim esnasında da aşım %1'in altında kalırken yerleşim zamanı da 10ms üzerine çıkmamaktadır.



(a)



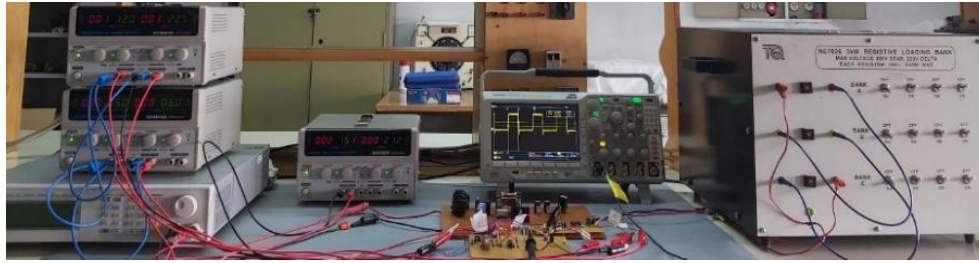
(b)

Şekil 8. Yük değişimi esnasında dönüştürücü tepkileri, (a) $R_{yük}=560\Omega$ (130W) \rightarrow $R_{yük}=460\Omega$ (158W), (b) $R_{yük}=460\Omega$ (158W) \rightarrow $R_{yük}=560\Omega$ (130W)

Şekil 7 ve Şekil 8'deki sonuçlara göre giriş geriliminde ve yükte değişimler meydana gelmesine rağmen K-faktör tasarım yöntemi ile oluşturulan kapalı çevrim dönüştürücü sistemi sabit çıkış gerilimi üretmeyi sağlamaktadır. Dönüştürücünün kararlı durumuna dönmesini gösteren süre seçilen kesim frekansına, aşım miktarı faz payına bağlıdır. Dönüştürücünün daha hızlı tepki verebilmesi için kesim frekansı artırılabilir. 3 kHz kesim frekansı için hata yükselteci devresinden elde edilmesi gereken faz katkısı 164.3° dir. Kesim frekansı 4 kHz değerine yükseltirse faz katkısının 175° olması gerekir. Hata yükselteci devresinden alınabilen maksimum faz katkısı 180° dir. 4 kHz kesim frekansında 180° sınır değere çok yaklaşıldığı için deneysel çalışmada hedeflenen faz katkısı (175°) elde edilemeyebilir. Bundan dolayı belirlenen faz payı hedefinin (60°) altında bir sonuç ortaya çıkabilir. Faz payının daha düşük bir değerde kalması aşım miktarını artırır. Aşım miktarının artması da salınım miktarını artırır. Kesim frekansı sabit tutularak faz payı artırılırsa aşım miktarı azalır ancak daha az aşım için kapalı çevrim sistem dönüştürücü tepkisini yavaşlatmak durumunda kalır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

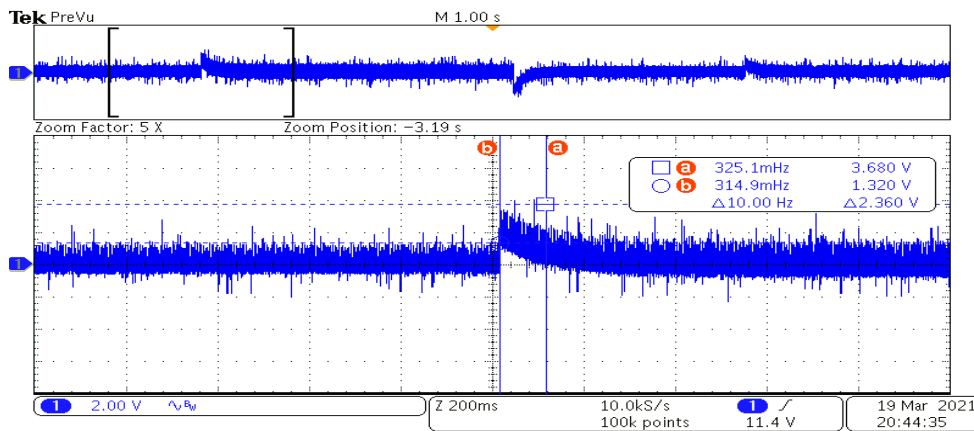
Benzetim çalışmasında oluşturulan kapalı çevrim dönüştürücünün Şekil 9'da verilen düzeneği ile deneysel çalışması yapılmıştır. Benzetim çalışması ile elde edilen devre elemanları aynı değerde kullanılmıştır. Bu elemanlara ek olarak hata yükseltecinde LF347N parça numaralı opamp kullanılmıştır. Karşılaştırıcı devrede LM393P parça numaralı karşılaştırıcı entegre ve testere dışı dalga üretimi için NE555 parça numaralı zamanlayıcı entegresi kullanılmıştır. Primer ile sekonder arasındaki izolasyonu sağlamak için TLP250 parça numaralı izolatör ve anahtarı sürmek için IR2113 parça numaralı kapı sürme entegresi kullanılmıştır. Dönüştürücünün %50 doluluk oranı sınırından dolayı hata yükselteci devresinin çıkışı sınırlandırılmıştır. Dönüştürücüye ilk enerji verildiğinde kapalı çevrim sistem kararlı duruma ulaşana kadar maksimum %40 doluluk oranı üretebilmektedir. Dönüştürücü kararlı durum çalışmasında 268V-271V aralığında çıkış gerilimi üretmektedir. Hedeflenen çıkış gerilimi 270V olduğu için %1 oranında bir hata payı ortaya çıkmaktadır.



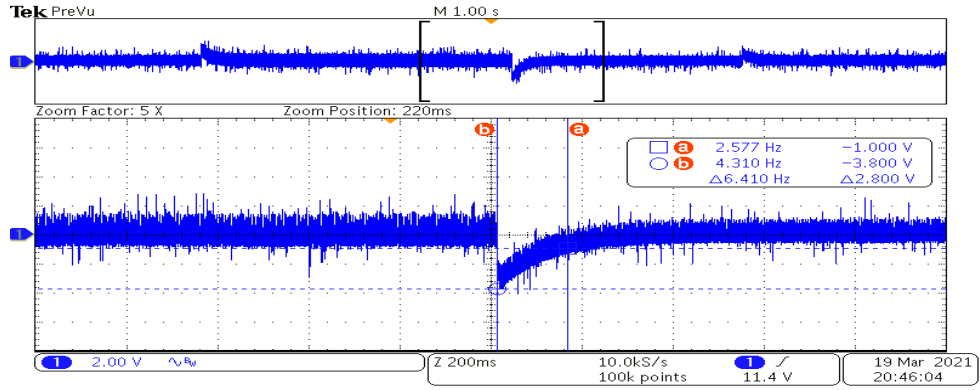
Şekil 9. Deney düzeneği

Şekil 10'da sabit yük ($R_{yük}=560\Omega$) altında giriş gerilimi ($V_{giriş}$) 18V-22V aralığında değiştirilerek kapalı çevrim dönüştürücünün deneysel performansı incelenmiştir. Şekil 10 (a)'da giriş gerilimi 20V'dan 22V'a yükseltilmiştir. Şekil 10 (b)'de giriş gerilimi 22V'dan 18V'a düşürülmüştür. Şekil 10 (c)'de giriş gerilimi 18V'dan 20V'a yükseltilmiştir. Tüm gerilim değişimlerinde aşım %1'in altında kalırken yerleşim zamanı 150ms civarında olmaktadır.

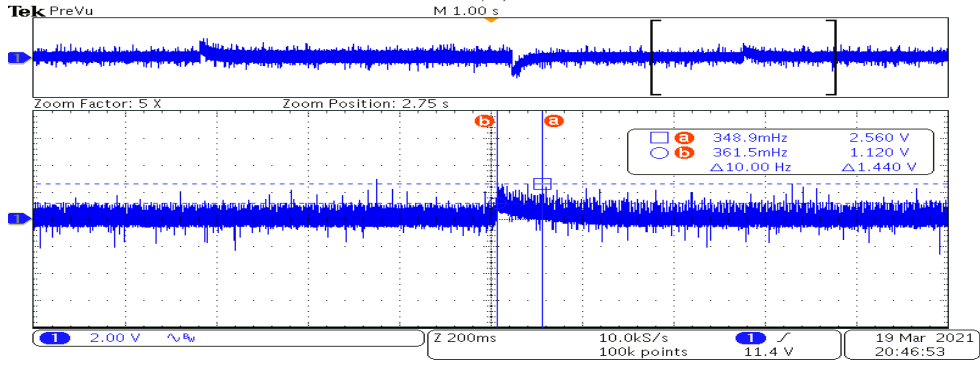
Şekil 11'de giriş gerilimi sabit tutularak (20V) yük değişimine karşı kapalı çevrim sistemin tepkileri incelenmiştir. Şekil 11 (a)'da yük 560Ω (130W)'dan 460Ω (158W)'a düşürülmüştür, Şekil 11 (b)'de yük 460Ω 'dan 560Ω 'a yükseltilmiştir. Her iki değişim esnasında da aşım %1.5 civarında olurken yerleşim zamanı da 200ms civarında olmuştur. Yük direnci düşürüldüğünde yerleşim zamanının daha uzun olmasının sebebi dönüştürücünün sağlaması gereken gücün artırılmasından kaynaklanmaktadır.



(a)

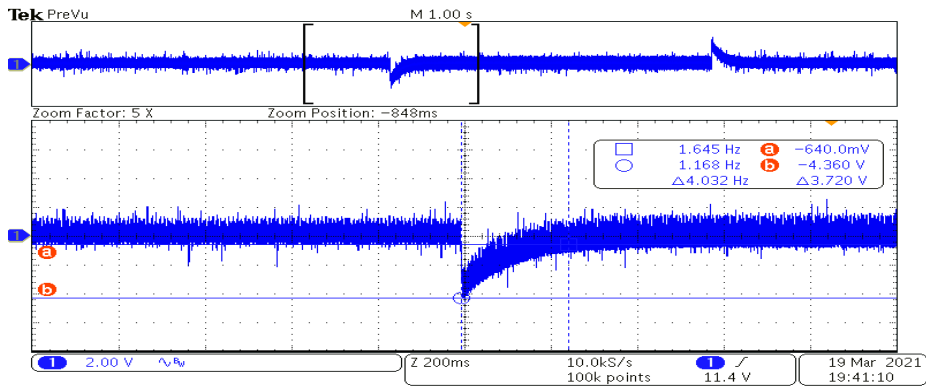


(b)

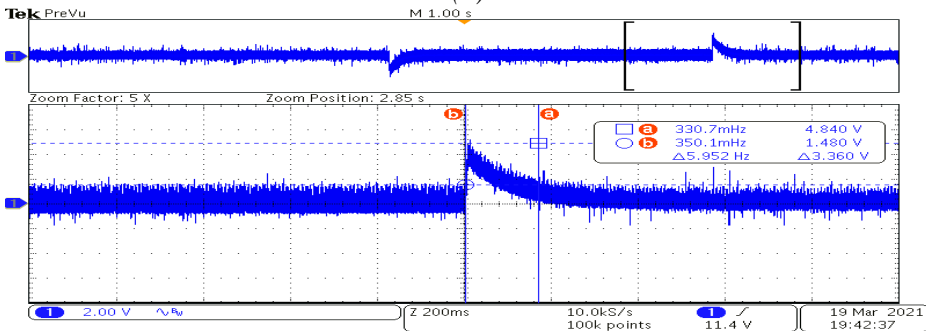


(c)

Şekil 10. Giriş gerilimi değişimi anında çıkış gerilimi tepkileri, (a) $V_{giriş}=20V \rightarrow V_{giriş}=22V$, (b) $V_{giriş}=22V \rightarrow V_{giriş}=18V$, (c) $V_{giriş}=18V \rightarrow V_{giriş}=20V$



(b)



(a)

Şekil 11. Yük değişimi esnasında dönüştürücü tepkileri, (a) $R_{yük}=560\Omega (130W) \rightarrow R_{yük}=460\Omega (158W)$, (b) $R_{yük}=460\Omega (158W) \rightarrow R_{yük}=560\Omega (130W)$

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada açık çevrim yeni nesil yüksek gerilim kazançlı ve izoleli Z-kaynak da-da dönüştürücü topolojisi kapalı çevrim bir dönüştürücü sistemi haline getirilmiştir. Kapalı çevrim sistemi oluşturabilmek için analog denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan tip-3 kompanseör tasarımı için deneme yanılma yönteminden uzaklaşıp belirli bir matematiksel model kullanarak tasarım yapmaya olanak sağlayan K-faktör tasarım yöntemi kullanılmıştır. K-faktör tasarım yönteminin belirli bir matematiksel denklem akışının olması ve bu akış içerisinde dönüştürücünün küçük sinyal modelinin kullanılması yöntemin kullanımını kolaylaştırmak ile birlikte güvenilirliğini arttırmaktadır. Hesaplamaların matematiksel dayanağının olması optimizasyon ihtiyacı olmadan hesaplanan parametreleri kullanmayı mümkün hale getirmektedir. Yöntemin analog bir çözüm olması bundan dolayı yazılım ihtiyacı bulunmaması dijital yöntemlere göre çok daha az maliyet ile gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında K-faktör tasarım yönteminin teorik çalışması yapılmıştır. Teorik çalışmadan sonra PLECS de benzetim çalışması yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Deneysel çalışma da yapılarak sonuçları benzetim çalışması sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışması ve deneysel çalışma sonuçları K-faktör tasarım yöntemi ile oluşturulan denetleyicinin çıkış gerilimini kontrol edebildiğini göstermiştir. Kapalı çevrim dönüştürücü giriş geriliminde ve yükünde belirli sınırlar içerisinde değişimler geçirmesine rağmen sabit çıkış gerilimi üretmeyi başarmıştır. Sonuç olarak K-faktör tasarım yönteminin tasarım adımları doğru uygulandığında yeni nesil bir da-da dönüştürücü için güvenilir bir denetleyici yöntemi olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Soheli, S.N., Sarowar, G., Hoque, A., Hasan, S. (2018). Design and Analysis of a DC-DC Buck Boost Converter to Achieve High Efficiency and Low Voltage Gain by using Buck Boost Topology into Buck Topology. In 2018 International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE), 1-4.
- [2] Wu, T., Chen, Y. (1998). Modeling PWM DC/DC Converters Out of Basic Converter Units. IEEE Transactions on Power Electronics, 13(5), 870-881.
- [3] Hendawi, E., Salem, M.M. (2016). A New Simple High Performance Control Method for DC-DC Converters. In 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 288-292.
- [4] Sakhavati, S., Babaei, E. (2016). Coupled Inductor Based Boost DC/DC Converter. In 2016 7th Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference (PEDSTC), 191-196.
- [5] Ding, X., Yu, D., Song, Y., Xue, B. (2018). Switched-Coupled Inductor DC-DC Converters. In 2018 IEEE International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES), 174-179.
- [6] Ma, H., Zhang, B., Qiu, D., Han, J., Ma, H. (2014). A Novel High Gain DC-DC Converter with Coupled Inductor Voltage Multiplier. In 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition, 16-20.
- [7] Khosroshahi, A.E., Shotorbani, A.M., Dadashzadeh, H., Farakhor, A., Wang, L. (2019). A New Coupled Inductor-Based High Step-Up DC-DC Converter for PV Applications. In 2019 20th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1-7.
- [8] Lakshmi, K.R., Dhanasekaran, R. (2016). Design and Analysis of Coupled Inductor based High Step-Up DC-DC Converter. In 2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), 827-831.
- [9] Evran F. (2012). Yüksek Gerilim Kazançlı Kuplajlı Endüktör Kullanan Z-Girişli DA-DA Dönüştürücü Topolojileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [10] Evran, F., Aydemir, M.T. (2012). A Coupled-Inductor Z-Source Based Dc-Dc Converter With High Step Up Ratio Suitable For Photovoltaic Applications. In 2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 647-652.
- [11] Evran, F., Aydemir, M.T. (2014). Isolated High Step-Up DC-DC Converter With Low Voltage Stress. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(7), 3591-3603.
- [12] Tür, M.R., Yaprakdal, F. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Bir Sistemde Güç Kalitesinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(3), 572-587.
- [13] Narasimharaju, B.L., Dubey, S.P., Singh, S.P. (2010). Voltage Mode Control of Coupled Inductor Bidirectional DC to DC Converter. In 2010 IEEE International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC), 1-6.
- [14] Veerachary, M., Pramoda, M. (2008). Digital PID Compensator Design For Coupled Inductor Boost Converter. In 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, 1-5.
- [15] Vaghela, M.A., Mulla, M.A. (2018). Peak Current Mode Control of Coupled Inductor based High Step-Up Gain Boost Converter. In 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE), 1-6.
- [16] Carrero, N., Batlle, C., Fossas, E. (2014). Experimental Evaluation of a Cascade Sliding Mode-PI Controller for a Coupled-Inductor Boost Converter. In 2014 13th International Workshop on Variable Structure Systems (VSS), 1-6.
- [17] Carrero, N., Batlle, C., Fossas, E. (2013). Cascade Sliding Mode-PID Controller for a Coupled-Inductor Boost Converter. In 2013 52nd IEEE Conference on Decision and Control, 3653-3658.
- [18] Sharma, K., Palwalia, D.K. (2017). Robust Controller Design for DC-DC Converters Using Fuzzy Logic. In 2017 4th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC), 477-481.
- [19] Kurokawa, F., Maruta, H., Mizoguchi, T., Nakamura, A., Osuga, H. (2009). A New Digital Control DC-DC Converter with Multi-layer Neural Network Predictor. In 2009 International Conference on Machine Learning and Applications, 638-643.
- [20] Mechernene, A., Alaoui, L.C., Zerikat, M., Benharir, N., Benderradji, H. (2013). VGPI Controller for High Performance Speed Tracking of Induction Motor Drive. In 2013 International Conference on Systems and Control, 472-477.
- [21] Prasad, P.H.K., Rao, M.V.G. (2011). Control of DC-DC Converters. *International Journal of Electrical Engineering*, 4(1), 131-141.
- [22] Vangari, A., Haribabu, D., Sakamuri, J.N. (2015). Modeling and Control of DC/DC Boost Converter using K-Factor Control for MPPT of Solar PV System. In 2015 International Conference on Energy Economics and Environment (ICEEE), 1-6.
- [23] Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P. (2003). *Power Electronics Converters, Applications and Design. Control of Switch-Mode dc Power Supplies*, John Wiley&Sons Inc., Third Edition.
- [24] Venkataramana, S. (2020). Small Signal Modeling of Non-Isolated High Gain DC-DC converter. In 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), 1-5.
- [25] Ramchandra, D.S., Sreedevi, V.T. (2013). Small Signal Analysis and Closed Loop Control Design of Z-source DC-DC Chopper. In 2013 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, 424-430.

