

# POLİTEKNİK DERGİSİ

## Journal of Polytechnic

### İÇİNDEKİLER / CONTENTS

	<u>Sayfa No</u>
<b>Erol FEYZULLAHOĞLU</b> The Influences of Environmental Factors on Abrasive Wear of FKM, NBR and CR Diş Etkenlerin FKM, NBR ve CR Kauçuklarının Abraziv Aşınması Üzerindeki Etkileri .....	1-8
<b>Adnan ALDEMİR, Hale HAPOĞLU</b> Kablosuz Sıcaklık Kontrolü İçin PID Ayarlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması Comparison of PID Tuning Methods For Wireless Temperature Control .....	9-19
<b>Muzaffer ERDOĞAN, Mehmet Kubilay EKER</b> Yıldırım Darbe Geriliminin Kuru Tip Transformatör Sargılarındaki Dağılımının İncelenmesi Research of Lightning Impulse Voltage Distribution In Dry Type Transformer Winding .....	21-30
<b>Ahmet Ali SERTKAYA, Ali ATEŞ, Kemal ALTINISIK</b> Açık Hücreli Alüminyum Köpüğün Isı Değiştiricisi Olarak Tasarımı ve Isıl Performansının Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Modellenmesi Designing of Open Cell Aluminum Foam Heat Exchanger and Modelling of its Thermal Performance by Using Ann Method .....	31-37
<b>H. ŞENTÜRK, C.Z. ÇİL ve Şeref SAĞIROĞLU</b> Siber Güvenlik Yatırım Kararları Üzerine Literatür İncelemesi Literature Review on Cyber Security Investment Decisions .....	39-51
<b>Suat SARIDEMİR<sup>1</sup>, Mehmet TEKİN<sup>2</sup></b> Kanola Yağı Metil Esteri ve Dizel Yakıt Karışımlarının Tek Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Gürültü Emisyonlarına Etkisi Influence of Canola Oil Methyl Ester and Diesel Fuel Blends on A Single Cylinder Diesel Engine Performance and Noise Emissions .....	53-59
<b>Zhainagul ABANOVA, Melike İŞGÖREN, Erhan GENGEÇ, Sevil VELİ</b> Pd/AC Katalizörü Eşliğinde Karbofos'un Islak Hava Oksidasyonu ile Arıtımında Optimum Koşulların Belirlenmesi Determination of Optimum Conditions in Treatment of Carbofos by Wet Air Oxidation with Using Pd/AC Catalyst .....	61-66
<b>Alaaddin CERİT</b> Modifiye Polistirenlerin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Research of Physico-Mechanical Properties of Modified Polystyrenes .....	67-70
<b>Hüseyin GÜRBÜZ, Adnan SÖZEN, Ulvi ŞEKER</b> Modelling of Effects of Various Chip Breaker Forms on Surface Roughness in Turning Operations by Utilizing Artificial Neural Networks Tornalama Operasyonlarında Farklı Talaş Kırıcı Formlarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkilerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi .....	71-83
<b>Fatih ÇİPİL</b> Total Factor Productivity Changes of Turkey's Regional Air Transportation Using Dea With Malmquist Index .....	85-99

# POLİTEKNİK DERGİSİ

## Journal of Polytechnic

# POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 19 NUMBER / SAYI 1 MARCH / MART 2016





# Politeknik Dergisi

## Journal of Polytechnic

Sahibi / Owner  
**Prof. Dr. Süleyman BÜYÜKBERBER**  
Rektör / Rector

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager  
**Prof. Dr. Seyhan FIRAT**  
Dekan / Dean

Editör / Editor  
**Prof. Dr. Adnan SÖZEN**

### YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

**Prof. Dr. Halil ARIK**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Musa ATAR**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Erol KURT**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Recep DEMİRCİ**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Onuralp ULUER**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Mustafa ÖZER**, Gazi Üniversitesi

### YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

<b>Abdullah KURT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>M. Baki KARAMIŞ</b> , Erciyes Üniversitesi
<b>Abid ABU-TAIR</b> , Berzeit University	<b>Mahmood GHORANNEUISS</b> , Azad University
<b>Adel NASİRİ</b> , University of Wisconsin Milwaukee	<b>Mehmet TÜRKER</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Arcan DEREÇİOĞLU</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Metin GÜRÜ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Arif WANI</b> , California State University	<b>Metin İPEK</b> , Sakarya Üniversitesi
<b>Ayhan ÖZÇİFCİ</b> , Karabük Üniversitesi	<b>Murat HOSOZ</b> , Kocaeli Üniversitesi
<b>Ayşe MURATHAN</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Mustafa AKTAŞ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Bekir Sami YILBAŞ</b> , King Fahd University	<b>Myung Hyun KİM</b> , Kyung Hee University
<b>Cevdet SÖĞÜTLÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Nadire Şule ATILGAN</b> , Hacettepe Üniversitesi
<b>Derviş KARABOĞA</b> , Erciyes Üniversitesi	<b>Nizamettin KAHRAMAN</b> , Karabük Üniversitesi
<b>Engin ÖZDEMİR</b> , Kocaeli Üniversitesi	<b>Nobumasa Matsui</b> , Nagasaki University
<b>Ercan ÖZGAN</b> , Düzce Üniversitesi	<b>Nusret AS</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>Erol ARCAKLIOĞLU</b> , TÜBİTAK	<b>Osman ISIKAN</b> , Marmara Üniversitesi
<b>Farzollah MIRZAPOUR</b> , University of Zanjan	<b>Peter LUND</b> , Helsinki University of Technology
<b>Halil İbrahim BAKAN</b> , TÜBİTAK, MAM	<b>Ramazan BAYINDIR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Halit KARABULUT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Ramazan KURT</b> , Bursa Teknik Üniversitesi
<b>Hani H.W.SAIT</b> , King Abdulaziz University	<b>Ramazan YILMAZ</b> , Sakarya Üniversitesi
<b>Hanifi SARAÇ</b> , Yıldız Teknik Üniversitesi	<b>Recep ÇALIN</b> , Kırıkkale Üniversitesi
<b>Henryka Danuta STRYCZEWA</b> , Politechnika Lubelska	<b>Rodica MILICI, Stefan cel Mare</b> Suceava University
<b>Hüseyin AKILLI</b> , Çukurova Üniversitesi	<b>Saffa B. RIFFAT</b> , Nottingham University
<b>Hüseyin EKİZ</b> , Süleyman Şah Üniversitesi	<b>Saw Sor HEOH</b> , INTI International University
<b>Hüseyin Rıza BÖRKLÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Suat CANBAZOĞLU</b> , İnönü Üniversitesi
<b>İbrahim DİNÇER</b> , University of Ontario, Institute of Technology	<b>Süleyman GÜNDÜZ</b> , Karabük Üniversitesi
<b>İbrahim SEFA</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Seyhan FIRAT</b> , Gazi Üniversitesi
<b>İhsan KORKUT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Sing LEE</b> , Institute for Plasma Focus
<b>İlhami ÇOLAK</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Souad A.M.ALBATHI</b> , International Islamic University of Malaysia
<b>İlker USTA</b> , Hacettepe Üniversitesi	<b>Şükrü DURSUN</b> , Selçuk Üniversitesi
<b>İshak KARAKAYA</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Tayfun MENLİK</b> , Gazi Üniversitesi
<b>İsmail AYDIN</b> , Karadeniz Teknik Üniversitesi	<b>Turgay AKBULUT</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>Jamal KHATIB</b> , University of Wolverhampton	<b>Ulvi ŞEKER</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Jerzy Smardzewski</b> , Ponzan University	<b>Ülkü SAYIN</b> , Selçuk Üniversitesi
<b>John KINUTHIA</b> , University of South Wales	<b>Yakup İÇİNGÜR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Lale TÜKENMEZ ERGENE</b> , İstanbul Teknik Üniversitesi	