- [26] D'Amico, M.B., Gonzalez, S.A. (2017). A small-signal averaged model of a coupled-inductor boost converter. In 2017 IEEE 8th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS), 1-4.
- [27] Liu, J., Hu, J., Xu, L. (2007). Dynamic Modeling and Analysis of Z Source Converter—Derivation of AC Small Signal Model and Design-Oriented Analysis. IEEE Transactions on Power Electronics, 22(5), 1786-1796.
- [28] Muhamad, N.D., Sahid, M.R., Yatim, A.H.M., Idris, N.R.N., Ayob, M.S. (2005). Design of Power Stage and Controller for DC-DC Converter Systems Using PSPICE. In 2005 International Conference on Power Electronics and Drives Systems, 903-908.

The Effects of Cutting Parameters on the Kerf and Surface Roughness on the Electrode in Electro Erosion Process

Ferhat CERİTBİNMEZ^{1*}  Erdoğan KANCA² 

¹Haier Europe, Candy - Hoover Group, Research and Development Center, 26010, Odunpazarı/ESKİŞEHİR

²İskenderun Technical University, Department of Mechanical Engineering, 31200, İskenderun/HATAY

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 11/04/2021
Revision: 27/05/2021
Accepted: 27/05/2021

Highlights

- Copper erosion.
- EDM process.
- Kerf measurement.

Keywords

EDM
Cupromax CuCrZr
Kerf
Surface Roughness

During the electro erosion process, which is a thermal chip removal method, heating, melting and evaporation occur between the electrode material and the workpiece due to sparking and thermal effects, in this case both the workpiece and the electrode material are worn. In this study, the kerf angle and the electrode wear rate were analyzed by taking into account the size changes in the erosion areas of the copper electrode, which were eroded as a result of different processing parameters.

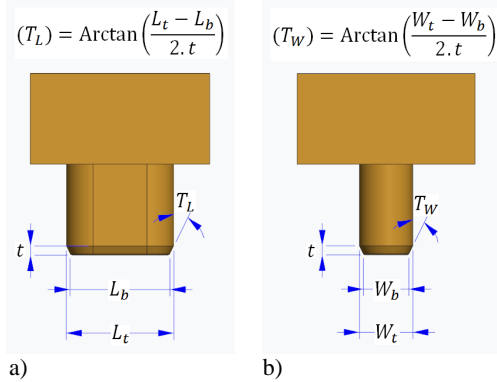


Figure A. Kerf Angle Calculation (a) Longitudinal kerf measurement, (b) Transverse kerf measurement)

Purpose: In this study, electrode wear caused by machining from cold work tool steel with heat treated 60-62 HRC hardness was investigated by using electro erosion method and Cupro MAX CuCrZr electrode. In addition, it is aimed to determine the effects of processing parameters on the surface roughness of each electrode and electrode wear rates by going beyond the usual measurements.

Theory and Methods: In this study, erosion process was performed using three different current values (6.25, 12.5, 25 A), three different pulse on times (3, 6, 9 μ s) and pulse off times (4, 6, 8 μ s), respectively, and the electrode wear rate of these processing parameters, the effects on kerf angle and surface roughness were analyzed by macro and analytical measurements. Surface roughness, kerf measurements and macro images of the electrodes were analyzed using Mitutoyo SJ200 surface roughness tester, 0.001 mm precision mitutoyo micrometer and Nikon SMZ 745T microscope, respectively.

Results The results have shown that with increasing current, machining time decreased due to increased sparking between workpiece and electrode, but the average surface roughness, kerf angle and wear rate of the electrode increased. The analytical measurements and experimental results are presented and compared in Section 3.

Conclusion: According to the analytical calculations and macro analysis results obtained as a result of experimental studies, it has been determined that as the pulse on time increases, the electrode wear rate decreases. The reduction in electrode wear resulted from the increase in the strength of the electrode due to the protective layer formed by the adhesion of the dielectric fluid and carbon particles released from the workpiece to the electrode surface.



The Effects of Cutting Parameters on the Kerf and Surface Roughness on the Electrode in Electro Erosion Process

Ferhat CERİTBİNMEZ^{1,*} Erdoğan KANCA²

¹*Haier Europe, Candy - Hoover Group, Araştırma ve Geliştirme Merkezi, 26010, Odunpazarı/ESKİŞEHİR*

²*İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 31200, İskenderun/HATAY*

Abstract

In this study, electrode wear caused by machining from cold work tool steel with heat treated 60-62 HRC hardness was investigated by using electro erosion method and Cupro MAX CuCrZr electrode. The workpiece and electrode material are eroded by melting and evaporation as a result of the electrical arc (sparking) that occurs between the electrode and the workpiece in the dielectric environment. These erosions can be interpreted by changes in electrode form measurements and surface roughness. In this context, erosion process was performed using three different current values (6.25, 12.5, 25 A), three different pulse on times (3, 6, 9 μ s) and pulse off times (4, 6, 8 μ s), respectively, and the electrode wear rate of these processing parameters, the effects on kerf angle and surface roughness were analyzed by macro and analytical measurements. As a result of the analysis, with increasing current, machining time decreased due to increased sparking between workpiece and electrode, but the average surface roughness, kerf angle and wear rate of the electrode increased. It has been determined that as the pulse on time increases, the electrode wear rate decreases. The reduction in electrode wear resulted from the increase in the strength of the electrode due to the protective layer formed by the adhesion of the dielectric fluid and carbon particles released from the workpiece to the electrode surface.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 11/04/2021
Düzeltilme: 27/05/2021
Kabul: 27/05/2021

Keywords

EDM
Cupromax CuCrZr
Kerf
Surface Roughness

Anahtar Kelimeler

EEİ
Cupromax CuCrZr
Kerf
Yüzey pürüzlülüğü

Elektro Erozyon İşleminde Kesme Parametrelerinin Elektrot Üzerindeki Kerf ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Öz

Bu çalışmada elektro erozyon yöntemi ve Cupro MAX CuCrZr elektrot kullanılarak, ısıtılmış 60-62 HRC sertliğe sahip soğuk iş takım çeliğinden talaş kaldırma neticesinde meydana gelen elektrot aşınması incelenmiştir. Dielektrik ortamda elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen elektriksel ark (kıvılcımlanma) neticesinde ergime ve buharlaşma yoluyla iş parçası ve elektrot malzeme aşınır. Bu aşınmalar elektrot form ölçüleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerle yorumlanabilir. Bu kapsamda sırasıyla üç farklı akım değeri (6.25, 12.5, 25 A), üç farklı ark süresi (3, 6, 9 μ s) ve bekleme süreleri (4, 6, 8 μ s) kullanılarak erozyon işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işleme parametrelerinin elektrot aşınma hızı, kerf açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri makro ve analitik ölçümlerle analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, akımının artmasıyla, iş parçası ve elektrot arasında artan kıvılcımlanmaya bağlı olarak işleme süresi azalmıştır fakat elektrodun ortalama yüzey pürüzlülüğü, kerf açısı ve aşınma hızı artmıştır. Ark süresi arttıkça elektrot aşınma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Elektrot aşınmasındaki azalma, dielektrik sıvı ve iş parçasından salınan karbon partiküllerinin elektrot yüzeyine yapışarak oluşan koruyucu tabaka nedeniyle elektrotun mukavemetinin artmasından kaynaklanmıştır.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektro erozyonla işleme (EEİ), dielektrik sıvı altında elektrot (katot) ve iş parçası (anot) arasında hızla tekrar eden elektriksel deşarjlar neticesinde iş parçasının ergimesi ve buharlaşmasıyla talaş kaldırma prensibine dayanan geleneksel olmayan bir imalat yöntemidir [1-3]. Bu yöntemin en büyük avantajı sertliği yüksek iletken malzemelerden termal yöntemle talaş kaldırılmasıdır, bu özelliğinden dolayı başta kalıpcılık olmak üzere havacılık ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4,5]. EEİ’de elektrot aşınması, kerf açısı ve yüzey pürüzlülüğü başlıca kalite gösterge parametreleridir [6,7]. Doğru seçilen EEİ parametreleri ve dayanıklı elektrot kullanımı işlem kalitesini büyük ölçüde etkiler. Elektrot aşınmasının malzeme kaybına sebep olmasının yanı sıra işlenecek olan parçaya aktarılacak olan şeklin ve formun da istenilenin dışına çıkması anlamına gelir [8]. Muralova ve diğerleri, EEİ yönteminde bakır ve grafit elektrotlar kullanarak 1.2363 ve 1.2343 ESR çeliklerinden farklı işleme parametreleri ile talaş kaldırılarak elektrotların köşe ve kenar aşınmalarını elektron mikroskobu altında incelemiştir. Ayrıca, kullanılan elektrotların aşınma hızını, işlenmiş numunelerin topografyasını ve yüzey morfolojisini araştırmışlardır. Grafit elektrot kullanımında daha az aşınma olduğunu, elektrot formunun korunmasına bağlı olarak daha hassas şekil ve ölçü elde edildiğini bildirmişlerdir [8]. Pavan ve diğerleri, inconel 600 alaşımının EEİ’de pirinç, bakır ve tungsten bakır elektrotlar kullanılarak işlenebilirliğini araştırarak; ark süresi, bekleme süresi, akım, elektrot ve iş parçası arasındaki boşluk gibi işleme parametrelerinin talaş kaldırma oranı (TKO) ve elektrot aşınma oranı (EAO) üzerindeki etkilerini Taguchi Analizi ile incelemiştir. Sonuç olarak, tungsten bakır elektrotlar kullanılarak en yüksek talaş kaldırma oranı ($0.01579 \text{ cm}^3/\text{dak}$) ve en düşük elektrot aşınması ($0.00045 \text{ cm}^3/\text{dak}$) elde edilmiştir [9]. Dhanabalan ve diğerleri, Ti Gr 2/3.7035 titanyum alaşımını EEİ yöntemiyle bakır, pirinç ve alüminyum elektrot kullanarak değişken akım, ark ve bekleme süresi değerlerini kullanarak işlemiş; değişen işleme parametrelerinin elektrot aşınma oranı, talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü (YP) üzerine etkilerini rapor etmişlerdir. Yapılan taguchi analizleri neticesinde işleme akımının artmasıyla EAO, TKO ve YP’nin arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca en yüksek EAO ve TKO pirinç elektrot kullanımında tespit edilmiştir. Elektrot malzemesinin termal iletkenliği ve ergime noktasının EAO ve TKO’na etki ettiği bildirilmiştir [10]. Nas ve diğerleri, EEİ yönteminde 100, 200 ve 300 μs vurum süreleri; 10, 20 ve 30 μs bekleme süreleri ve 10, 20 ve 30 A boşalım akımları gibi işleme parametreleriyle bakır ve grafit elektrot kullanarak AISI 1.2738 malzemesinden talaş kaldırmış, elde edilen verileri Taguchi Orthogonal Array Design L54 istatistiksel metodunu kullanarak en düşük yüzey pürüzlülüğü için ideal parametreleri belirlemede kullanmışlardır. Yapılan analizler neticesinde yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametreler sırasıyla akım, vurum süresi, bekleme süresi ve elektrot malzeme türü olarak belirlenmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri bakır elektrot kullanımında Ton 300 μs , Toff 30 μs ve 10 A parametrelerinin seçilmesi neticesinde $4,73 \mu\text{m}$ olarak, grafik elektrot kullanımında ise Ton 100 μs Toff 10 μs ve 20 A parametreleri seçilmesi neticesinde $4,35 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır [11]. Sahu ve Mahapatra, titanyum alaşımı ve AISI 1040 çeliğini EEİ yöntemiyle işleyerek; dielektrik sıvı olarak EDM-30, elektrot malzeme olarak bakır, pirinç ve AlSi10Mg RP kullanmıştır. Akım ve ark süresi gibi işleme parametrelerinin işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne, yüzey çatlak yoğunluğuna, beyaz tabaka kalınlığına ve beyaz tabakanın mikro sertliğine etkilerini incelemiştir. Yüzey çatlaklarını gözlemlmek için taramalı elektron mikroskobunu, optimum parametrelerin analizi için Grey-TOPSIS metodunu kullanarak; en iyi yüzey özelliklerinin AlSi10Mg RP elektrot kullanımında düşük akım ve ark süresi işleme parametrelerinde elde edildiğini rapor etmişlerdir [12]. Rizvi ve diğerleri, AISI 4340 çeliğinin EEİ yönteminde bakır-tungsten elektrot kullanılarak işlenmesinde AISI 4340’ın yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Akım, voltaj, ark süresi ve darbe boşluk oranı gibi işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini Anova ile analiz etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için en önemli faktörün ark süresi olduğunu, diğer parametrelerin ihmal edilebilir olduğunu, daha düşük bir ark süresi değerinin daha düşük yüzey pürüzlülüğü için uygun olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca iyi bir yüzey için düşük ark süresi ve akım, orta düzeyde darbe boşluk oranı ve daha düşük voltaj parametrelerinin kullanılmasını önermişlerdir [13]. Joshi ve diğerleri, EN8 kalıp çeliğinin EEİ yönteminde bakır elektrot kullanılarak işlenmesini ve işleme parametrelerinin işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. İşleme parametrelerinin yüksek değerlerinde elektrot aşınma oranının talaş kaldırma oranı ile orantılı olduğunu vurgulamışlardır [14]. Valentinčić ve diğerleri, mikro EEİ’de elektrodun doğrusal ve hacimsel aşınma ölçümlerini ve belirsizliklerini, makine üzerinde temaslı (touch) ve temassız (lazer) ölçüm yöntemleriyle belirlemeye çalışmışlardır. Yeterli büyüklükte elektrot

kullanıldığında ve yeterli şekilde işleme yapıldığında doğrusal aşınma ölçümlerinin touch yöntemi (temaslı) ile etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceğini buna karşılık hacimsel aşınmanın lazer yöntemi ile ölçülmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Daha küçük çaplı elektrot kullanımında elektrot aşınmasını etkili bir biçimde telafi etmek için lazer yönteminin kullanılmasını önermişlerdir. Doğrusal aşınma ölçümleri için Lazer yönteminin yalnızca yaklaşık 40 µm altındaki elektrot aşınmasını ölçerken kullanıldığını, lazer tezgah üstü ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilen ölçümlerin standart belirsizliklerinin Touch on (temaslı) ölçüm yönteminden önemli ölçüde daha düşük olduğunu vurgulamışlardır [15]. Literatür çalışmaları incelendiğinde, EEİ yöntemi kullanılarak talaş kaldırmak için bakır, grafit, pirinç, tungsten bakır, alüminyum, AlSi10Mg RP gibi elektrot malzemelerinin kullanıldığı ve bu elektrotlarla farklı işleme parametreleri kullanımında iş parçasında elde edilen yüzeylerin kalitelerinin analiz edildiği görülmektedir. Dalma erozyon olarak ta bilinen EEİ’de kullanılan elektrot ve özellikleri iş parçasının yüzeyinde elde edilen formda ve yüzey pürüzlülüğünde etkilidir. Bu çalışmada farklı işleme parametreleri neticesinde aşınan bakır elektrodun erozyona mağruz kalan bölgelerindeki ölçü değişimleri dikkate alınarak kerf açısı ve elektrot aşınma hızı analiz edilmiştir. Ayrıca alışlagelmiş ölçümlerin dışına çıkılarak, işleme parametrelerinin her bir elektrodun yüzey pürüzlülüklerine etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Cupro MAX CuCrZr Elektrot (Cupro MAX CuCrZr Electrode Materials)

Bu çalışmada EEİ parametrelerinin elektrot aşınmasına etkilerinin tespiti için saf bakıra göre daha yüksek sertliğe ve elektriksel iletkenliğe sahip olan Cupro MAX CuCrZr Bakır Krom Zirkonyum Alaşımı tercih edilmiştir. Endüstride başta kaynak elektrot ucu olarak, alüminyum ve plastik enjeksiyon makinalarında püskürtme memesi olarak, elektro erozyon işleminde elektrot olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da EEİ elektrodu olarak seçilerek Sağlam Metal firmasından kare lama şeklinde tedarik edilmiştir. Söz konusu bakırın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri tedarikçi firmadan temin edilerek sırası ile Tablo 1, 2 ve 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Cupro MAX CuCrZr Kimyasal bileşeni

Krom (% Cr)	Zirkonyum (% Zr)	Diğer (Maksimum)	Bakır (% Cu)
1	0.1	0.2	Kalan

Tablo2. Cupro MAX CuCrZr Fiziksel Özellikleri

Elektrik iletkenliği (%)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	Isı İletkenliği (W/mK)	Yoğunluk (g/cm ³)
86	17	320	8.9

Tablo 3. Cupro MAX CuCrZr Mekanik Özellikleri

Sertlik (HB)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (kN/mm ²)	Elastisite Modülü (kN/mm ²)	Uzama (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
120-140	400-500	320-410	122	18	8.9

Lama şeklinde 20 x 20 mm ölçülerinde temin edilen Cupro MAX CuCrZr bakır öncelikle Proth satih taşlama tezgahında taşlanarak Şekil 1 (a)’da gösterildiği gibi parlatılmıştır. Daha sonra Şekil 1 (b)’de görüldüğü gibi Charmilles Robofil 290P tel erozyon tezgahında 20 x 20 x 20 mm ölçülerinde kesilmiştir. İstenilen slot formlarının elde edilmesinde Makino S33 model bilgisayarlı sayısal kontrollü takım tezgahı kullanılmıştır. İş parçasında 3 mm derinlikte 14 x 8 mm slot formu oluşturmak için bakırlar Şekil 1 (c)’de gösterildiği gibi 10 mm yüksekliğinde slot şeklinde işlenmiştir.