Cilt / volume : 19

Sayı / number : 1

Haziran / june : 2016

e-ISSN 2147-9429

Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi tarafından yılda **dört sayı** olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic is published **four issues** per year by Gazi University

Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi Senatosunun 20 Mart 1998 tarih ve 3 sayılı toplantısında alınan 98/30 sayılı kararı uyarınca hakemli dergi olarak yayınlanmaktadır.

Politeknik Dergisinin 2013 yılından itibaren yayınlanan sayıları "**Mühendislik ve Temel Bilimleri**" dallarındaki makaleleri kapsamaktadır.

### **BU SAYIYA (CİLT 19 SAYI 1) KATKI VEREN HAKEMLER**

Adnan SÖZEN (2 kez)	Haşim YILMAZ
Ahmet ÖZER	Hüseyin YILDIRIM
Amin MIRZAPOUR	Mete EMİNAĞAOĞLU
Ayla ALTINTEN	Metin GÜRÜ
Ayşe MURATHAN (2 kez)	Muammer NALBANT
Can ÇINAR	Mustafa AKTAŞ (2 kez)
Çetin KARATAŞ	Ramazan BAYINDIR
Çiğdem İYİGÜN KARADAĞ	Serdar YÜCESU
Ebru SOLAK	Tarık YERLİKAYA
Gökhan GÖKMEN	Zafer ÖZDEMİR (2 kez)

#### **Yazışma Adresi / Correspondence Address :**

Politeknik Dergisi Editörlüğü  
Gazi Üniversitesi  
Teknoloji Fakültesi  
Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü  
06500 Teknikokullar  
ANKARA –TÜRKİYE

**Tel** : 0312-202 34 12

**Fax** : 0312-212 00 59

**Elektronik Posta Adresi / e-mail** : politeknik@gazi.edu.tr

Teknik Sorumlu / Technical Manager : **Serhat KARYEYEN**

Dizgi / Compositor : **İdris ÖZÇELİK**

# The Influences of Environmental Factors on Abrasive Wear of FKM, NBR and CR

Erol FEYZULLAHOĞLU

Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering

Umuttepe, Izmit 41380 Kocaeli / TURKEY

(Geliş / Received : 15.02.2015 ; Kabul / Accepted : 02.04.2015)

## ABSTRACT

Wear resistance is an important factor which influences the working life of many rubber products such as seals and conveyor belts. Most rubber products operate in presence of corrosion, ozone, thermal cycling and heat during the service life. In this experimental study, the influences of environmental factors such as ozone, corrosion, thermal cycling and environmental stress on abrasive wear behaviors of FKM, NBR and CR rubbers were investigated. Abrasion tests were performed to determine tribological properties of samples. The roughness of wear surfaces and hardness of samples were measured. The surfaces of samples before and after exposing ozone were carried out with microscope. The all of the environmental factors caused to decrease of hardness of samples. The volume loss and wear rate values of all samples exposed to ozone increased. The all samples exposed to NaCl solution have highly wear resistance. After ozone tests, the cracks and ruptures from surfaces were occurred in some samples. FKM has the most stress-cracking resistance in the tested materials.

**Keywords:** Abrasive wear, rubber, ozone, corrosion

## Dış Etkenlerin FKM, NBR ve CR Kauçuklarının Abraziv Aşınması Üzerindeki Etkileri

### ÖZ

Aşınma direnci, sızdırmazlık elemanları ve konveyör bantları gibi birçok kauçuk ürünün çalışma ömrünü etkileyen önemli bir faktördür. Birçok kauçuk ürün ömürleri boyunca korozyon, ozon, termal çevrim ve ısı etkisinde kalarak çalışır. Bu deneysel çalışmada ozon, korozyon, termal çevrim ve çevresel gerilme gibi dış etkenlerin, FKM, NBR ve CR kauçuklarının abrasiv aşınma davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Numunelerin tribolojik özelliklerini belirlemek için abrasiv aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma yüzeylerinin pürüzlülükleri ve numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Ozona maruz bırakılmadan önce ve sonra numunelerin yüzeyleri mikroskop ile incelenmiştir. Dış etkenlerin tamamı, numunelerin sertliklerinin azalmasına neden olmuştur. Ozona maruz numunelerin tamamının hacim kayıpları ve aşınma oranları artmıştır. Tuzlu su çözeltisine maruz kalan numunelerin tamamı, oldukça yüksek aşınma direncine sahiptir. Ozon testlerinden sonra bazı numunelerin yüzeylerinde çatlaklar ve yüzeyden ayrılmalar oluşmuştur. FKM, test edilen malzemeler içinde en çok çatlak ilerleme direncine sahip malzemedir.

**Anahtar Kelimeler:** Abraziv aşınma, kauçuk, ozon, korozyon

### 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

The wear occurs in many industrial applications and causes high costs due to material failures. The abrasive wear is a failure problem and it should be taken into account in design and production of components. When materials such as rubbers in work (conveyor belts, seals and tires) are contacting with solid materials, the abrasion will be occurred. Wear resistance is an important factor which influences the working life of many rubber products such as seals and conveyor belts. The tribology of elastomers is expected to play an important role in decreasing friction for minimizing energy loss and decreasing wear for minimizing material loss [1]. In many applications, the abrasive wear is the major failure cause of rubbers [2]. Friction and wear are critical factors in rubber seals [3]. When

the assembly of seal is done under rough conditions, the wear of rubber is unavoidable. Thus the abrasion behavior of rubber has attracted attention [4]. The abrasive wear of a rubber seal material may results from many causes which are particulate suspended in lubricating oil, wear debris from inadequate lubrication, corrosion products, airborne dust and rough surface finish. The one of important characteristics of rubber to be used as a seal material is abrasion resistance. The abrasion of elastomer seals reduces life and sealing ability of seals. The elastomeric seals are crucial components which affect reliability and lifetime of all pneumatic and hydraulic devices which are cylinders, valves, rotary and semi-rotary motors [5].