Şekil 1.

Elektrotların hazırlanması(a) Ham kütük, b) Kare bakırlar, c) Formlu bakırlar)

2.2. Sleipner İş Parçası (Sleipner Workpiece Material)

EEİ yöntemi ve bakır elektrot kullanılarak talaş kaldırma işleminde iş parçası olarak 60-62 HRC sertliğe sahip Uddeholm Sleipner krom - molibden - vanadyum alaşımlı takım çeliği kullanılmıştır. Sleipner malzemesinin iş parçası olarak seçilmesinde EEİ yöntemine uygunluk, yüksek sertlik ve aşınma direncinin yanı sıra endüstride başta kalıpcılık sektörü olmak üzere yaygın kullanıma sahip olması belirleyici olmuştur. Uddeholm Sleipner malzemesi Alseko metal firmasından tedarik edilerek teknik özellikleri Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Sleipner Kimyasal bileşeni

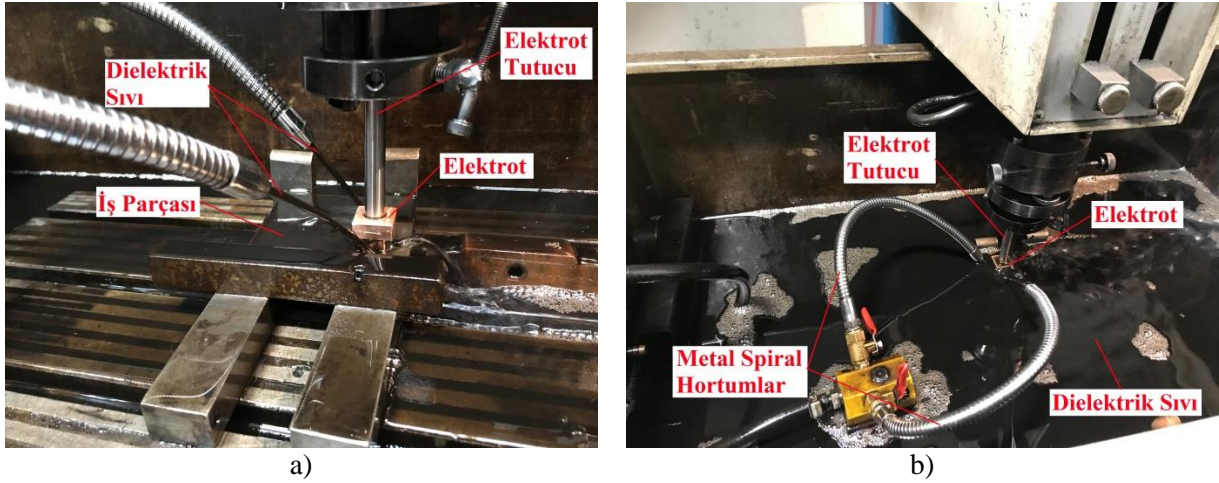
Karbon (% C)	Silisyum (% Si)	Manganez (% Mn)	Krom (% Cr)	Molibden (% Mo)	Vanadyum (% V)	Demir (% Fe)
0.9	0.9	0.5	7.8	2.5	0.5	Kalan

Tablo 5. Sleipner Mekanik Özellikleri

Sertlik (HRC)	Termal İletkenlik (W/m°C)	Özgül IsıSığası (J/kg°C)	Elastisite Modülü (kN/mm ²)	Termal Genleşme katsayısı	Yoğunluk (g/cm ³)
60-62	400-500	460	205	12.7x10 ⁻⁶	7.73

2.3. İşleme Metodu (Machining Method)

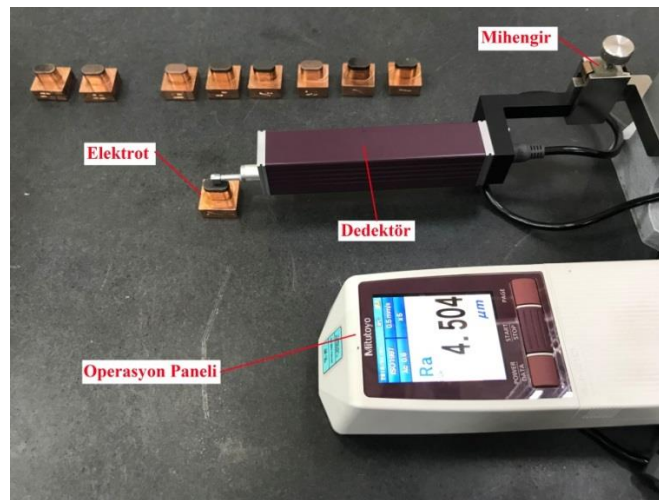
Elektro erozyon işlemi için 50 Amper gücünde Furkan Marka EDM (electric discharge machining) makinası kullanılmıştır. Erozyonla talaş kaldırma işlemi dielektrik sıvı altında gerçekleştirilerek Eralube marka dielektrik sıvı tercih edilmiştir (Şekil 2). Her bir operasyon öncesi iş parçası ve elektrot malzemesinin düzlemsellik ve diklik ayarı yapılarak deneylere başlanmıştır.



Şekil 2. Elektro Erozyon İşlemi (a) işlem başlangıcı, b) dielektrik sıvı altında erozyon

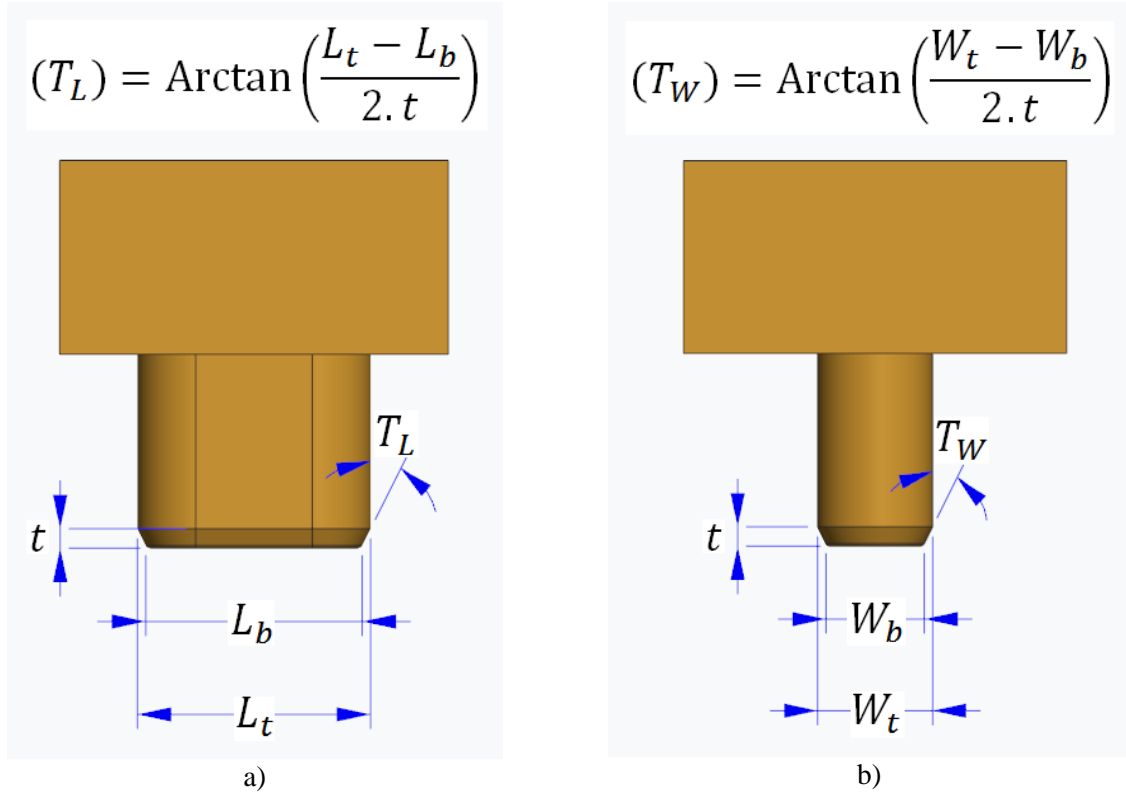
2.4. İşlenen Parçaların Analiz Yöntemleri (Analysis Methods of Processed Parts)

Elektro erozyon sonrası her bir elektrot yüksek basınçlı hava kullanılarak dielektrik sıvı ve curuf kalıntılarından temizlenmiştir. İşleme yüzeyleri kir ve yağdan arındırılan elektrotların yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SJ200 marka taşınabilir yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılarak Şekil 3'te görüldüğü gibi ölçülerek Ra pürüzlülük değerleri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Elektro erozyon işlemi elektrot malzemesinden iş parçasına atlayan kıvılcımlar neticesinde ergime ve buharlaşma prensibine dayanan bir talaş kaldırma işlemidir. Bu sebepten dolayı iş parçası aşınırken elektrotta da aşınmalar meydana gelir. Bu aşınmalar elektrot uc kısımlarında daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı elektrodun iş parçasına yaklaştığı ilk ölçüleri ile işlem sonundaki ölçüleri aynı değildir. Slot şeklinde hazırlanan elektrotların aşınmalarını tespit edebilmek için Şekil 4'te gösterilen denklemler ve ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Elektrodun uc kısımlarındaki iş parçasına en yakın yüzeydeki ölçüleri $L_b - W_b$ ile iş parçasıyla en son buluşan düzlemdeki $L_t - W_t$ ölçüleri elektrot üzerinden 0.001 mm hassasiyete sahip mitutoyo mikrometre kullanılarak ölçülmüştür. Elektrotun iş parçasında oluşturduğu derinlik değeri (t) iş parçası üzerinden Şekil 5'te gösterilen mitutoyo derinlik kumpası kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan tüm ölçümlerde ortalama değerler hesaplanarak ortalama kerf açısı T_L ve T_W değerlerinin aritmetik ortalaması olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4. Kerf Açısı Hesabı (a) Uzunlamasına kerf ölçümü, b) Enine kerf ölçümü)



Şekil 5. Mitutoyo mikrometre ile elektrot ölçümü

Bu çalışmada her bir deneyde kullanılan elektrot malzemesi deney öncesinde ve deney sonrasında HZK-110FA Serisi 0.0001 gr hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Ayrıca her bir deneyde seçilen işleme parametreleri neticesinde elde edilen işleme süreleri tespit edilmiştir. Yapılan işleme ve ölçümler neticesinde aşınan elektrotların aşınma hızının hesabında Denklem 1’de gösterilen eşitlik kullanılmıştır. Elektrot aşınma hızı (EAH) hesabında operasyon süresi, elektrodun yoğunluğu, işleme öncesi ve sonrası ağırlığı kullanılmıştır [16,17].

$$EAH = \frac{(\text{elektrotun ilk ağırlığı}) - (\text{elektrotun son ağırlığı})}{(\text{elektrot yoğunluğu}) \times (\text{işleme süresi})} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{dak}} \right) \quad (1)$$

3. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Elektro erozyonla işlemede seçilen işleme parametrelerinin, kullanılan elektrot malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne ve kerf ölçülerine etkileri Tablo 6'de gösterilmiştir. Farklı işleme akımı, ark süresi ve bekleme süresinin kullanımında operasyon süreleri başta olmak üzere değişen yüzey pürüzlülüğü, kerf ölçüleri ve elektrot aşınma hızları tespit edilmiştir.

Tablo 6. EEİ değerleri ve test sonuçları

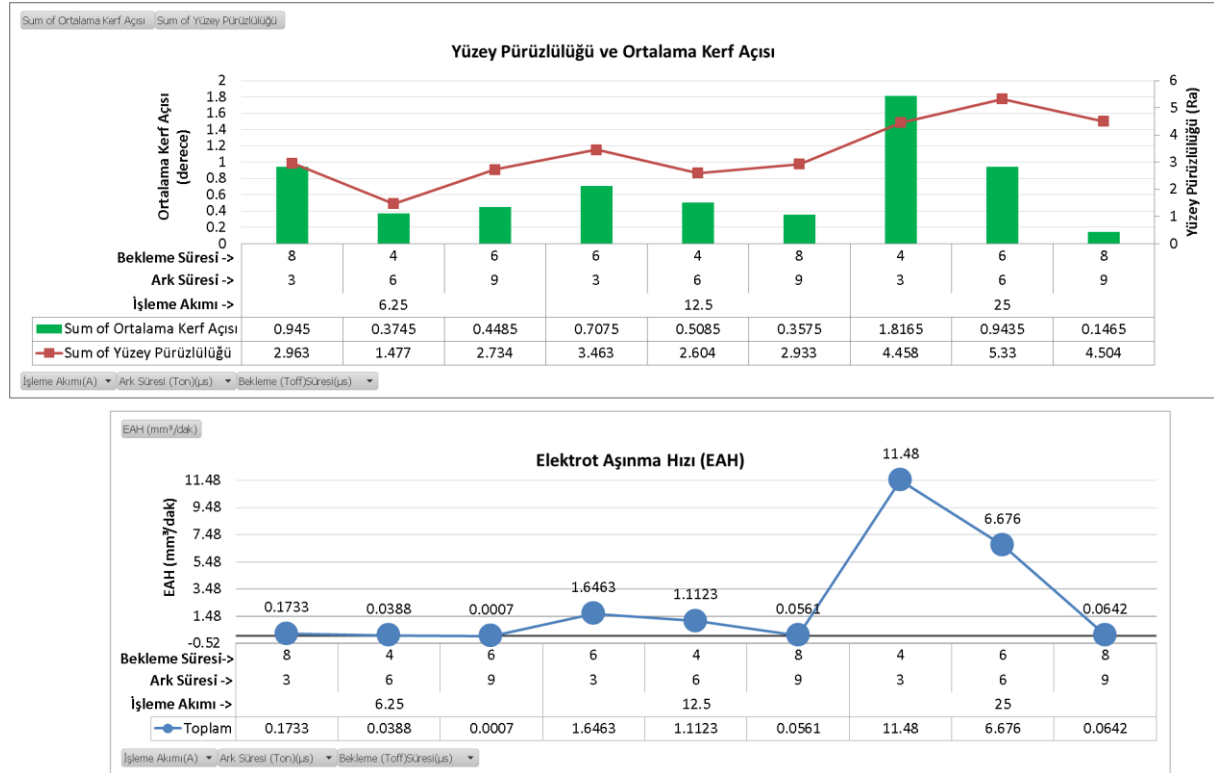
Deney No	İşleme Akımı (A)	Ark Süresi (µs)	Bekleme Süresi (µs)	İşleme Süresi (dak)	Elektrot Aşınma Hızı (mm ³ /dak)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Kerf Açısı	
							TL (derece)	TW (derece)
1	6.25	9	6	157	0.0007	2.734	0.315	0.582
2	6.25	6	4	26	0.0388	1.477	0.161	0.588
3	6.25	3	8	540	0.1733	2.963	0.556	1.334
4	12.5	9	8	18	0.0561	2.933	0.188	0.527
5	12.5	6	4	10	1.1123	2.604	0.306	0.711
6	12.5	3	6	72	1.6463	3.463	0.779	0.636
7	25	9	8	7	0.0642	4.504	0.064	0.229
8	25	6	6	12	6.6761	5.330	0.690	1.197
9	25	3	4	9	11.4801	4.458	2.514	1.119

EEİ'de kullanılan her bir elektrotun işlem görmüş yüzeyleri ayrı ayrı Nikon SMZ 745T mikroskop kullanılarak incelenerek Şekil 6'da görselleştirilmiştir. Yüzeylerin farklı renklerde ve dokularda olması, işleme parametrelerinin değişimi ile iş parçasının aşındırılması esnasında ortaya çıkan curuf ve termal etkilerin elektrot yüzeylerine etkilerinin sonucu olarak yorumlanmıştır.



Şekil 6. Bakır elektrotların optik mikroskop görüntüleri (x5 büyütme oranı)

Yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarına göre düşük ark sürelerinde ve artan akım değerlerinde elektriksel boşalma (kıvılcım atlaması) arttığı için elektrot aşınması ve buna bağlı olarak kerf açısı artmıştır. Bekleme süresi, ark süresi ve işleme akımının bakır elektrodun yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği; işleme akımının artması ile elektrodun uç kısımlarında elektrik yoğunluğunun artmasına bağlı olarak elektrottan iş parçasına doğru yoğun elektriksel boşalmanın neticesinde noktasal erime ve tahribat arttığı için elektrot yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Ortalama kerf açısı, elektrodun parçaya yanaşan yüzeyindeki aşınmalardan dolayı ortaya çıkar; yani elektrot aşınma hızı arttıkça kerf açısı artar. Yapılan analiz ve ölçümler neticesinde Şekil 7’de görüldüğü gibi kerf açısı ve elektrot aşınma hızı uyum içindedir, işleme akımının artması elektrot aşınma hızını arttırmıştır.