Some of rubber deteriorations are attributable to environmental conditions. The environmental factors reduce durability and service life of rubber components. Most rubber products operate in presence of corrosion, ozone, thermal cycling and heat during the service life.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: feyzullahoglu@yahoo.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 1-8



The rubber contact surfaces may generate heat during a wear process under harsh environments [6]. The heat resistance of elastomers has a critical role in sealing applications. All rubbers are subjected to deterioration at high temperatures. The high temperature on rubber surface accelerates ageing of elastomer. The ageing is the process of deterioration of elastomer properties such as increase of hardness and material cracking [3]. In petroleum and chemical industry, rubber products must be resistance to corrosion. The sea water causes corrosion of rubber seals in marine applications. The fluid leakages can be occurred in rubber seals because of chemical corrosion. While rubber components used in belt conveyors, hydraulic machines etc. are working at outdoor, it is exposed to ozone. The deterioration with time relates to nature of bonds in rubber molecules. In cracking, the molecular bonds are cut. Ozone and ultraviolet light cause degradation of this type. The crack formation depends on temperature, ozone concentration and relative humidity. Because of climate changes the ozone at high concentration can influence the life of rubber components. Even though the atmosphere contains 0-7pphm ozone concentrations normally, ozone can severely attack non-resistant rubbers [7]. The ozone has an important effect on the abrasion property of unsaturated rubbers [8].

The different types of rubbers such as Natural Rubber (NR), Nitrile Butadiene Rubber (NBR), Fluoro Rubber (FKM), Chloroprene Rubber (CR), Styrene Butadiene Rubber (SBR), Ethylene Propylene Diene Elastomer (EPDM), Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber (HNBR) etc. are used as rubber components materials in industry. Although a number of studies have been investigated the mechanical properties of FKM, NBR and CR rubbers, the influence of environmental factors on abrasive wear have not been examined too much. Some researchers have carried out abrasion tests on cylindrical elastomeric sample using suited tribometers. Morrel et al. [9] investigated thermal aging properties of NBR O-rings. They studied compression set tests for NBR O-rings. Wang et al. [10] investigated NBR/nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composites. Their results showed that the addition of nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles improved friction and wear performance of NBR. Poh et al. [8] investigated the effect of ozone on abrasion resistance of epoxized natural rubber (ENR). They showed that the presence of ozone reduced the abrasion resistance of ENR. Findik et al. [11] investigated the mechanical and physical properties of several industrial rubbers. They considered different ratios of filler materials. They also investigated wear resistance of rubber samples exposed to ozone. Dong et al. [6] investigated the tribological properties of aged NBR under dry sliding. They showed that the aging had a significant effect on the tribological properties of NBR samples.

In literature, there have been a few of investigations of FKM, NBR and CR rubbers subjected to abrasive wear in different working conditions. The effects of temperature and chemical matters on the performance of

rubber parts are available in literature. But, the influences of environmental factors on abrasive wear have not been enough investigated until now. The aim of this study is to investigate the influence of environmental factors such as ozone, corrosion, thermal cycling and environmental stress on abrasive wear behaviors of FKM, NBR and CR rubbers. Abrasion tests were performed to determine tribological properties of samples.

## 2. EXPERIMENTAL STUDY (DENEYSEL ÇALIŞMA)

### 2.1. Materials and Samples Preparation (Malzemeler ve Numunelerin Hazırlanması)

In this experimental study, industrial rubbers such as FKM, NBR and CR were investigated.

Fluoro Rubber (FKM) has good properties such as heat, oil, solvent, ozone and corrosion resistance. FKM is used in crankshaft and valve-stem seals and military and aerospace seal applications at elevated temperatures [12]. Nitrile rubber (NBR) has exhibited outstanding chemical resistance (oil and solvent) and wide range of operating temperatures [4]. It is used for seals, hoses, fuel-lines and O-rings in automotive industry [2,9]. NBR is also widely used in automobile, transmissions and shock absorbers. These applications require high wear resistance. Chloroprene Rubber (CR) has several technically properties such as good mechanical properties, excellent resistance to heat, ozone and general weather conditions [13]. CR is widely used in automobile industries [14].

The density of samples were measured according to ISO 1183 (Method A) with AND-200 Microbalance and shown in Table 1. In the procedure of density measuring, the sample was weighed in air then weighed when immersed in distilled water at 22°C using a sinker to hold sample completely immersed as required. And then the density of sample was calculated by Microbalance.

**Table 1.** The density of samples

Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )
FKM	2,1
NBR	1,2
CR	1,4
Standard rubber	1,1

In sample preparation, the rubber compounds were worked-out by mixing first with kneader than with twin-roll mill. After uniform mixing, the rubber samples were manufactured by compression molding and vulcanized at 170°C, 15MPa for 10min. FKM, NBR and CR samples were provided by Kastas Sealing Technologies Izmir/Turkey for experimental studies. The wear samples have  $\phi$ 16mm diameter and 10mm thickness.

## 2.2. Exposing of Samples to Different Conditions

(Numunelerin Farklı Koşullara Maruz Bırakılması)

The elastomers are sometimes exposed to atmospheric environments during the service life. These environmental effects may be at different temperatures.

### a) Ozone

Ozone cracks in rubbers develop on surfaces subjected to tensile strain. The rubber conveyor belts and some seals are subjected to tensile strain every time. The ozone is present in the atmosphere at normally 0-7pphm concentrations [11]. In this experimental study, Argentox/Type 3MR model Ozone Test Cabinet was used. The samples were exposed to 50pphm of ozone at 40°C for 48 h. Ozone aging studies were performed to ISO 1431-1 standard [15].

### b) Corrosion

Rubber components may be in contact with corrosive materials in chemical plants and marine applications. In this experimental study, tested samples were exposed to 5%NaCl solution (salt water) at 35°C for 400h.

### c) Thermal cycling

Thermal cycling is sometimes a serious problem for elastomers. Rubber conveyor belts and seals may be worked at different temperatures. This thermal cycling repeats along the service life. Thermal cycling can be important for some rubber parts in indoor and outdoor conditions. The heat is the one of the aging factors causing degradation. In this experimental study, tested samples were subjected to 120 thermal cycles. The thermal cycling was performed in two separate tanks which contained boiling water and ice-water. The temperature was 100°C at boiling water tank and 0°C at ice water tank. After waiting for 1min in boiling water, samples were waited 1min in ice- water. This operation was a thermal cycle. Samples were dried in an oven at 25°C after thermal cycle.