Şekil 7. Test sonuçlarının grafiksel gösterimi

İşleme akımının artmasıyla, iş parçası ve elektrot arasında artan kıvılcım atlamasına bağlı olarak işleme süresi azalmıştır fakat elektrot aşınma hızı, ortalama kerf açısı ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Hadad ve arkadaşları; kaba, yarı kaba ve son kesim işlemlerinde elektrot yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla elektrot aşınmasının arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca EEİ sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğünün elektrot yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değiştiğini bu değişime EEİ parametrelerinin de etki ettiğini raporlamışlardır [18]. Ark süresinin düşmesi işleme süresini artırarak, elektrot malzemesinin birim zamanda daha fazla çalışmasına sebep olmuş bunun neticesinde elektrot aşınma hızı ve kerf açısı artmıştır. Ancak ark süresi arttıkça elektrot aşınma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Elektrot aşınmasındaki azalma, dielektrik sıvı ve iş parçasından salınan karbon partiküllerinin elektrot yüzeyine yapışarak oluşan koruyucu tabaka nedeniyle elektrodun mukavemetinin artmasına bağlanmıştır [19]. Literatür çalışmaları göz önüne alındığında EEİ parametrelerinin yanı sıra işlem sırasında kullanılan dielektrik sıvı ve basıncının, elektrot malzemesinin mekanik ve kimyasal özelliklerinin de elektrot aşınmasına etki ettiği görülmektedir [9, 16, 20]. Elektro erozyon yöntemi termal bir talaş kaldırma yöntemidir [21]. Bu sebeple erozyon işlemi esnasında elektrot malzeme ve iş parçası arasında kıvılcımlanma ve termal etkiler nedeni ile ısınma, ergime ve buharlaşma olur bu durumda hem iş parçası hemde elektrot malzeme aşınır. Bu süreçte elektrodun erime sıcaklığı ne kadar yüksek ise aşınması da okadar düşük olur [22]. Sonuç olarak EEİ’de performans çıktıkları olarak en düşük elektrot aşınması, en yüksek talaş kaldırma oranı ve kabul edilebilir yüzey pürüzlülüğü istenilen parametreler olmaktadır [23].

4. GENEL SONUÇLAR (GENERAL RESULTS)

DeneySEL çalışmalar neticesinde elde edilen analitik hesaplamalar ve makro analiz sonuçlarına göre;

- İşleme akımının artmasıyla, iş parçası ve elektrot arasında artan kıvılcım atlamasına bağlı olarak işleme süresi azalmıştır fakat elektrodun ortalama yüzey pürüzlülüğü, kerf açısı ve aşınma hızı artmıştır.
- Bekleme ve ark süresinin elektrot yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği fakat bu etkinin işleme akımının etkisi kadar olmadığı, değişen yüzey pürüzlülüğünün elektrot aşınmasına veya aşındırılan malzemeden kopan partiküllerin elektrot yüzeyine yapışmasına göre değişkenlik gösterebileceği tespit edilmiştir.

- Ark süresinin düşmesi işleme süresini arttırarak, elektrot malzemesinin birim zamanda daha fazla çalışmasına sebep olmuş bunun neticesinde elektrot aşınma hızı ve kerf açısı artmıştır.
- Ark süresi arttıkça elektrot aşınma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Elektrot aşınmasındaki azalma, dielektrik sıvı ve iş parçasından salınan karbon partiküllerinin elektrot yüzeyine yapışarak oluşan koruyucu tabaka nedeniyle elektrotun mukavemetinin artmasından kaynaklanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kuppan, P., Rajadurai, A., & Narayanan, S. (2008). Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(1-2), 74-84.
- [2] Rajesha, S., Sharma, A. K., & Kumar, P. (2010). Some aspects of surface integrity study of electro discharge machined Inconel 718. In *Proceedings of the 36th international MATADOR conference* (pp. 439-444). Springer, London.
- [3] Rajesha, S., Sharma, A. K., & Kumar, P. (2012). On electro discharge machining of Inconel 718 with hollow tool. *Journal of materials engineering and performance*, 21(6), 882-891.
- [4] Lin, Y. C., Chen, Y. F., Wang, D. A., & Lee, H. S. (2009). Optimization of machining parameters in magnetic force assisted EDM based on Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, 209(7), 3374-3383.
- [5] Mishra, D. K., Rahul, , Datta, S., Masanta, M., & Mahapatra, S. S. (2019). Through hole making by electro-discharge machining on Inconel 625 super alloy using hollow copper tool electrode. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 233(2), 348-370.
- [6] Sultan, T., Kumar, A., & Gupta, R. D. (2014). Material removal rate, electrode wear rate, and surface roughness evaluation in die sinking EDM with hollow tool through response surface methodology. *International Journal of Manufacturing Engineering*, 2014.
- [7] Selvarajan, L., Sasikumar, R., Kumar, N. S., Kolochi, P., & Kumar, P. N. (2020). Effect of EDM parameters on material removal rate, tool wear rate and geometrical errors of aluminium material. *Materials Today: Proceedings*.
- [8] Mouralová, K., Bednar, J., Benes, L., Hrabec, P., Kalivoda, M., & Fries, J. (2020). The analysis of EDM electrodes wear in corners and edges. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20(4), 1-14.
- [9] Pavan, C., & Sateesh, N. (2020). Taguchi analysis on machinability of Inconel 600 using Copper, Brass, and Copper tungsten electrodes in EDM. *Materials Today: Proceedings*.
- [10] Dhanabalan, S., Sivakumar, K., & Narayanan, C. S. (2015). Experimental investigation on electrical discharge machining of titanium alloy using copper, brass and aluminum electrodes. *Journal of Engineering Science and Technology*, 10(1), 72-80.
- [11] Nas, E., Argun, K., & Zurnacı, E. (2018). AISI 1.2738 çeliğinin elektro-erozyon tezgahında bakır ve grafit elektrot ile işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 1082-1093.
- [12] Sahu, A. K., & Mahapatra, S. S. (2020). Surface characteristics of EDMed titanium alloy and AISI 1040 steel workpieces using rapid tool electrode. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(2), 699-718.

- [13] Rizvi, S. A. H., Agarwal, S., & Bharti, P. K. (2020). Modeling of Surface Roughness of AISI 4340 Using Copper-Tungsten Tool in Die Sinking EDM. *Materials Today: Proceedings*, 22, 2334-2340.
- [14] Joshi, A., Saraf, A. K., & Goyal, R. K. (2020). EDM machining of die steel EN8 and testing of surface roughness with varying parameters. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2557-2560.
- [15] Valentinčič, J., Bissacco, G., & Tristo, G. (2021). Uncertainty of the electrode wear on-machine measurements in micro EDM milling. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 153-160.
- [16] Gülcan, O., Uslan, İ., Usta, Y., & Çoğun, C. (2015). Elektro erozyon ile işlemede Cu-Cr T/M elektrot kullanımının işleme performansına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3).
- [17] Tawfiq, M. A., & Abbas, A. A. (2018). Effect of current and pulse on time on MRR and EWR for different inner electrode shape of EDM process. *Global Journal of Engineering Science and Research Management*.
- [18] Hadad, M., Bui, L. Q., & Nguyen, C. T. (2018). Experimental investigation of the effects of tool initial surface roughness on the electrical discharge machining (EDM) performance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5), 2093-2104.
- [19] Çakıroğlu, R., & Günay, M. (2020). Comprehensive analysis of material removal rate, tool wear and surface roughness in electrical discharge turning of L2 tool steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 7305-7317.
- [20] Yılmaz, V., Özdemir, M., & Dilipak, H. (2015). AISI 1040 çeliğinin elektro erozyon ile işleme yöntemiyle delinmesinde işleme parametrelerinin temel performans çıktıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 417-426.
- [21] Guu, Y. H. (2005). AFM surface imaging of AISI D2 tool steel machined by the EDM process. *Applied Surface Science*, 242(3-4), 245-250.
- [22] Kalyon, A. (2020). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin elektro erozyon tekniği ile işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(1), 75-86.
- [23] Ho, K. H., & Newman, S. T. (2003). State of the art electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(13), 1287-1300.



Student Modelling on Language Teaching Based on Bayesian Networks

Selçuk ŞENER^{1,*} Ali GÜNEŞ²

¹Istanbul Aydin University, School of Foreign Languages,34290, Küçükçekmece/ISTANBUL

²Istanbul Aydin University Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering,34290, Küçükçekmece/ISTANBUL

Article Info

Research article
Received:28/04/2021
Revision:18/05/2021
Accepted:19/05/2021

Keywords

Bayesian Networks
Influence Diagrams
Intelligent Tutoring
Systems
StudentModelling

Abstract

Acquiring a reliable student model is the principal task of an Intelligent Tutoring System (ITS). A precisely defined student model is also the key term for the success of ITSs. In this paper, a study on inferring the accurate student model on language learning is offered by utilizing artificial intelligence. In addition to the general structure of an ITS, a probabilistic model for inference using Bayesian Networks is stated in the paper. Bayesian Networks are acyclic directed graphs in which nodes represent random variables and arcs represent direct probabilistic dependences among them. In this study, graphical models and structures are implemented in a general-purpose decision modelling system SMILE and its Windows user interface, GeNIe, developed at the Decision Systems Laboratory. GeNIe user interface is also used in this study to perform Influence diagrams. Influence diagrams represent decision problems and help to choose a decision alternative with the highest expected gain. Toward the end of the study, an ITS student model which is directly associated with a standard proficiency level is aimed to be developed. This model is also complemented with a domain model, which incorporates language components such as grammar, vocabulary, and functions of language in different cases. At the end of the study, an evaluation of the model is performed with an experimental study and the results show that the participants worked with offered ITS model gathered close results when compared to those obtained by the participants who worked with a real tutor.

1. INTRODUCTION

Intelligent tutoring systems (ITS) can be seen as an important step forward for real adaptive learning environments. With the help of ITSs, it is aimed to achieve an adaptive, personalized approach to learning. ITSs are defined as educational systems, which utilize artificial intelligence in computer software to assist learning process [1]. They are constructed on cognitive psychology as the underlying theory of learning and deals mainly with problems such as the interpretation and structure of information within human memory as well as the nature of human error [1].

With the help of computer aided learning systems, it is aimed to provide students with an adaptive curriculum through programmed instructions. Use of computer systems in education started with a project called Plato which is developed at University of Illinois in 1950 [2]. In the following years, several computer-aided systems have been developed and these systems helped students improve their learning performances. The students gained more control over different learning stages with the help of successful multimedia technologies [3]. However, early computer aided systems couldnot go beyond providing standard education environments, although they are generally designed according to the responses obtained from students. Many computer-aided programs can only provide a usual set of instructions for different student models without evaluating student performance [4].

ITSs can be seen as educational software incorporating components, which usually harness AI. One of the main purposes of ITSs is to track user competence on a specific subject. Gathering information about student is a key point to make inferences about student's ability. This leads to successful and tailor-made tutoring experiences for ITSs. It can be simply defined that the basic underlying idea of ITSs is to realize that each student is unique [5]. Specialized instruction tutoring with respect to student's existing level can easily accomplish this underlying idea.

In recent years, the use of ITSs on several complex domains has become widespread. ITS applications can be encountered on a wide variety of subjects and different domains. Algebra Tutor PAT is an important and a successful example, which aims to provide tutoring for introductory algebra [6]. Another example, Auto Tutor is developed to assist students in learning computer hardware and operating systems by simulating the discourse patterns and pedagogical strategies of a human tutor [7]. Cardiac Tutor which, aims to support advanced cardiac support techniques to medical personnel, is designed to simulate various cardiac problems and students are required to select appropriate medical responses [8]. Andes is also another tutoring system, which is designed to assist students about introductory physics course. Andes tutoring systems help students to solve physics problems by providing pedagogically useful guidance.

One of the common problems of creating successful ITSs is building a structure, which fully corresponds to the field it is built on. It is generally a hard subject to address various demands of tutoring for different learning environments. Language learning is one those fields which is full of restrictive and unrestrictive domain uncertainties for reading, writing, speaking, and listening and those aspects may occur on different occasions and different context. ITSs that have long been created are generally used for learning fields with a linear syllabus with concrete learning points and those used for language learning were mainly used for only one aspect of language learning such as grammar or vocabulary. Another problem for ITSs for language learning is that they do not refer to a certain language proficiency levels or they do not clearly address the targeted student specifications as children or adults. This is where the distinctness of the model created in this paper comes into prominence.

This paper aims to outline the general structure of ITSs in computer assisted language learning. The focus of the paper is on the development and functions of student model, which is one of the four main components of conventional intelligent tutoring systems. Student model presented in this study is also complemented with Bayesian Network that utilizes probabilistic graphical models and Bayesian inference. Since student modelling includes a certain amount of uncertainty, a Bayesian Network, which is based on probabilistic theory, is an important option to overcome the uncertainty [9]. Several Bayesian Student Models have been developed in various educational applications [10]. Bayesian Networks have also been developed for several uncertain problems including NASA's space shuttle propulsion systems and as an Office Assistant in the Microsoft Windows operating system [9].

2. INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS FOR LANGUAGE LEARNING

It is obvious that the use of audio-visual devices and especially computers in different phases of education generally provides substantial results. When compared different fields of education, natural language learning can be seen as a complicated subject since it both requires knowledge and skill-based approach [11]. However, learning process of a student can be improved with the help of a computer tutor and the computer tutor with in ITSs can determine the syllabus, provide guidance, and it allows the student to experience a learning process in his or her own pace.

Several ITSs for language learning have been developed regarding various languages. These systems have been constructed utilizing different structures with different pedagogical models. While some of them providing a learning environment, which is only composed of vocabulary, some others concentrated on grammar only. Since language learning itself is a complicated subject with various knowledge and skill bases, tutoring systems developed on behalf of language learning are also complicated in terms of structure and application.

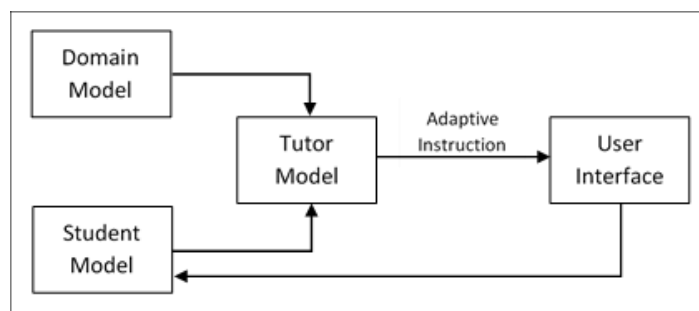


Figure 1. General Structure of an ITS.

Although there is no consensus on how an ITS for language learning must be constructed, they are generally constructed with four basic modules: domain module, student module, tutor module and user interface module, as seen in Figure 1 [4][12]. The student module is used to create a model, which reflects the current knowledge state of the student. This module usually makes use of artificial intelligence to get a precise description of the knowledge state. Domain model, which is also referred to as expert model, represents the knowledge and rules that student needs to acquire in the field of education. The next module, tutoring module is responsible to provide guidance and feedback to the student by generating different types of activities suitable for the field of study. User interface module is the last module, which interacts with the student using a graphical user interface.

Adaptation and use of computers and other technologies in language learning dates to 1960. Providing individualized guidance for vocabulary and grammar studies was the main concern of early ITSs for language learning. Natural language learning is a complicated issue which incorporates the development of both receptive (listening, reading) and productive (speaking, writing) skills. However, a frequently noticed issue in ITSs for language learning is over-restricting the learning domain [13]. A general tendency within ITSs is to reside in a single linguistic skill, instead of dealing with each individual skill [4][13].

The assessment of certain linguistic skills and functions (e.g., reading, listening and grammar) can be standardized and individually carried out by intelligent tutors. However, some skills are especially difficult for the machine to be evaluated by the machine [13]. It is true that computers cannot have the ability to fully evaluate unrestricted productive skills, namely speaking and writing, but ITSs may find various ways to accomplish such ability within a restricted domain. In addition, with recent technological advancements computers and their peripheral devices are not the same as they are in the past.

3. STUDENT MODELLING FOR AN INTELLIGENT TUTORING SYSTEM

Student modelling for ITSs is generally considered to be a tough subject. However, the success of an ITS is directly related with how student modelling has been developed. A student model in an intelligent tutor observes student behavior and creates a qualitative representation of her cognitive and affective knowledge [4]. A successfully gathered student model which directly reflects the current knowledge state of its user will be a valuable input for other components of the ITS. In this study, a student modelling component of an ITS for English Language Learning is developed.

One of the issues for language teaching ITSs is the inability of an ITS to provide students with different levels of language proficiency (e.g., Common European Framework of Reference for Languages (CEFR) proficiency levels A1-C2) [13]. This inability leads them to be deemphasized and move away from being a standard education platform in terms of language learning. Keeping this in mind, the student model developed in this study is intended to classify student's knowledge state regarding CEFR proficiency level A1. Domain model of in this study is designed to comply with the standards of CEFR level A1. Topic, grammar, vocabulary and other materials for English language are selected in accordance with 'Can Do Descriptors' defined by CEFR [14].

The student model handled in this paper does not only observe the student's English grammar knowledge level, but also presents a suitable vocabulary checker with respect to A1 proficiency. In addition, a function component which reflects the student's use of English in different cases (e.g., greetings, responding to a phone call etc.) is also included.

Student modelling in ITS is an important subject which is generally full of uncertainty [4] [15]. Obtaining a knowledge state of a student upon a particular topic is not a thing, which can be resolved using a simple logic. To gather information about a specific topic, sometimes it is necessary to get knowledge levels of related or prerequisite topics as well. Moreover, it is possible that a student may answer a question correctly by a mere chance, which may lead to a wrong observation and eventually an erroneous inference. Bayesian Networks are regarded as a reliable option to overcome this uncertainty and reduce complexity [15] [16].

3.1. Bayesian Networks In Its

Bayesian networks are graphical models designed to explicitly represent conditional independence among random variables of interest. Bayesian networks in ITSs make use of this information to decrease the complexity of probabilistic inference [17]. Language learning is a field full of correlated subject and unrestricted domain [13]. Although there are some other options to be used in ITSs such as Hidden Markov, Reinforcement Learning, Bayesian Networks are considered as a reliable solution to solve uncertainty in ITSs. Intelligent tutors use BBNs to aid classification and forecasting for tutoring, design student awareness, forecast student behavior, make tutoring decisions, and (combined with student mastery data) decide which actions students will need assistance and their likely method of solving problems [4] [9] [18].