## 2.3. Hardness Test (Sertlik Testi)

The hardness tests of samples were performed according to ISO 868 standard with A type Shore durometer (Zwick/Roell model). Hardness tests were performed at 22°C, 12.5N load. The averages of five readings were regarded.

## 2.4. Abrasion Test (Absaziv Aşınma Testi)



Fig. 1. Wear tester

The abrasion test is a suitable test for measurement of abrasive wear resistance of vulcanized rubbers. Abrasion resistance was evaluated with a standard test according to ASTM D5963 and performed on a DIN Abrader (Ektron Tek Co Ltd, China). In abrasion tester, the test sample is rotated while it is moved laterally across the rotating drum. This working condition assures uniform contact of test sample to abrasive object. The wear tester is shown in Fig.1. In abrasion tester, the sample was pushed against to rotating drum with a specific force (20N) and the rotating drum was covered with an alumina sand paper (#60 grid). The diameter of drum was 150mm and was rotated at 40rpm. The rotation speed of sample was 0,9rpm and abrasion speed was 19,2mm/min. The lateral displacement of sample was 4,2mm per revolution of drum. The sample was moved 40m on rotating drum. 20±2°C temperature and 40±5% humidity were used at test conditions.

Wear is mostly quantified by measuring weight loss of sample [11]. For each test, three samples were used and average value was recorded in order to comply with the standard. The tested samples were weighted using a digital electronic balance before and after abrasion tests to quantify the abrasion wear. The weight loss of tested sample under abrasion test was converted into volume loss using density of sample. In this study, the wear resistance was defined as volume loss in cubic millimeters.

The volume loss was calculated as following according to ASTM D5963:

$$V = \frac{\Delta M \cdot S_o}{\rho \cdot S_w} \quad (1)$$

Here “V” is volume loss of sample (mm<sup>3</sup>), “ΔM” is weight loss of sample (mg), “ρ” is density of sample (g/cm<sup>3</sup>), “S<sub>o</sub>” is nominal abrasiveness of abrasive sheet (200mg) and “S<sub>w</sub>” is weight loss of standard rubber (475mg).

The results are also expressed as wear rate. The wear rate values were commonly calculated to use with comparative studies in literature. The specific wear rate was calculated as follows [16]:

$$W = \frac{\Delta M}{\rho \cdot L \cdot F_N} \quad (2)$$

Here “W” is specific wear rate of sample (m<sup>3</sup>/N.m), “ΔM” is weight loss of sample (g), “ρ” is density of sample (g/m<sup>3</sup>), “L” is sliding distance (40m) and “F<sub>N</sub>” is applied normal load (20N).

## 2.5. Surface Roughness (Yüzey Pürüzlülüğü)

Surface roughness values of wear surfaces of tested samples were performed with Mitutoyo SJ-301 surface roughness tester. Surface roughness of samples exposed to different conditions such as ozone, corrosion and thermal cycling were severally measured.



**2.6. Optical Microscopy** (Optik Mikroskop ile İnceleme)

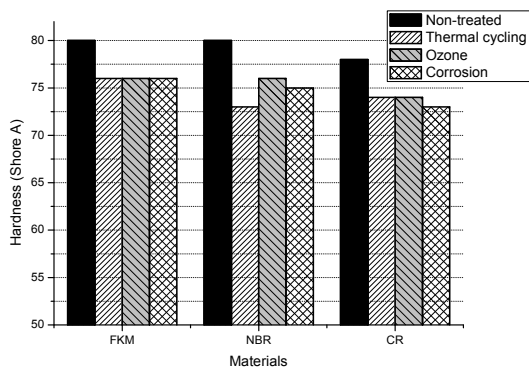
The surface textures of samples before and after exposing ozone were carried out with a Nikon SMZ 745T Model stereo-zoom microscope (50x).

**2.7. Environmental Stress Crack Resistance Test** (Çevresel Gerilme Çatlak İlerleme Direnci Testi)

An internal or external crack in a material can be caused by tensile stresses. These cracks can be divided into two groups which are brittle crack and slow crack. The best known type of slow crack is environmental stress cracking (ESC). This type of crack is seen in the presence of surface active wetting agents and stressed samples. The ability of a material to resist environmental stress cracking is known as ESCR. Ray-Ran Model Environmental Stress Cracking Apparatus was used to determine susceptibility of tested samples to environmental stress-cracking when subjected to specified conditions. These conditions contain stress and different environments such as soaps, oils and wetting agents. In this study, first samples were bent and inserted into brackets. Then, samples and brackets were inserted into a tube filled with solution. The tube was placed into heated environment. The cracking failures were inspected periodically. ECSR tests were performed at 50°C.

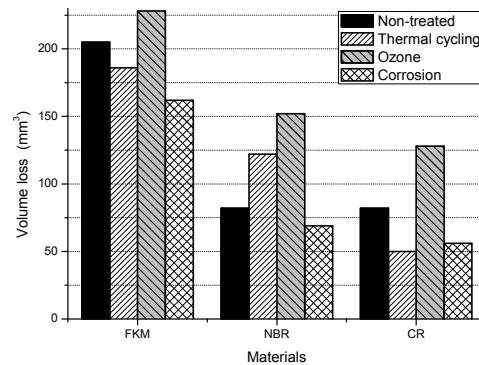
**3. RESULTS AND DISCUSSIONS (BULGULAR VE TARTIŞMA)**

Hardness is a good indication of wear property of an elastomeric material. The hardness values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling were presented in Fig. 2. In this figure, it was seen that hardness values of treated samples were decreased. The all of the environmental factors caused to decrease of hardness values of rubber samples. The hardness values of NBR samples exposed to thermal cycling were more decreased than other samples. The hardness values of CR samples exposed to corrosion were more decreased than other samples.