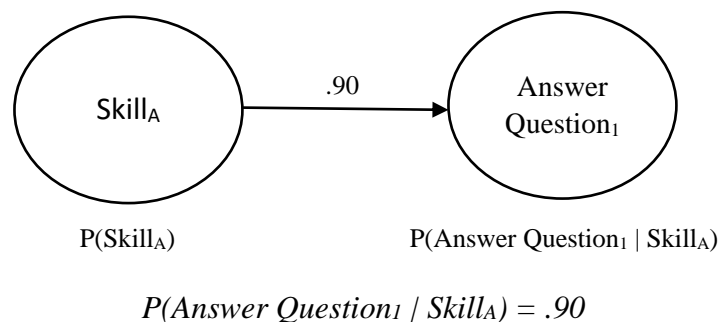


Figure 2. Graphical Network for a basic propositional belief [4].

In Figure 2, there is a close relationship between Skill_A and Answer for Question₁. It can also be inferred that students with Skill_A are likely to have a chance to answer Question₁ correctly. In order to model student knowledge in ITSs, several Bayesian Network models have been developed so far. Pump Algebra Tutor, which models algebra problem solving, Animal Watch, which provides tutoring for mathematics skill, and The Cardiac Tutor, which helps student learn an established medical procedure, utilize Bayesian Networks [4]. According to Mayo and Mitrovic, those Bayesian Networks can be classified under 3 main categories as expert-centric, data-centric, and efficiency-centric [18].

4. METHOD USED FOR THE ITS MODEL DEVELOPED IN THE STUDY

In this study, expert-centric model is used to define a suitable Bayesian Network to model student knowledge on English language. Expert-centric methods are utilized in several early tutors [4]. Andes, which used a basic Bayesian Network to infer a student's knowledge based on performance [19]. Another example, HYDRIVE that is used to give instructions for problem solving and troubleshooting in flight line mechanics also uses an expert-centric student model [20]. In expert-centric Bayesian Network

Models, general network structure and the topology are defined by experts and for the student model presented in this paper, expert teachers of English language defined the structure, node relations and conditional probabilities.

4.1. Components Of The Model

When creating the structure and the topology of Bayesian model, the focus was on selecting a curriculum in compliance with CEFR proficiency levels for English language. The curriculum of the study is designed regarding A1 level for English language. Considering most ITSs for language learning lacks this feature, it was highly important to design the syllabus in accordance with a standard level from CEFR.

In this paper, only a part of the curriculum is presented to give an idea about the general structure of Student Modelling. In Figure 3, basic structure of this model can be seen in detail. The model shown in Figure 3 was developed using GeNIe Software. GeNIe is an interactive model building and exploration tool. It is used to construct Bayesian Networks, dynamic Bayesian Networks, and influence diagrams.

Model in Figure 3 mainly includes two types of nodes as evidence and decision nodes. It illustrates that, when necessary evidence obtained, required inferences can be completed for Topic 1. Topic 1 is complemented with three subtopics, Grammar, Functions and Vocabulary. Between Topic 1 and the subtopics, arcs can be observed going from subtopics to Topic 1, which indicates that conditional probabilities are set accordingly.

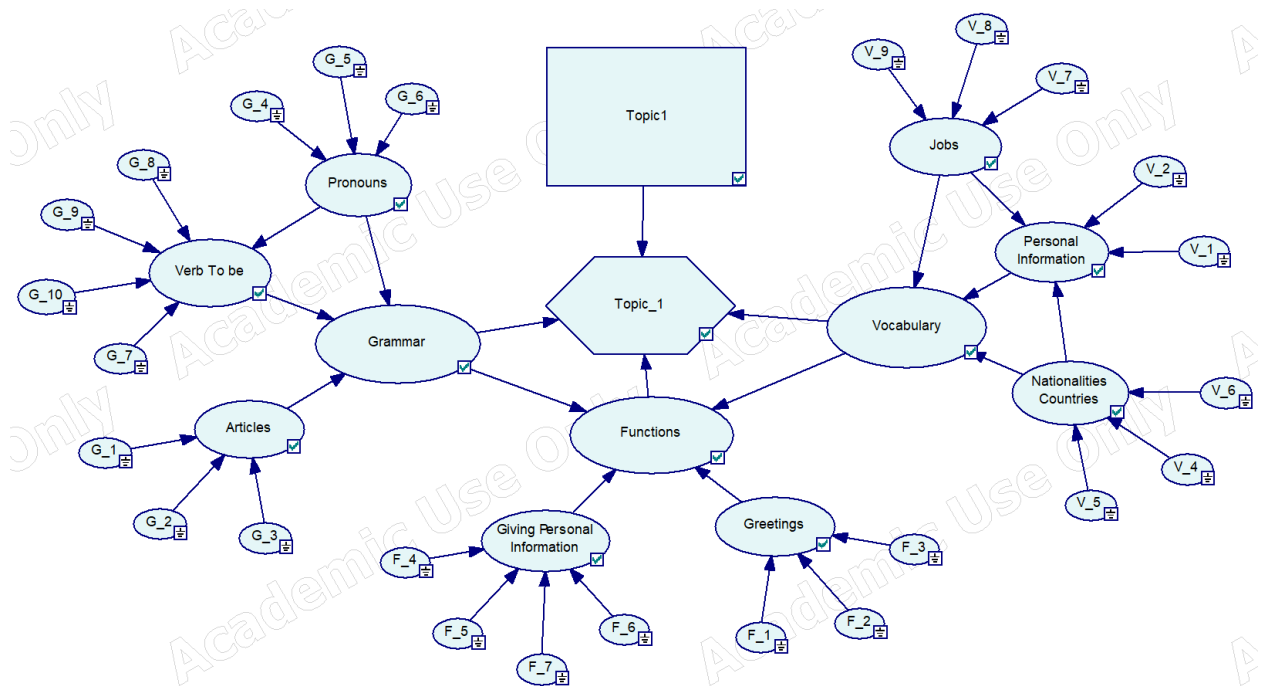


Figure 3. Basic Structure of the Model in this study.

Similar to the relation between Topic1 and subtopics, it can also be observed that granularity increases by going down on the topology. As seen in Figure 3, Grammar subtopic has also child nodes defining specific grammar topics with observable, in other words, evidence nodes under them. Those evidence nodes are created to get student involved through questions, exercise and gather information for knowledge state.

For Grammar subtopic, three child nodes can be observed as Articles, Pronouns and Verb to be. Those grammar subjects are selected in accordance with A1 level of English language. For each child node, there are three observable nodes. Those nodes have two states as correct and wrong. It can also be observed that there is an arc going from Pronouns to Verb to be which defines that the subject Verb to be

is conditionally dependent on Pronouns, since precise skill on Verb to be can only be possible with a good command on pronouns. In Figure 4, conditional probability distribution for this subtopic can be seen.

Articles	Known				Not_Known			
Pronouns	Known		Not_Known		Known		Not_Known	
Verb To be	Known	Not_Known	Known	Not_Known	Known	Not_Known	Known	Not_Known
Known	0.99	0.66	0.66	0.33	0.66	0.33	0.33	0.01
Not_Known	0.01	0.34	0.34	0.67	0.34	0.67	0.67	0.99

Figure 4. Grammar Subtopic Conditional Probability Table

Other subtopics depicted in Figure 3, Function and Vocabulary nodes are designed, respectively. GeNIe software has two types of views as Icon and Bar Chart. As shown in Figure 3 nodes can be seen in Icon view and arcs showing the relationship between nodes are clearly depicted. However, in Bar Chart view, initial states of the nodes and their probabilistic outcome can be observed.

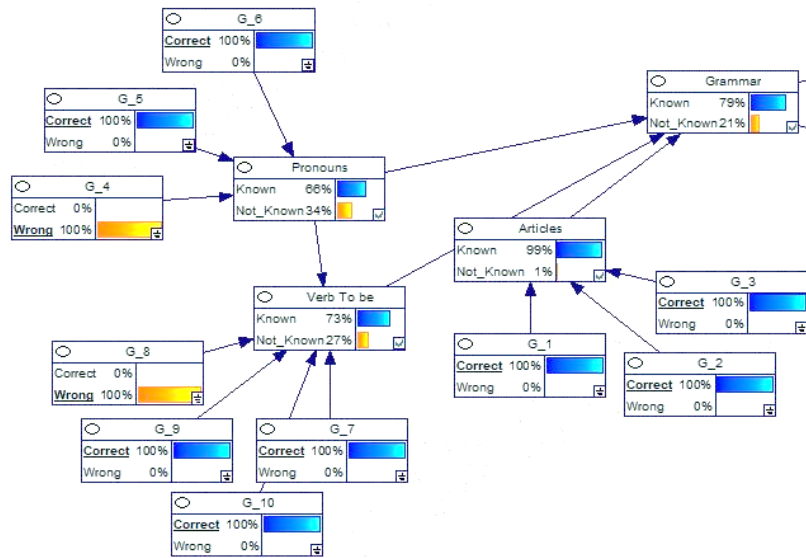


Figure 5 Updated Grammar Subtopic

When the model updated by observed evidence coming from lowermost nodes, it becomes possible for the system to make an inference about the knowledge state of the student. Figure 5 shows the updated view of the subtopic Grammar and for Grammar subtopic, Pronouns has two correct answers from its child nodes, ‘Verb to be’ has three out of four and Articles has three out of three. Consequently, with these results from childnodes, Grammar subtopic has a probability percentage of 79% for ‘Known’ state, which proves that grammar knowledge is around an acceptable known state for Topic 1.

Influence diagrams (IDs) introduced by [21], are acyclic directed graphs modelling decision problems under uncertainty. An ID encodes three basic elements of a decision: (1) available decision options, (2) factors that are relevant to the decision, including how they interact among each other and how the decisions will impact them, and finally, (3) the decision maker’s preferences over the possible outcomes of the decision-making process[22].

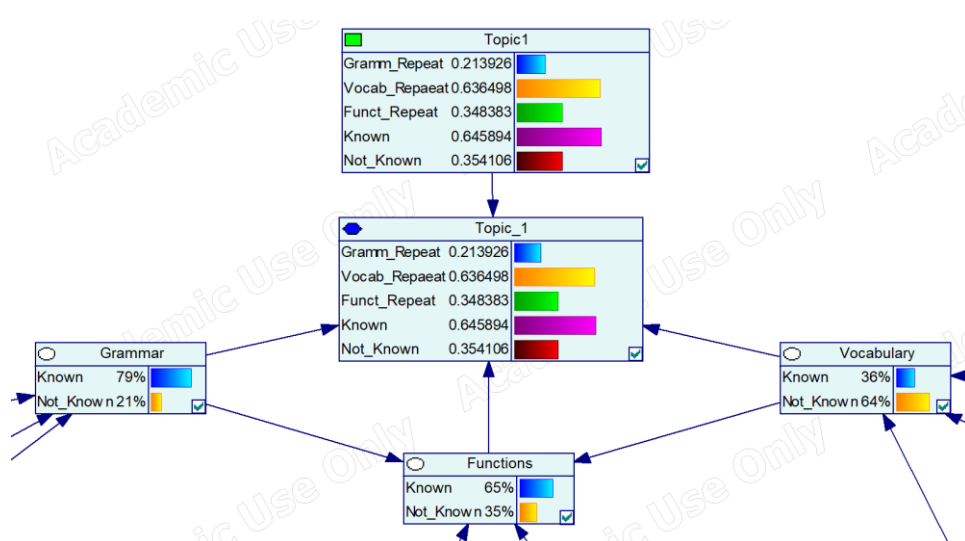


Figure 6. Detailed View of Topic 1 and Subtopics.

As seen in Figure 6, a decision node and a value node are used to possess an inference for the knowledge level of Topic 1. Figure 6 depicts a detailed view of decision node for Topic 1 and three subtopics respectively with updated states. Grammar is supposed to be known by 79% and Functions with 65%. However, it is observed that Vocabulary result is 'Not_Known' by 64%. Accordingly, within the decision node on top, probability of Topic 1 to be 'Known' is 0.645, although one of the subtopics is observed as 'Not_Known'. However, the decision node states an inference that Vocabulary subtopic must be repeated, with a high probability of 0.636.

5. APPLICATION OF THE ITS MODEL

In ITSs, student modelling is used to provide the necessary input for adaptive guidance to the system. Accordingly, the success of student modelling within an ITS directly effects the achievement of the guidance. With the help of student knowledge state, which is obtained through a Bayesian Network, ITSs can provide adaptive, individual guidance for the users. To test the accuracy of the student modelling defined in this study, a tutoring module based on generating learning sequence has been implemented.

5.1. Tutor Module

Tutoring module in ITSs, includes a set of rules and procedures belonging to the subject to be taught. Those rules are used to define how the system should respond to its user by utilizing the data coming from the student model [23]. Tutoring module implemented for this study is based on generating learning sequence and it provides adaptive guidance for three main topics. One of those topics is defined in student modelling phase of the study. According to the output from student modelling module, tutor module may provide remedial, move to the next level in the curriculum or force the user to repeat the subject that is not successfully completed.

5.2. User Interface Module

The user interface module works as a means to interact with the user. The user interface keeps the interaction between the user and the system, and the success of the system is closely related to this module no matter how the internal system is intelligent. In order to accompany other modules defined in this study, a user interface module has been created. This user interface module includes multiple choice questions, gap filling and vocabulary drag-drop exercises according to the topic. The user interface model is used to update knowledge state in student modelling module, and it also provides an effective presentation of the curriculum directed tutor module of the system.

6. RESULTS AND CONCLUSION

Accuracy and correctness of the student modelling and accordingly the effectiveness of tutoring provided by the system is obviously important. To evaluate the accuracy of the student-modelling component of the system that is defined in this study, an experiment with 120 participants carried out. Participant are divided into three groups. The first group consisting 40 participants used the system with adaptive tutoring, second group of 40 participants just worked alone without any tutoring over an instruction book which also includes exercises on the subjects. Final group of 40 participants studied accompanied by a teacher with instruction books provided. The experiment took 3 days and 90 minutes each day. The curriculum covered in the experiment covered three main subjects and three secondary subjects, which are similar to the ones defined in student modelling part of the study. All the participants were high school students, and they were supposed to have the same English proficiency levels.

At the end of the experiment, participants took a test over three subjects including 75 questions, 25 questions for each subject. The overall result of the test given to the participants can be seen in Table 1.

Table 1. Overall Success Average Values

	Overall Success Average Values		
	Subject 1	Subject 2	Subject 3
Control Group Studied Alone	54%	62%	58%
Control Group Studied with Teacher	73%	80%	76%
Experimental Group Using ITS	68%	79%	72%

It can be observed from Figure 7 that the participants studied over ITS obtained close results for all three subjects when compared to that of participants studied tutored by a teacher in classroom environment. The participants who worked alone achieved relatively low results. Figure 8 also depicts that the average final scores for experimental group studied with the ITS gathered close results to that of control group studied with a teacher.

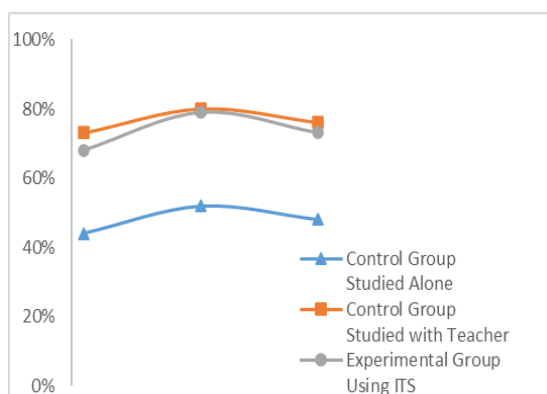


Figure 7. Overall Success over 3 Subjects

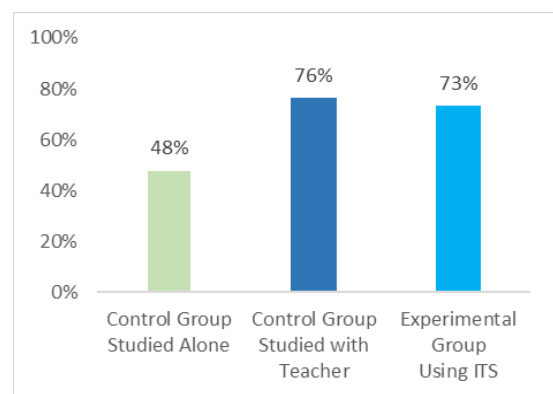


Figure 8. Average Scores

The idea of using computers in education, especially in language learning has much changed since it was first uttered. With a boost in technology, Intelligent Tutoring Systems utilizing Artificial Intelligence techniques have also much changed since they were first developed. Although language learning is a complex field with an unrestricted domain, ITSs can still be developed to replace human tutors, and provide individualized guidance for the students with their own pace.

In this paper, it is aimed to define a beneficial student modelling structure for language teaching ITSs. It is obvious that only with the help of an effective student modelling component, a tailor-made, individualized tutoring, and guidance can be possible. Since language learning has an unrestricted domain most of the time, it is important to develop a tutoring structure with respect to a set of standards upon which the majority agreed such as CEFR proficiency levels. That is why the use of similar standards in the Bayesian Network Module is emphasized. Another key point for the success of ITSs in language learning is to create high granularity of the content on both student modelling and tutoring domain as well. Since student modelling for language tutors is full of uncertainty, it is extremely beneficial to provide high granularity.

One way of evaluating ITSs to be successful is to compare the results obtained with the learning outcomes obtained with a human tutor. A major idea behind creating intelligent tutors is to provide adaptive, individual learning environment and the main concern is that whether replacing human tutors is possible or beneficial as well. The experiment implemented in this study proves that when an accurate student modelling is established with effective tutoring model, it is possible to obtain remarkable results. However, the difficulty and complexity of creating such systems should not be underestimated and required steps to establish such systems should be taken accordingly.

As a future work, equipping an ITS with appropriate student modelling and tutoring structures that can respond to both restrictive and unrestrictive domain of language learning will be the focus. Also developing an ITS for language learning which completely fulfil the tutoring needs of both productive and receptive skills will be another subject to be focused on.