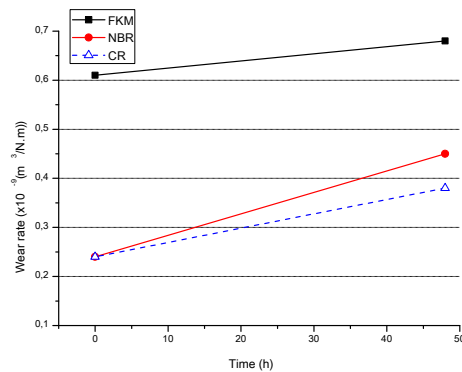
**Fig. 2.** The hardness values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling

The wear of elastomer is a complicated event. It depends on a combination of treatments such as mechanical, mechano-chemical and thermo-chemical. It also depends on configuration of testing device, sliding distance, applied loads and surface property of counterpart. The environmental factors have significant effects on tribological properties and working performance of elastomers. The volume loss values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling were presented in Fig. 3. In this figure, it was seen that corrosion reduced volume loss values of all samples. The volume loss values of all samples increased by influences of ozone. The smaller value of volume loss indicates better abrasion resistance. The ozone causes more wear of rubber samples. Wang et al. [10] also stated that the presence of ozone was caused the higher abrasion loss in rubber products.



**Fig. 3.** The volume loss values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling

The wear rate values of samples exposed to ozone were presented in Fig. 4. In this figure, it was seen that the wear rate values of all samples were increased by influence of ozone. NBR samples were more worn than other rubber samples. The ozone is one of the aging factors causing degradation. Poh et al. [8] stated that chain scissioning of double bond by ozone generated the greater abrasion loss in rubbers. They also stated that the presence of ozone reduced abrasion resistance of rubber.



**Fig. 4.** The wear rate values of samples exposed to ozone

The wear rate values of samples exposed to corrosion were presented in Fig. 5. In this figure, it was seen that the wear rate values of all samples decreased with exposure time. The wear resistance of FKM is better than other samples. The 5%NaCl solution used in experiments didn't have an important corrosive effect on rubber samples. The all samples exposed to NaCl solution have highly wear resistance.

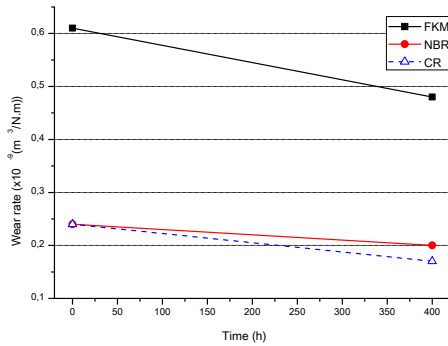


Fig. 5. The wear rate values of samples exposed to corrosion

The wear rate values of samples exposed to thermal cycling were presented in Fig.6. In this figure, it was seen that the wear rate values of FKM and CR samples decreased with exposure time. The thermal cycling decreased the wear resistance of NBR samples and increased the wear resistance of FKM and CR samples. Glaeser and Chandrasekaran [12,13] stated that FKM and CR materials had resistance to heat in their studies. The results obtained from Fig. 6 are similar to their results. The thermal exposure combined with mechanical loading can produce significant damage in polymers [17]. The sample was exposed to thermal stress during the thermal cycles. The thermal cycling induces micro cracks and degradations [17]. A rubber material is generally sensitive to temperature changes. When the temperature increases from 0-100 °C, the anti-fatigue life of rubbers is reduced [6].

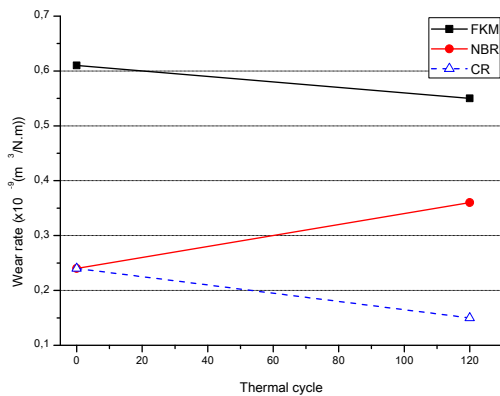


Fig. 6. The wear rate values of samples exposed to thermal cycling

The surfaces roughness values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling were presented in Fig.7. In this figure, it was seen that surface roughness values of all samples were increased because of thermal cycling. The all of the environmental factors caused to increase of surface roughness values of NBR samples. When the wear surfaces of rubber samples were examined after wear tests, the significant surface roughness values were observed on surfaces of NBR and CR samples exposed to ozone.

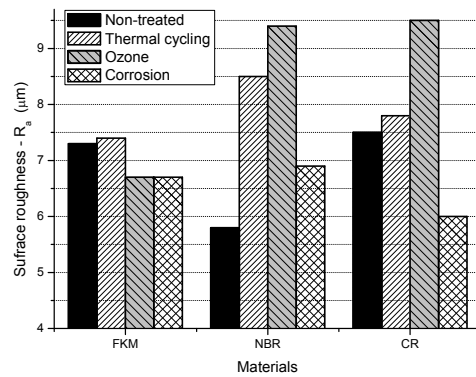
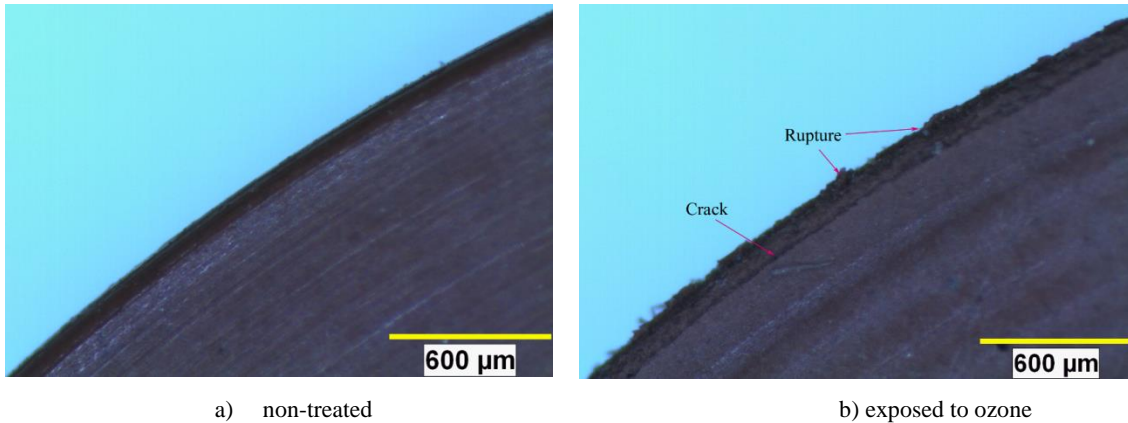


Fig. 7. The surfaces roughness values of samples exposed to ozone, corrosion and thermal cycling

The photographs of samples before and after exposing ozone were taken using a stereo-zoom microscope. Fig. 8-10 show the photographs of ozone cracked surface of FKM, NBR and CR samples. Crack formation can be influenced by presence of oxygen or ozone. After ozone tests, the dense and capillary cracks and ruptures from surfaces were occurred in some rubber samples. When the Fig. 8-10 are analyzed, it is seen that the cracks developed on the surfaces of samples exposed to ozone. Sulekha et al. [7] also stated that a series of cracks were developed in rubbers which were subjected to ozone. When the optical photographs of samples exposed to ozone are investigated it is seen that the cracks are small and discontinuous in CR samples, whereas cracks are deep and continuous in NBR sample.