REFERENCES

- [1] V. J. Shute and J. Psozka, "Intelligent Tutoring Systems: Past, Present, and Future." US Dept of the Air Force, Tech. Rep., May 1994.
- [2] Molnar, "Computers in Education: A Historical Perspective of the Unfinished Task," *T H E Journal (Technological Horizons in Education)*, vol. 18, no. 4, p. 80, 1990.
- [3] J. Kosakowski, "The Benefits of Information Technology. ERIC Digest., 1998-Jun," Tech. Rep., Jun 1998.
- [4] B. P. Woolf, *Building Intelligent Interactive Tutors*. Elsevier, 2009, pp. 60–94.
- [5] R. Santhi, B. Priya, and J. M. Nandhini, "Review of Intelligent Tutoring Systems Using Bayesian Approach," Feb 2013.
- [6] S. Ritter, J. Anderson, M. Cytrynowicz, and O. Medvedeva, "Authoring Content in the PAT Algebra Tutor," *Journal of Interactive Media in Education*, vol. 1998, no. 2, p. 9, oct 1998.
- [7] A.C.Graesser, K. Wiemer-Hastings, P. Wiemer-Hastings, and R. Kreuz, "AutoTutor: A simulation of a human tutor," *Cognitive Systems Research*, vol. 1, no. 1, pp. 35–51, dec 1999.
- [8] C. R. Eliot III, "An Intelligent Tutoring System Based Upon Adaptive Simulation," Ph.D. dissertation, 1996.
- [9] C. J. Butz, S. Hua, and R. B. Maguire, "Web-based Bayesian intelligent tutoring systems," pp. 221–242, 2008.
- [10] K. Chrysafiadi and M. Virvou, "Student Modeling Approaches: A literature review for the last decade," pp. 4715–4729, Sep 2013.
- [11] M. D. Bush, "Computer-assisted language learning: From vision to reality?" *CALICO Journal*, vol. 25, no. 3, pp. 443–470, 2008.

- [12] I. Padayachee, "Intelligent tutoring systems: Architecture and characteristics," Tech. Rep., 2002.
- [13] V. Slavuj, B. Kovacic, and I. Jugo, "Intelligent tutoring systems for language learning," in 2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), no. May. IEEE, May 2015, pp. 814–819.
- [14] F. Goullier, "Council of Europe Tools for Language Teaching: Common European Framework and Portfolios," p. 130, 2006. [Online]. Available: https://www.coe.int/t/dg4/linguistic/Source/Goullier_Outils_EN.pdf
- [15] J. Reye, "Student Modelling based on Belief Networks," Tech. Rep., 2004.
- [16] O. H. Hamid, F. Alaiwy, and I. O. Hussien, "A Bayesian Network Model for More Natural Intelligent Tutoring Systems," International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, vol. 4, no. 2, pp. 109–114, 2015.
- [17] J. Pearl and J. Pearl, "Chapter 1 – Uncertainty In AI Systems: An Overview," in Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, 1988, pp. 1–28.
- [18] M. Mayo and A. Mitrovic, "Optimising ITS behaviour with Bayesian networks and decision theory," Tech. Rep., 2001.
- [19] C. Conati, A. Gertner, and K. Vanlehn, "Using Bayesian networks to manage uncertainty in student modeling," User Modelling and User-Adapted Interaction, vol. 12, no. 4, pp. 371–417, 2002.
- [20] R. M. Kaplan, H. Trenholm, D. Gitomer, and L. Steinberg, "Generalizable architecture for building intelligent tutoring systems," Proceedings of the Conference on Artificial Intelligence Applications, p. 458, 1993.
- [21] R. A. Howard and J. E. Matheson, "Influence Diagrams," Decision Analysis, vol. 2, no. 3, pp. 127–143, 2005.
- [22] "Influence Diagrams," in SpringerReference. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. [Online]. Available: <https://www.bayesfusion.com/influence-diagrams/> http://www.springerreference.com/index/doi/10.1007/SpringerReference_62286
- [23] P. Karampiperis and D. G. Sampson, "Adaptive Learning Resources Sequencing in Educational Hypermedia Systems," Educational Technology Society, 2005.



Investigation of the Effect of Using Fe + Pure Water Nanofluid on Thermal Performance in a Two Phase Closed Thermosyphon

Kerim MARTİN 

Kahraman Maraş İstiklal University, Elbistan Engineering Faculty, Department of Energy System Engineering, 46300, Elbistan/KAHRAMANMARAŞ

Article Info

Research article
Received:05/05/2021
Revision:28/05/2021
Accepted:29/05/2021

Keywords

Heat Pipe
Nano Fluid
Thermal Performance
Waste Heat

Abstract

Heat is a type of energy that is used in many applications and can be easily converted into other types of energy. In this study, a performance analysis was carried out by using Fe + Pure water nanofluid in place of pure water in a two phase closed thermosyphon, which has a wide place in practice due to its simple structure. In the study, a copper thermosyphon with a length of 1 m, diameter of 14 mm and wall thickness of 1 mm was used. Experiments were performed with both pure water and nanofluid to make a comparison. To observe the performance of system in different operating conditions, the experiments were carried out at 3 different heating power (150, 300, 450 W) and 3 different coolant flow rates (3, 6, 9 g/s). In all experimental conditions, Fe + Pure water nanofluid had better results than pure water. The highest efficiency value was found to be 77.9% in the experiment using Fe + Pure water nanofluid, performed at 150 W power and 9 g/s water flow rate. When pure water was used in this experiment, the efficiency value was obtained as 67.7% and the improvement rate was 15%. The highest improvement rate was obtained as 50.3% in the experiment conducted at 450 W heating power and 3 g/s coolant flow rate. The use of nanofluid has also reduced the thermal resistance of the thermosyphon. The highest rate of decrease in thermal resistances was obtained as 56.7% in the experiment performed at 150 W heating power and 3 g/s coolant flow rate.

1. INTRODUCTION

Heat energy which is one of the most common types of energy, can be easily converted into other forms of energy thanks to energy conversion methods. Heat energy is primarily produced from fossil fuels which meet 80% of the primary energy demand in the world [1]. However, heat is a type of energy that is easily lost and a considerable amount of waste heat is generated in thermal processes.

It is estimated that 63% of the primary energy consumption on a global basis is realized during the combustion and heat transfer processes. This consumption is generally defined as waste heat and needs to be recovered [2]. Considering that in addition to the carbon emission made to the environment during the production of heat, the vast majority of the waste heat generated during its use is also released to the environment, it can be seen how much the damage to the environment is. States set some policies and goals to deal with these harms. For example, 20% energy efficiency, 20% greenhouse gas emission reduction and 20% renewable energy targets for 2020, which were determined by the European Union as 20-20-20 for the previous years, have been updated for the year 2030 as 32.5%, 40% and 32% respectively [3].

Here, one of the applications that can be done in terms of ensuring energy efficiency and that can get results in the short term is waste heat recovery. Significant energy savings can be achieved by installing simple and low-cost heat exchangers. One of these heat exchangers is the heat pipes, which are very attractive in terms of their simple structure and application flexibility. Heat pipes are simple heat exchangers that provide mass and heat transfer with the phase change of the working fluid inside and consist of three parts: evaporator, adiabatic zone and condenser.

There are several kinds of heat pipes which are used in different researches and applications. In thermosyphons, the fluid evaporates by gaining energy in the evaporator side. The fluid condenses by losing heat in the condenser side and turns to the evaporator section by means of gravity. Whereas there are wicks in conventional heat pipes, there is no wick in thermosyphons. In addition to conventional heat transfer fluids in heat pipes, various nanofluids are also frequently used to improve thermal performance. Some of the recent studies on this topic are given in Table 1.

Table 1: Some studies about heat pipe application in literature

Author	Year	Heat Pipe Type	Nano Particle	Base Fluid	Results
Ahmet Özsoy and Vahit Çorumlu [4]	2018	Thermosyphon	Ag	Pure Water	The use of nanofluids has improved the heat transfer characteristics of the heat pipe. Researchers have achieved improvements ranging from 20.7% to 40% when compared with pure water.
Metin Kaya et al. [5]	2019	Vacuum Tube Heat Pipe Air Collector	CuO	Methanol	Experimental studies have shown that nanofluid usage improve the thermal performance and nanofluids can be used in heat pipes. In addition, it has been observed that CuO nanofluid is more effective in this system when there is high solar radiation.
Erdem Çiftçi [6]	2020	Two Phase Closed Thermosyphon	AlN	Pure Water	The use of nanofluids in place of water has improved the thermal performance of the heat pipe. A decrease of 10.9% in thermal resistances and an increase of 45.6% in efficiency were achieved.
Wei-Wei Wang et al. [7]	2020	Two Phase Closed Thermosyphon Solar Collector	Cu, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	Pure Water	In the study, a unique model has been developed to observe the effect of nanoparticles on the thermal performance of the system. In the analysis made with this model, the experimental data were approached with deviations not greater than 10%. According to the results, 41%, 32% and 29% improvement was achieved by using nanofluids in place of pure water.
Ebrahim Khajepour et al. [8]	2020	L-Shaped Thermosyphon	SiO ₂	Pure Water	Usage of nanofluid has been analyzed how it affected the thermal resistance of heat pipe. Experiments were conducted with two different particle sizes and two different particle concentrations. With the use of nanofluid, heat pipe thermal resistance has been reduced by a maximum of 24%.

Table 1 (Continuous): Some studies about heat pipe application in literature

Anderson Gallego et al. [9]	2020	Two Phase Closed Thermosyphon	Al ₂ O ₃	Pure Water	In this experimental study, different concentrations of nanofluids were used. In addition, experiments were carried out at different filling ratios and power inputs. A maximum increase of 14.8% in efficiency was achieved.
Vidhya et al. [10]	2020	Heat Pipe	ZnO, MgO	Pure Water, Ethylene Glycol	Hybrid nanofluid was prepared with two different base fluids by using 50:50 ratio of nanoparticles. It has been observed that nanoparticles improve the thermophysical properties of base fluids. Compared to base fluids, thermal resistances have been reduced up to 4.07% and efficiency has been increased up to 28.9%.
Arun Kurien Reji et al. [11]	2020	Two Phase Closed Thermosyphon	Al ₂ O ₃	Pure Water	Experiments were carried out with nanofluid and pure water. Nanoparticle concentration was 1% and power inputs varied between 40 and 200 W. In addition, experiments were performed for different angles. According to the results, a maximum improvement in efficiency was achieved as 41%.
Alagappan. N et al. [12]	2020	Two Phase Closed Thermosyphon	CeO ₂ , Fe ₃ O ₄	Pure Water	In this study, it has been investigated how the thermal performance of two phase closed thermosyphon is affected by nanofluids. Improvements in thermal performance have been achieved with the usage of nanofluids. When using Fe ₃ O ₄ nanofluid, the average heat transfer increased by 44.3%.
Adnan Sözen et al. [13]	2021	Air-to-Air Heat Exchanger with Two Phase Closed Thermosyphon	Graphene Nano Platelet	Pure Water	In this experimental study, experiments were made at different air velocities and heating powers in a heat pipe air-to-air heat exchanger. The peak improvement ratio in efficiency was 87.7%. In addition, maximum decrement in thermal resistance was 52.3% when compared with pure water.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Nano Particle Properties and Nanofluid Preparation Process

The nanoparticles were purchased from the supplier company (Nanografi Nano Teknoloji A.Ş.) in powder form. The purity of Fe (iron) nanoparticles is 99.55%, and the average particle size is 30-40 nm. Density, thermal conductivity and specific heat of Fe nano particle are 7800 kg/m³, 76.2 W/mK and 440 J/kgK respectively [14].

Iron nanoparticles have a high thermal conductivity value. In this way, it is promising in increasing efficiency in heat transfer applications. SEM image and particle size distribution graph of iron nanoparticles are given in figure 1 and figure 2, respectively. When looking at the SEM image in Figure 1, it can be easily seen that the average size of the nanoparticles is less than 50 nm. It can also be understood from this SEM image that the majority of the particles are circular in shape.

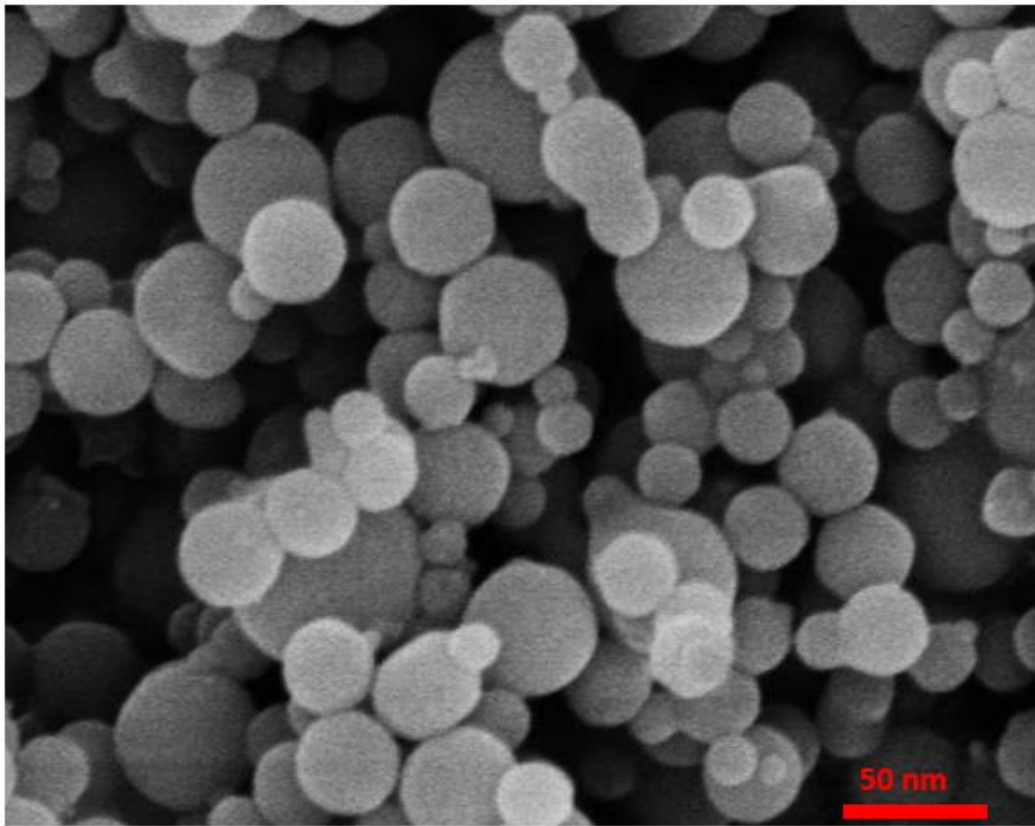


Figure 1: SEM image of the iron (Fe) nanoparticle [14]

In the graph in Figure 2, the blue line represents the % fineness values on the left side and the red line represents the differential distribution values on the right side. Since the shapes of the nanoparticles are not completely round, the particle distributions are presented by creating different criteria. Here, the fineness value indicates how many percent of the particles are smaller than the specified size. For example, when moving from the 20% value in the left column to the right linearly up to the blue line, the particle size of approximately 27 nm is read from the horizontal column. This means that 20% of the particles are smaller than 27 nm. For the same situation, it can be interpreted that 80% of the particles are larger than 27 nm. The top of the red line represents the average particle size. In other words, it can be deduced from this scatter graph that the particles have an average size of 35 nm.

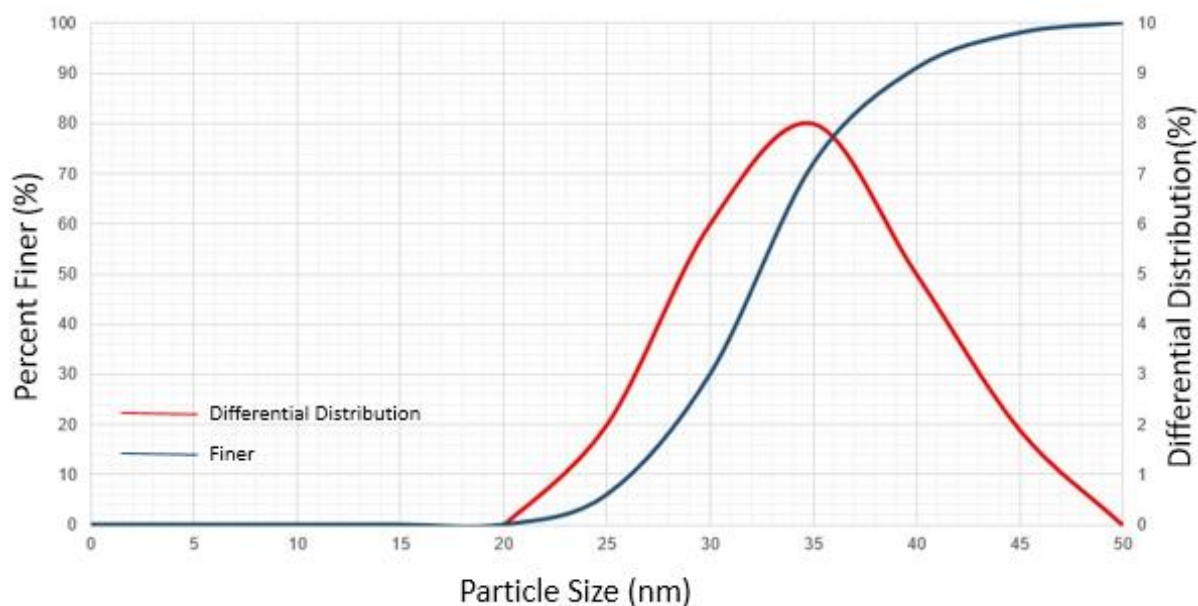


Figure 2: Particle size distribution graph of the Fe (Iron) nanoparticle [14]

There are two methods used to prepare nanofluids in the literature. First one is the one-step method in which the nanoparticle and the nanofluid are produced at the same time. The second method is two-step method in which the nanoparticle and nanofluid are produced in separate processes. The nanofluids used in the experiments were prepared using the two-step method. In this method, nanoparticles must have been produced beforehand. Then, the nanofluid is prepared by mixing the nanoparticles with a base fluid [15]. The nanofluid was prepared by suspending the Fe nanoparticles in pure water. The nanoparticle concentration was adjusted to be 1.5% by weight. Increasing the nanoparticle concentration increases the thermal performance of the fluid. However, high particle concentration causes some problems, especially the problem of sedimentation [16].