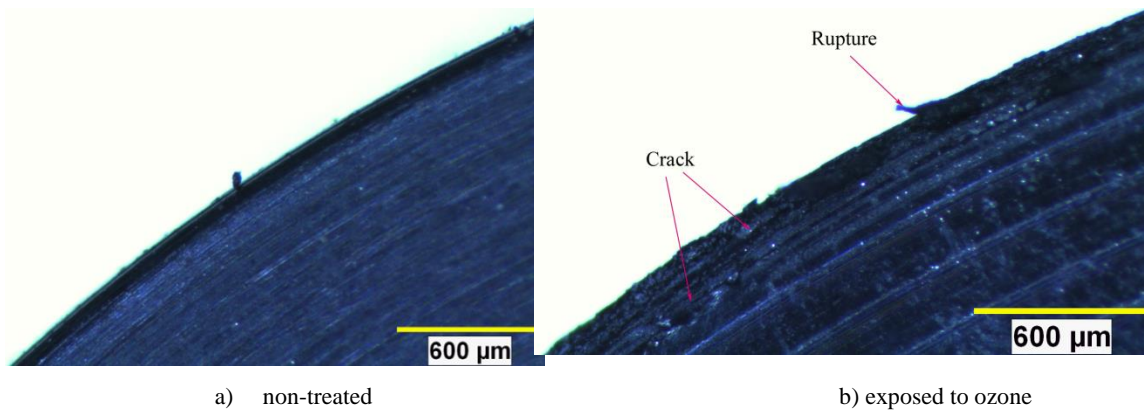




a) non-treated

b) exposed to ozone

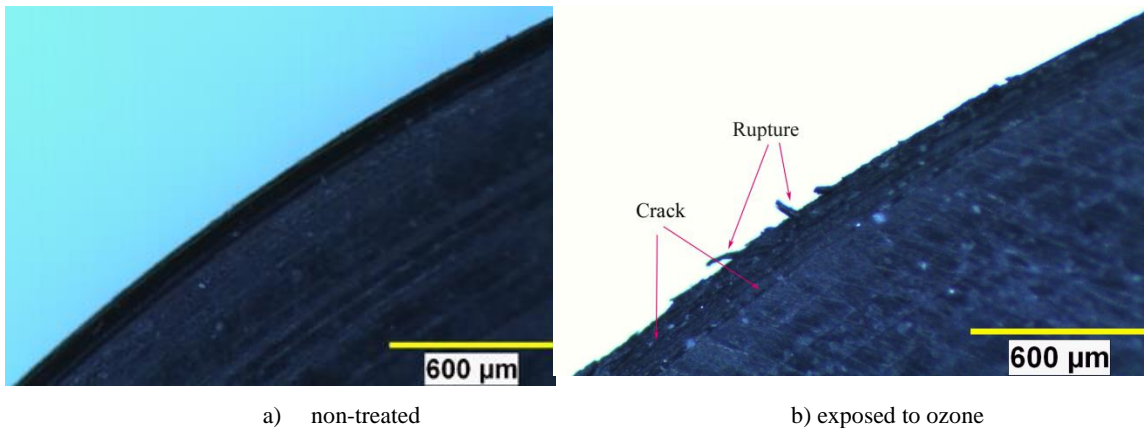
**Fig. 8.** The photographs of FKM sample (50x)



a) non-treated

b) exposed to ozone

**Fig. 9.** The photographs of NBR sample (50x)



a) non-treated

b) exposed to ozone

**Fig. 10.** The photographs of CR sample (50x)

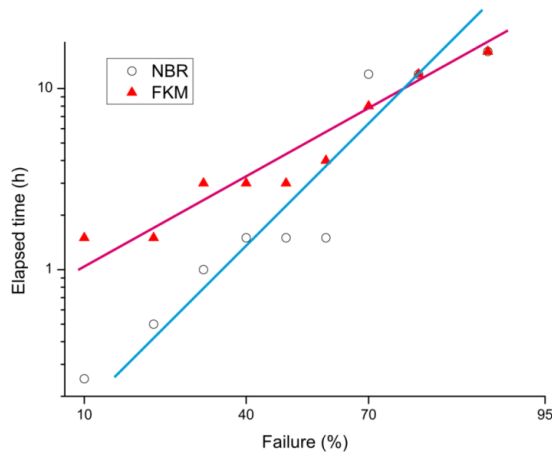
Table 2 shows number of failures of rubber samples exposed to environmental stress-cracking test. Fig.11 shows the environmental stress crack resistance of samples. In ECSR tests, crack resistance behaviors of samples were investigated. The stress cracking results in the failure of a material. This situation must be taken into account in design of rubber material parts. FKM has the most stress-cracking resistance in the tested

materials. The high stress-cracking resistance of FKM relates to using at elevated temperatures [12].

**Table 2.** Number of failures of samples exposed to environmental stress-cracking test

Material	Elapsed time (h)														
	0.1	0.25	0.5	1	1,5	2	3	4	6	8	12	16	24	32	48
FKM	0	0	0	0	2	2	5	6	6	7	8	9	*		
NBR	0	1	2	3	6	6	6	6	6	6	8	9	*		

\*Stop test since all available samples failed.



**Fig. 11.** Environmental stress crack resistance of samples

7- FKM has the most stress-cracking resistance in the tested materials.

**ACKNOWLEDGEMENTS (TEŞEKKÜR)**

The author wishes to thank Kastas Sealing Technologies Izmir/Turkey for their supports of materials supply.

**5. REFERENCES (KAYNAKLAR)**

- Guo Y., Wang J., Li K. and Ding X., “Tribological properties and morphology of bimodal elastomeric nitrile butadiene rubber Networks”, *Mater Design*, 52: 861–869, (2013)
- Arayaprane W., Rubber Abrasion Resistance, Abrasion Resistance of Materials, InTech, Rijeka, 2012.
- Gawlinski M., “Friction and wear of elastomer seals”, *Archives of civil and mechanical engineering*, 4: 57-67, (2007)

Abbreviations and Symbols		Abbreviations and Symbols	
NR	Natural Rubber	EPDM	Ethylene Propylene Diene Elastomer
FKM	Fluoro Rubber	HNBR	Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber
CR	Chloroprene Rubber	ESCR	Environmental Stress Crack Resistance
NBR	Nitrile Butadiene Rubber	SBR	Styrene Butadiene Rubber
$L$	Sliding distance, m	ENR	Epoxized Natural Rubber
$F_N$	Applied normal load, N	$S_w$	Weight loss of standard rubber, mg
$V$	Volume loss of sample, mm <sup>3</sup>	$W$	Specific wear rate of sample, m <sup>3</sup> /N.m
$\rho$	Density of sample, g/cm <sup>3</sup>	$\Delta M$	Weight loss of sample, mg
		$S_0$	Nominal abrasiveness of abrasive sheet, mg

**4. CONCLUSIONS (SONUÇLAR)**

The main conclusions drawn from the present work are summarized as follows;

- The all of the environmental factors caused to decrease of hardness values of rubber samples.
- The ozone caused more wear of rubber samples.
- The all samples exposed to NaCl solution have highly wear resistance.
- The thermal cycling decreased the wear resistance of NBR samples and increased the wear resistance of FKM and CR samples.
- The all of the environmental factors caused to increase of surface roughness values of NBR samples.
- After ozone tests, the dense and capillary cracks and ruptures from surfaces were occurred in some rubber samples.

- Cao Z., Wang D., Cong C., Wang Y. and Zhou Q., “Dependence of abrasion behavior on cross-linked heterogeneity in unfilled nitrile rubber”, *Tribology International*, 69: 141–149, (2014)
- Belforte G., Mazza L. and Visconte C., “Non contact wear measurement on pneumatic seals”, *Tribology International*, 48: 73–77, (2012)
- Dong C.L., Yuan C.Q., Bai X.Q., Yan X.P. and Peng Z., “Tribological properties of aged nitrile butadiene rubber under dry sliding conditions”, *Wear*, 322-323: 226–237, (2015)
- Sulekha P.B., Joseph R., Madhusoodanan K.N. and Thomas K.T., “New oligomer-bound antioxidants for improved flex crack resistance and ozone resistance”, *Polymer Degradation and Stability*, 77: 403–416, (2002)
- Poh B.T. and Razai M.J.B., “Abrasion Property of Epoxized Natural Rubber”, *Polym Plast Technol*, 38: 341-350, (1999)



9. Morrell P.R., Patel M. and Skinner A.R., “Accelerated thermal ageing studies on nitrile rubber O-rings”, *Poly Test*, 22: 651-656, (2003)
10. Wang Q., Yang F., Yang Q., Chen J. and G. Hongyan, “Study on mechanical properties of nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> reinforced nitrile butadiene rubber”, *Mater Design*, 31: 1023-1028, (2010)
11. Findik F., Yılmaz R. and Köksal T., “Investigation of mechanical and physical properties of several industrial rubbers”, *Mater Design*, 25: 269-276, (2004).
12. Glaeser W.A., Materials for tribology, *Elsevier*, Amsterdam, 1992.
13. Chandrasekaran V.C., Rubber seals for fluid and hydraulic systems, *Elsevier*, Oxford, 2010.
14. Yeh M., Hwang W. and Cheng L., “Microstructure and mechanical properties of neoprene–montmorillonite nanocomposites” *Appl Surf Sci*, 253: 4777-4781, (2007)
15. ISO 1431-1, Rubber, vulcanized or thermoplastic-Resistance to ozone cracking-Part 1: Static and dynamic strain testing.
16. d'Almeida J.R.M., Ribeiro F.L. and Alves I.G., “Wear behavior of a polymer-matrix composite reinforced with residues from a hydrometallurgical process”, *Polym Plast Technol Eng*, 48: 1304-1309, (2009)
17. Sinmazçelik T. and Arici A.A., “Thermal cycles effects on interlaminar shear strength (ILSS) and impact behaviour of carbon/PEI composites”, *Mater Sci*, 41: 1233-1241, (2006)

# Kablosuz Sıcaklık Kontrolü İçin PID Ayarlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Adnan ALDEMİR, Hale HAPOĞLU

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Ankara, Türkiye

(Geliş / Received : 02.03.2015 ; Kabul / Accepted : 16.06.2015)

## ÖZ

Bu çalışmada bir proses simülöründe, PID algoritmasının kullanıldığı üç farklı parametre ayarlama yöntemi ile kablosuz sıcaklık kontrol deneyleri gerçekleştirildi. Aynı koşullarda, üç farklı set noktası için yapılan kablosuz kontrol deneylerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı. Temel İşlemler Laboratuvarında bulunan simülör ile Proses Kontrol Laboratuvarında bulunan bilgisayar arasındaki veri aktarımını sağlamak için kablosuz iletişim sistemi kuruldu. Kablosuz deneyler MATLAB/Simulink programı yardımıyla on-line olarak gerçekleştirildi. Deneyler sırasında kablosuz veri transferi 2.4 GHz frekansında radyo dalgaları kullanılarak gerçekleştirildi. Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleri için gerçekleştirilen dinamik deneylerde sisteme uygulanan basamak etki sonucu proses reaksiyon eğrisi hazırlandı. Reaksiyon eğrisinden elde edilen ölü zaman, zaman sabiti ve kazanç değerleri sırasıyla 33s, 367s ve 0.4 olarak belirlendi. Cohen-Coon yöntemi ile  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  katsayıları sırasıyla 37.7, 78.3s, 11.8s olarak belirlendi. Bu yöntemle farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak ısıtıcının başlangıçtan itibaren açık-kapalı şeklinde ve düzensiz çalıştığı gözlemlendi ve bu yöntemle elde edilen katsayıların kablosuz sıcaklık kontrolünde etkili olmadığı anlaşıldı. Ziegler-Nichols yöntemi ile  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  katsayıları sırasıyla 0.412, 66.0s, 16.5s olarak belirlendi. Bu yöntem ile kablosuz sıcaklık kontrolünde, sıcaklıkların istenilen set değerlerine ulaştığı ve bu sıcaklıklardan 1°C'lik offset olduğu gözlemlendi. Deneme-yanılma yöntemi ile  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  katsayıları sırasıyla 0.21, 20.0s, 4.5s olarak belirlendi. Bu yöntem ile sıcaklık kontrolünde ise sıcaklıkların offset olmaksızın istenilen set değerlerine ulaştığı ve farklı set noktaları için kablosuz sıcaklık kontrolünün başarıyla sağlandığı gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** PID kontrol, MATLAB/Simulink, kablosuz proses kontrol, Cohen-Coon, Ziegler-Nichols, deneme-yanılma yöntemi