Adding surfactant to the mixture eliminates the problem of agglomeration and sedimentation [17]. For this purpose, Triton X-100 with the formula of $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$ was put to the Fe + pure water mixture at the rate of 0.2% by weight. The mixture was subjected to ultrasonic vibration for 5 hours as a final treatment. The aim here is to distribute the nanoparticles homogeneously in the main fluid. Summary of nanofluid preparation process is shown in fig 3. The pictures of nano particles and nanofluid are shown in fig.4.

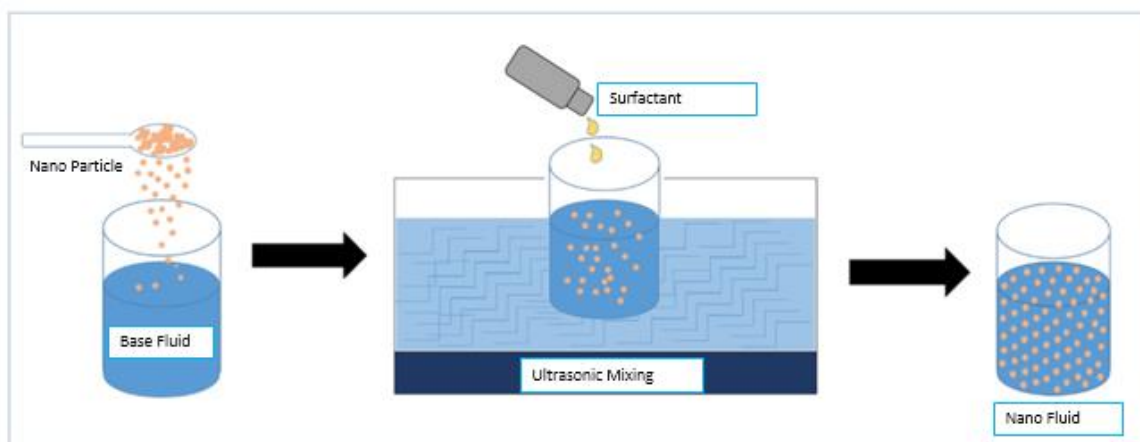


Figure 3: Nanofluid preparation process [18]



Figure 4: Nanofluid and nano particle

2.2. Experimental Setup

The test rig consists of a closed tube without wick. It is made of copper. Its wall thickness, diameter and length are 1 mm, 13 mm and 1000 mm respectively. 400 mm of the 1000 mm length is designed as the evaporator, 400 mm as the condenser and the remaining 200 mm as adiabatic section. There are 10 thermocouples in total (4 in the evaporator part, 4 in the condenser part and 2 in the coolant outlet and inlet). General view and schematic drawing of the test rig is given in Figure 5.

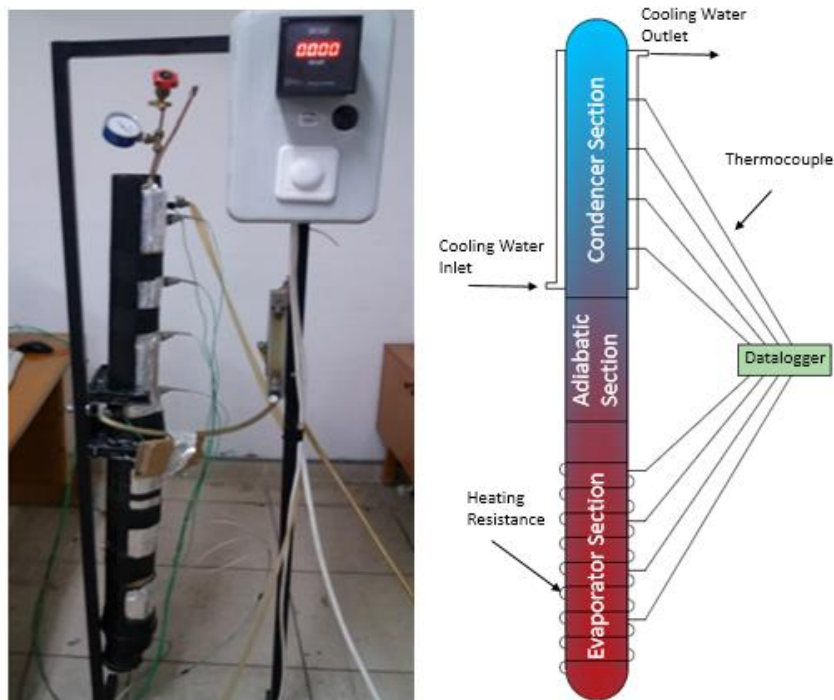


Figure 5: General view and schematic drawing of the test rig

The evaporator section is heated by a resistance whose power can be adjusted with a wattmeter. The working fluid evaporates in evaporator side. There isn't any heat transfer in adiabatic zone. Condenser side of the heat pipe is cooled down by water and the fluid condensates here. Condensing fluid goes back to evaporator section by gravity affect. This cycle goes on so long as the evaporator is heated and the condenser is cooled. Since thermosyphons work with the effect of gravity, they work more efficiently in upright or near vertical positions. Before starting the experiments, the interior of the heat pipe was vacuumed and all the air inside was evacuated and a negative pressure was created. Thanks to the

negative pressure inside the pipe, the working fluid boils at a temperature lower than its boiling point at atmospheric pressure. Hence, the heat pipe will operate at lower temperatures. After vacuuming, 44 ml of fluid was charged to the heat pipe. This number corresponds to 33 % of the heat pipe. In an attempt to utilize the performance of the system under different operating conditions, experiments were repeated at three heating power and three coolant flow rates. Each experimental condition was made in triplicate and the average of the obtained values was used in the analysis of the system.

2.3. Calculations

Thermal performance of the pipe is evaluated by using efficiency, thermal resistance and heat pipe temperature distribution. These values were figured out for both pure water and Fe / water nanofluid, and the results were presented in graphs. The efficiency of the heat pipe is figured out with Eq 1. Here, \dot{Q}_k is the energy transferred to the coolant circulated in the condenser side of the heat pipe and is calculated with the help of equation 2. \dot{Q}_e is the power consumed by the resistance in the evaporator side of the heat pipe (150 W, 300 W, 450 W).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_e} \quad 1$$

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_{water} c_{p,water} (T_{outlet} - T_{inlet}) \quad 2$$

The expressions \dot{m}_{su} , $c_{p,su}$ and T in Equation 2 show the mass flow rate, specific heat and temperatures of the coolant, respectively.

The thermal resistance of the heat pipe is figured out with Eq 3. Here ΔT is the average temperature difference between the evaporator and condenser parts of the heat pipe, and is found by Eq 4.

$$R = \frac{\Delta T}{Q_e} \quad 3$$

$$\Delta T = \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} \right)_e - \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} \right)_k \quad 4$$

The temperature expressions in Eq 4 show the temperature values read from each thermocouple.

The improvement rate obtained by using nanofluid was found with the help of Eq 5.

$$IR = \frac{\eta_{nanofluid} - \eta_{pure\ water}}{\eta_{pure\ water}} * 100 \quad 5$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

One of the most significant performance indicators of a heat pipe is thermal efficiency. To observe how the use of nanofluid in place of pure water affects the thermal efficiency of the heat pipe, the experiments were performed first by using pure water and then using Fe + Pure water nanofluid under the same conditions. The efficiency values calculated for both working fluids are given graphically in Figure 6. When the graphs are examined, it is seen that the efficiency values are higher when Fe + pure water nanofluid was used in place of pure water. According to these graphs, increasing of coolant flow rate has also increased thermal efficiency. When the powers were 150 W and 300 W, the maximum improvement rates were achieved for 6 g/s water mass flow rate. When the heating power was 450 W, the maximum improvement rate was achieved for 3 g/s coolant flow rate. The increasing of heating power caused a slight decrease in thermal efficiency. According to the graph, the highest efficiency was reached as 77.9% in the experiment where Fe + Water nanofluid was used, the heating power was 150 W and the coolant flow rate was 9 g/s. Highest improvement rate was obtained as 50.3% at 450 W heating power and 3 g/s water flow rate. However, the efficiency values obtained in this test were the lowest efficiency values for both fluids.

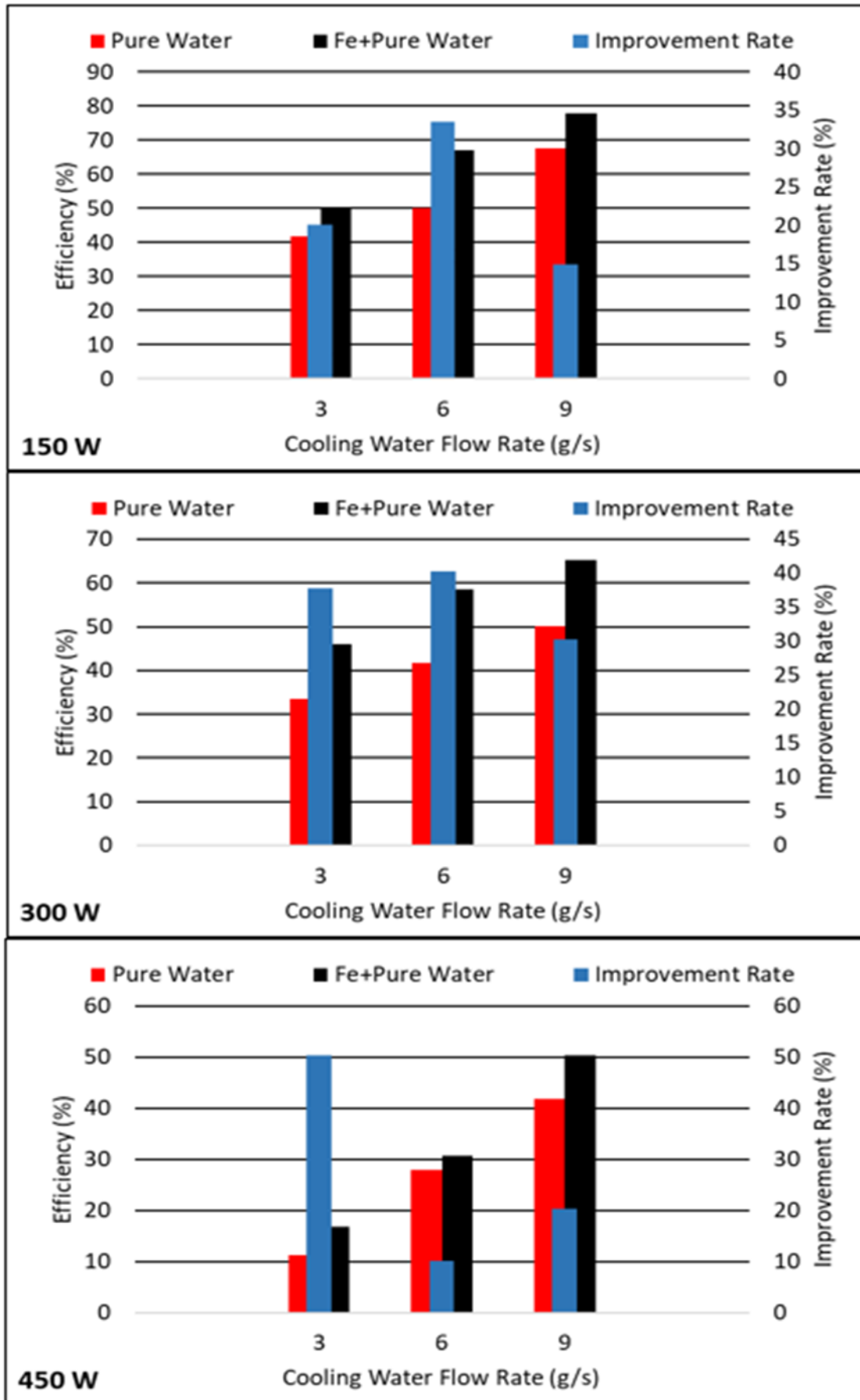


Figure 6: Efficiency of the heat pipe and improvement rates in efficiency

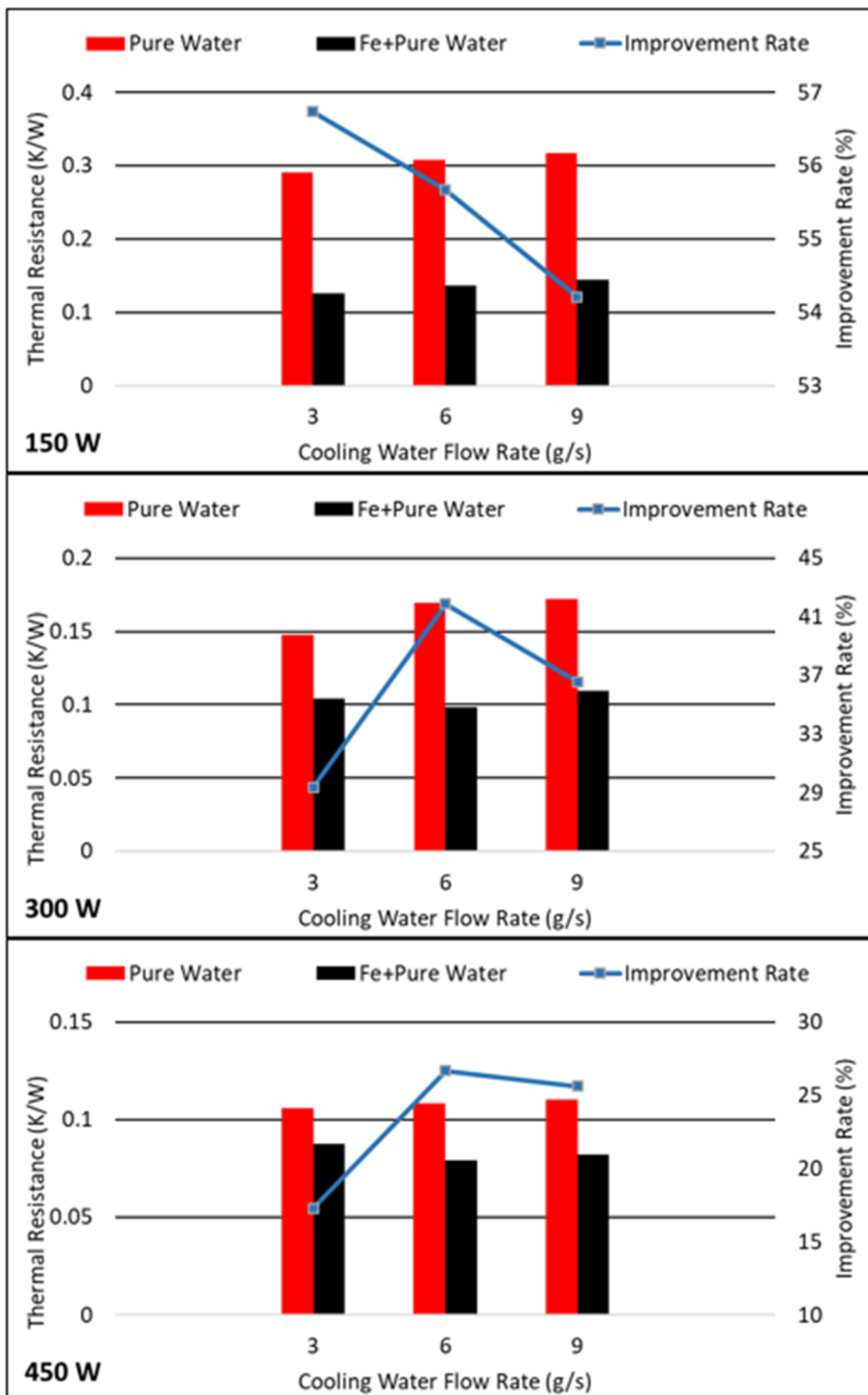


Figure 7: Thermal resistances and improvement rates

One of the performance indicators is thermal resistances. The smaller thermal resistance, the higher energy transfer. It is aimed to reduce the resistance by using Fe + Pure water nanofluid. As can be seen from the graphs in Figure 7, by using Fe + Pure water nanofluid in place of water, a significant reduction in thermal resistances has been achieved. When the graphs are analyzed, it is seen that increasing of the heating power for both fluids provides some reduction in thermal resistances. The lowest resistance value has been reached as 0.0794 K/W in the experiment using Fe + pure water nanofluid at 450 W heating power and 6 g/s coolant flow rate. The highest reduction rate in thermal resistances was obtained as 56.7% at minimum conditions, i.e. 150 W heating power and 3 g / s coolant flow rate. When the working fluids are examined separately, it is seen that the change of the coolant flow rate for each power value does not cause an excessive change in the thermal resistances. For example, in the experiment using Fe + pure water nanofluid with 150 W heating power, the thermal resistances obtained at 3 g/s, 6 g/s and 9 g/s coolant flow rates are 0.1258 K/W, 0.1367 K/W and 0.1450 K/W, respectively. Under this condition, the decrease rates in thermal resistances were again 56.7%, 55.7% and 54.2%, respectively.

Figures 8, 9 and 10 show the temperature distributions of the heat pipe wall at 150, 300 and 450W heating powers, respectively. These graphs show how the temperature differences in the condenser and evaporator parts of the heat pipe change according to working fluid. The temperature differences seen here are taken into account when calculating the thermal resistance of the heat pipe. The use of Fe + Pure water nanofluid in place of pure water did not cause much change in condenser temperatures, while it led to a significant decrease in evaporator temperatures. Assuming that the amount of heat given to the heat pipe in the evaporator is equal for both fluids, there is a greater heat transfer from the evaporator to the condenser when nanofluid is used, which made the temperature of the evaporator section lower. At equal condenser temperatures, lower evaporator temperatures mean lower thermal resistance. Also, as can be seen from the graphs, the increase in the coolant flow rate caused the condenser temperature to decrease. In other words, the amount of heat transferred to the water in the condenser section increased with the increase of the flow rate. This shows that the efficiency increases with the increase in flow rate.

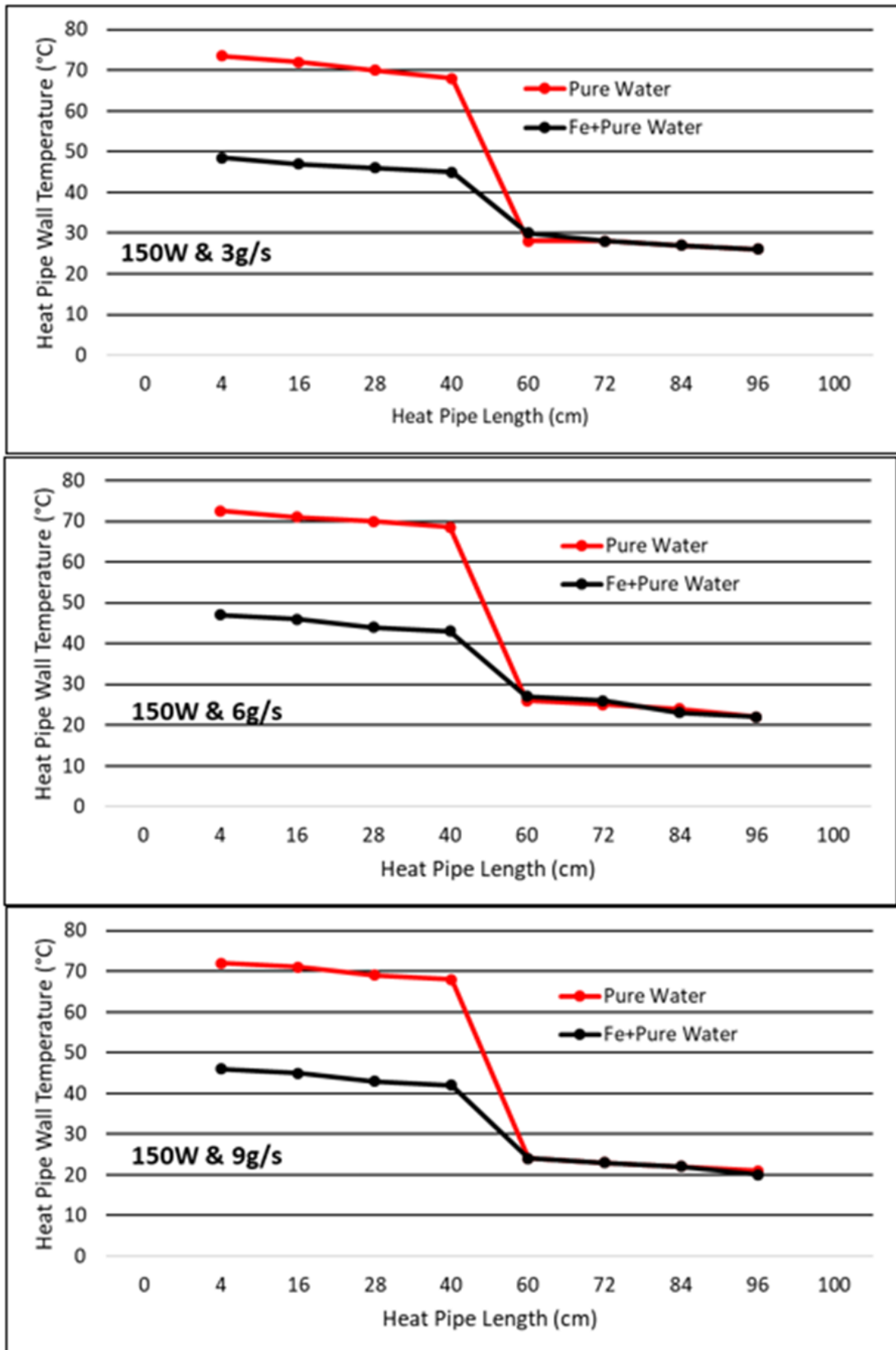


Figure 8: Heat pipe surface temperature distribution at 150 W heating power

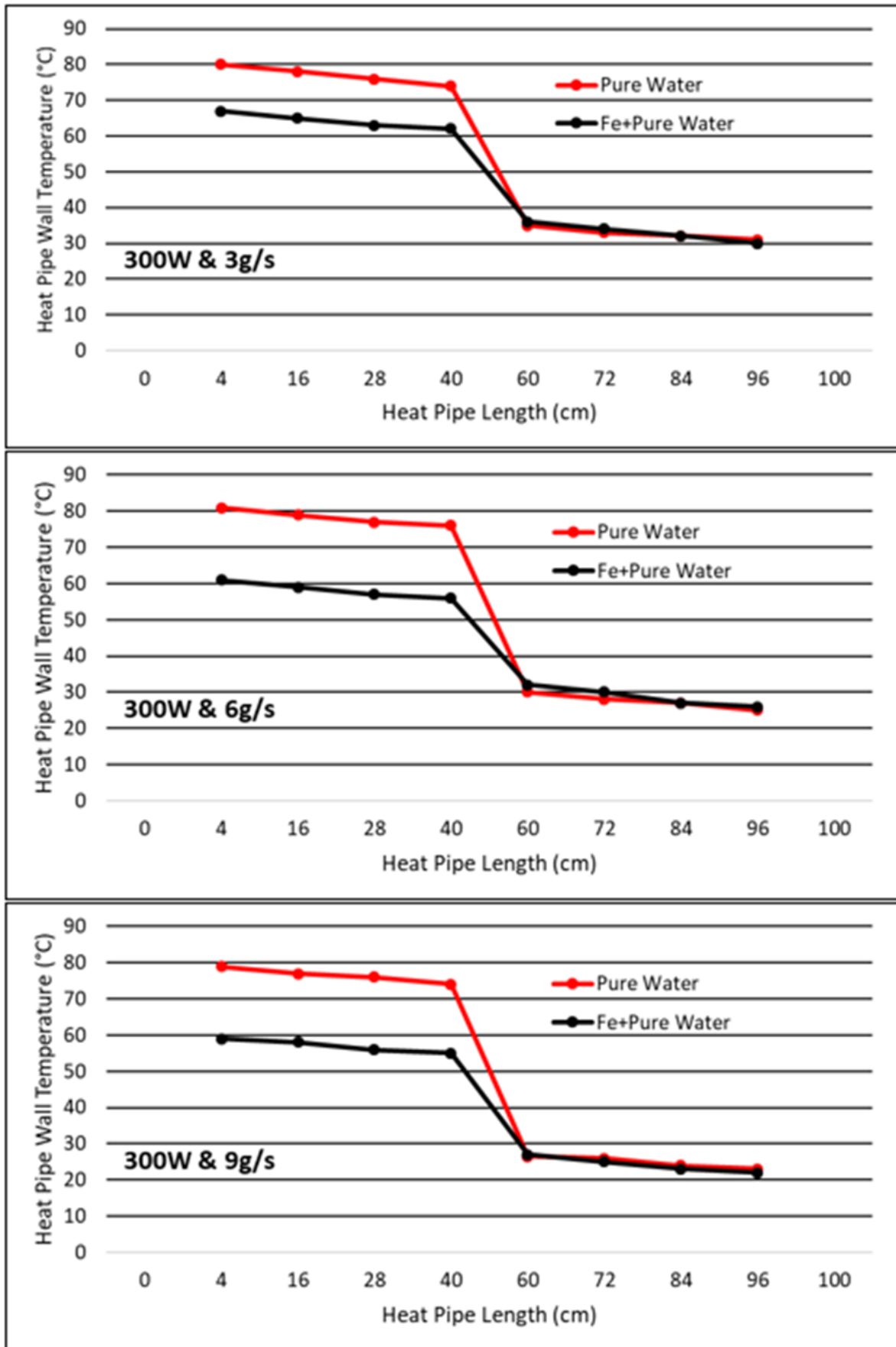


Figure 9: Heat pipe surface temperature distribution at 300 W heating power

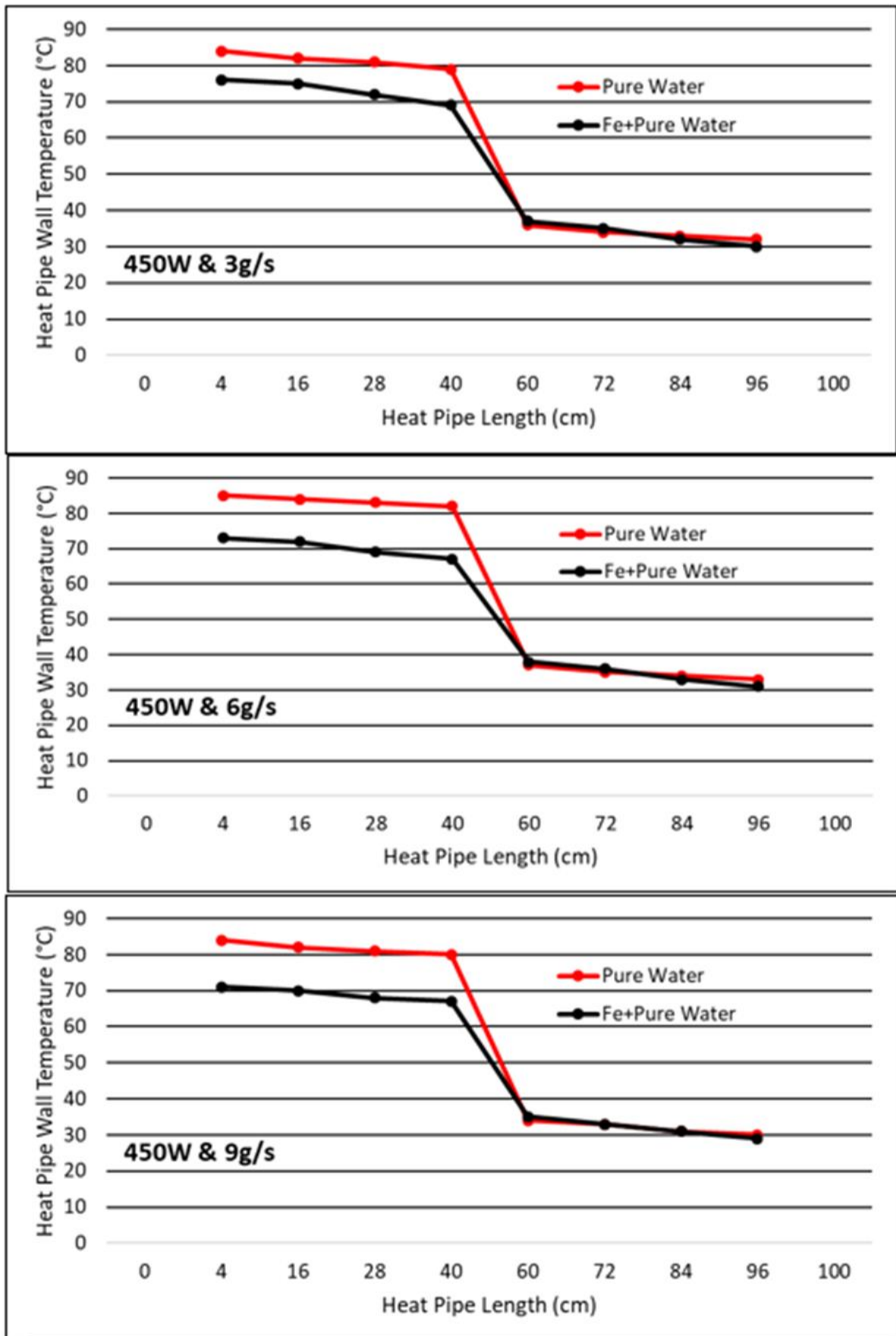


Figure 10: Heat pipe surface temperature distribution at 450 W heating power

4. CONCLUSIONS

In this experimental study, it was investigated how the use of nanofluids prepared with Fe nanoparticles, the base liquid of which is pure water, affects the thermal performance in a thermosyphon type two phase heat pipe. 0.2% by weight of surfactant and 1.5% by weight of nanoparticles were used in the nanofluid. In order to observe the performance of the heat pipe in different heating power and coolant flow rates and to determine the optimum operating conditions, the experiments at 3 different heating power and 3 different coolant flow rates were repeated using both pure water and Fe + Pure water nanofluid. According to the experimental results, the use of Fe + Pure water nanofluid in place of pure water had an increasing effect on the thermal performance of the heat pipe. It is possible to summarize the results of the experiment as follows;

- The usage of Fe + pure water nanofluid in place of pure water significantly **increased the efficiency of the heat pipe** under all experimental conditions. Maximum increasing rate in thermal efficiency was achieved as **50.3%** in the experiment conducted at 450 W heating power and 3 g/s coolant flow rate.
- Again, the use of nanofluids in place of pure water provided a significant reduction in the thermal resistance of the heat pipe in all experimental conditions. The maximum reduction rate in thermal resistances was realized as **56.7 %** in the test performed at 150 W heating power and 3 g/s coolant flow rate.
- The highest efficiency and lowest heat resistance values were reached in the experiment using Fe + Pure water nanofluid as **77.9% and 0.0794 K / W**, respectively.
- The highest thermal efficiency value was obtained at 150 W heating power and 9 g/s coolant flow rate, while the lowest thermal resistance was obtained at 450 W and 6 g/s coolant flow rate.
- Considering the heat pipe temperature distributions, it can be understood that the temperature formed in the evaporator is lower when nanofluid is used. This shows that a greater amount of heat transfer has taken place thanks to the nanofluid.
- In the evaluation made by considering the efficiency of the heat pipes, it is seen that the increase in the heating power causes a slight decrease in the efficiency. **Increasing the coolant flow rate** for the same power value **also increased the efficiency values**.

NOMENCLATURE

Fe: Iron nano particle

\dot{Q}_k : The energy transferred to the coolant [W]

\dot{Q}_e : The power consumed by the resistance [W]

\dot{m} : Mass flow rate of coolant [g/s]

c_p : Specific heat [kJ/kgK]

η : Efficiency

T : Temperature

ΔT : Average temperature difference between the evaporator and condenser

IR: Improvement Rate

R: Thermal Resistance

REFERENCES

- [1] Olabi, A.G., Elsaid, K., Sayed, E. T., Mahmoud, M. S., Wilberforce, T., Hassiba, R. J., & Abdelkareem, M. A. (2020). Application of Nanofluids for Enhanced Waste Heat Recovery: A Review. *Nano Energy*, 105871. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.12.006>
- [2] Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R., & Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1568–1579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.192>
- [3] European Commission. (2021). 2030 climate & energy framework. Retrieved February 20, 2021, from https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en#tab-0-0
- [4] Ozsoy, A., & Corumlu, V. (2018). Thermal performance of a thermosyphon heat pipe evacuated tube solar collector using silver-water nanofluid for commercial applications. *Renewable Energy*, 122, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.031>
- [5] Kaya, M., Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Ceylan, İ., Çelik, S., Ergün, A., & Acar, B. (2019). Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe. *Energy Conversion and Management*, 199(August). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111936>
- [6] Çiftçi, E. (2020). AlN/Saf Su Nanoakışkanının Isı Borusu Performans Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(4), 858–871. <https://doi.org/10.29109/gujsc.784306>
- [7] Wang, W. W., Cai, Y., Wang, L., Liu, C. W., Zhao, F. Y., Sheremet, M. A., & Liu, D. (2020). A two-phase closed thermosyphon operated with nanofluids for solar energy collectors: Thermodynamic modeling and entropy generation analysis. *Solar Energy*, 211(May), 192–209. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.031>
- [8] Khajehpour, E., Noghrehabadi, A. R., Nasab, A. E., & Nabavi, S. M. H. (2020). Experimental investigation of the effect of nanofluids on the thermal resistance of a thermosyphon L-shape heat pipe at different angles. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 113(March), 104549. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104549>
- [9] Gallego, A., Herrera, B., Buitrago-Sierra, R., Zapata, C., & Cacia, K. (2020). Influence of filling ratio on the thermal performance and efficiency of a thermosyphon operating with Al₂O₃-water based nanofluids. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 22, 100448. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100448>
- [10] Vidhya, R., Balakrishnan, T., & Suresh Kumar, B. (2020). Investigation on thermophysical properties and heat transfer performance of heat pipe charged with binary mixture based ZnO-MgO hybrid nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.284>
- [11] Reji, A. K., Kumaresan, G., Sarathi, A., Saiganesh, A. G. ., Suriya Kumar, R., & Shelton, M. M. (2020). Performance analysis of thermosyphon heat pipe using aluminum oxide nanofluid under various angles of inclination. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.247>
- [12] Alagappan, N., & Rathnasabapathy, C. S. (2019). Performance of Two Phase Copper Thermosyphon Operated with Cerium IV Oxide and Iron II, III Oxide Nano Fluid using Box- Behnken Design. *Materials Today: Proceedings*, 24, 2094–2107. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.666>

- [13] Sözen, A., Filiz, Ç., Aytaç, İ., Martin, K., Ali, H. M., Boran, K., & Yetişken, Y. (2021). Upgrading of the Performance of an Air-to-Air Heat Exchanger Using Graphene/Water Nanofluid. *International Journal of Thermophysics*, 42(3). <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02790-w>
- [14] Nanografi Nano Teknoloji A.Ş. Retrieved May 28, 2021, from nanografi.com.tr
- [15] Ali, H. M. (2020). Hybrid Nanofluids for Convection Heat Transfer.
- [16] Khedkar, R. S., Sonawane, S. S., & Wasewar, K. L. (2014). Heat transfer study on concentric tube heat exchanger using TiO₂-water based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.011>
- [17] Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U., & Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO₂-deionized water nanofluid in a thermosyphon. *Experimental Heat Transfer*, 31(5), 450–469. <https://doi.org/10.1080/08916152.2018.1445673>
- [18] Sezer, N., Atieh, M. A., & Koç, M. (2019). A comprehensive review on synthesis, stability, thermophysical properties, and characterization of nanofluids. *Powder Technology*, 344, 404–431. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.016>