## Comparison of PID Tuning Methods For Wireless Temperature Control

### ABSTRACT

In this study, wireless temperature control experiments were achieved using three different parameter tuning methods which using PID control algorithm is applied to a process simulator. Under the same conditions, results taken from the wireless experiments performed for three different set points were compared. To achieve the data transfer between computer in Process Control Laboratory and the simulator in Unit Operations Laboratory, wireless communication system established. Wireless experiments were performed on-line by means of MATLAB/Simulink program. Wireless data transfers during the experiments were carried out using radio waves at a frequency of 2.4 GHz. For the dynamics experiments performed employing Cohen-Coon and Ziegler-Nichols methods, the process reaction curve was prepared using step change effect. The dead time, time constant and gain values were determined as 33s, 367s and 0.4, respectively.  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  coefficients are determined by Cohen-Coon as 37.7, 78.3s, 11.8s, respectively. Comparing the experimental results performed at different set points, one could see that the heater works irregularly and on-off form during the experiments. It is noted that the coefficients obtained with this method are not effective for temperature control. The  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  parameters are determined by the Ziegler-Nichols method as 0.412, 66.0, 16.5s, respectively. In this control case, the temperature followed the desired set point with 1 °C offset. By using trial and error method,  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  parameters are obtained as 0.21, 20.0, 4.5s, respectively. By this control method, temperature followed the desired set point without any offset and wireless temperature control was achieved successfully for different set points.

**Keywords:** PID control, MATLAB/Simulink, wireless process control, Cohen-Coon, Ziegler-Nichols, trial and error method

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

PID kontrol ediciler, kolay temin edilebilmeleri, düşük maliyetleri, hem ayrı sistem olarak hemde algoritma şeklinde gömülü olarak kullanılabilmeleri, kontrol hassasiyeti, uygulama prensiplerinin anlaşılır olması ve

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: adnanaldemir@yyu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 9-19

kontrol parametrelerinin ayarlama kolaylığı nedeniyle günümüzde halen en yaygın kullanılan kontrol sistemleridir. Literatürde PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Ziegler-Nichols (1942) ve Cohen-Coon (1953) yöntemleri, bu yöntemler arasındaki en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler deneysel olarak sistemin giriş değişkenine yapılan basamak etki sonucu çı-

kış değişkeninin zamanla değişimini içeren proses reaksiyon eğrisinin hazırlanması ve belirlenen ölü zaman, zaman sabiti değerleri kullanılarak matematiksel eşitlikler ile PID katsayılarının belirlenmesine dayanmaktadır [1-2]. Literatürde farklı prosesler için PID kontrol yöntemi kullanılarak bu proseslerdeki değişkenlerin kontrolünün gerçekleştirildiği değişik örnekler mevcuttur. Bir sıvı seviye sisteminin kontrolü için değişken yapı (DY) PID kontrol önerilmiş ve bu yöntemin kontroldeki kararlılık ve performans analizi yapılmıştır. DY PID kontrolü yapılan sistemin yarı-doğrusal olduğu belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre DY PI kontrol edicinin klasik PI kontrol ediciye göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [3]. Büyük ölçekli, sabit izotermal dinamiğe sahip ve kimyasal reaksiyon kinetiklerinde doğrusal olmayan davranışın yoğun olduğu bir sürekli karıştırılmalı tank reaktörün klasik PID kontrol edici ile kararlılığının sağlanması amaçlanmıştır. Kararlılık analizinde doğrusal PID kontrolün üç modunun geometrik yorumu yapılmıştır. Buna göre oransal terim, bir denge noktasına ulaşması için reaktör dinamiklerinin enerji potansiyelini şekillendirmekte, integral terim, kontrol girişinin dc-önyargı tahmini için bir adaptif düzen görevi görmekte ve türevsel terim istenilmeyen sınımları ve aşırı sıcaklık değişimlerini önlemek için sönümleme işlemi sağlamaktadır [4]. PID kontrol edicilerin performans, ayarlama kolaylığı, kararlılık, kontrol dayanıklılığı gibi özellikleri, kullanım alanları, ayarlama yöntemleri ve bu kontrol edicilerin geleceği hakkında hazırlanan bir yayında PID kontrol edicilerin, doğrusal olmayan, çok değişkenli, zaman gecikmesi olan veya değişken set noktasına sahip farklı sistemlerdeki kullanımları incelenerek genel değerlendirme yapılmıştır [5]. Ayrıca PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için ayarlama yöntemlerinin kıyaslanmasına yönelik farklı çalışmalarda bulunmaktadır. Endüstriyel kontrol sistemleri için zaman tabanlı, frekans tabanlı ve çok amaçlı optimal ayarlama yöntemi olmak üzere üç farklı optimal PID parametre ayarlama tasarımı incelenmiştir. Bu tasarımlar, model tahmini, istenilen sistem özelliklerinin tanımı, bir optimal ayarlama mekanizması ve PID kontrol edici olarak dört temel bölümden oluşmaktadır. Bu üç optimal ayarlama yöntemi hidrolik konum kontrol sistemi, döner hidrolik hız kontrol sistemi ve gazlaştırıcı olmak üzere üç farklı endüstriyel sisteme başarıyla uygulanmış ve deneysel sonuçlar optimal ayarlamalı PID kontrol edicinin sistem performansını arttırdığı ve proses dinamiklerindeki değişimleri iyi derecede elimine ettiği belirlenmiştir [6].

Bu çalışmada bir proses simülöründe PID kontrol yöntemini kullanarak kablosuz sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Aynı koşullarda gerçekleştirilen kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde farklı parametre belirleme yöntemleri kullanılarak bu yöntemlerin etkinliği ve sıcaklık kontrolündeki performansları, deneysel sonuçlarda elde edilen sıcaklık profilleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Deneylerin radyo dalgaları ile kablosuz olarak gerçekleştirilmesi ve MATLAB/Simulink blok diyagramı ile gerçek zamanlı ve PID

kontrol algoritmasının on-line olarak kullanılması bakımından proses kontrol alanındaki çalışmalara yenilikçi bir bakış açısı getirmiştir.

## 2. DENEY SİSTEMİ (EXPERIMENTAL SYSTEM)

Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinin gerçekleştirilmesinde Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler laboratuvarında bulunan Cussons P3005 proses kontrol simülörü kullanılmıştır. Bu simülör sıcaklık, akış hızı, sıvı seviye ve basınç olmak üzere dört farklı proses parametresinin ölçüm ve kontrolü yapılabilen bir sistemdir. Proses kontrol simülöründe iki ana bölüm vardır. Bunlar proses ekipmanlarının bulunduğu bölüm ve elektronik devrelerin bulunduğu, ölçüm ve kontrolün yapılabildiği kumanda panosudur. Proses kontrol simülöründe sisteme beslenen suyun muhafaza edildiği bir adet tank, sistemde suyun sirkülasyonunu sağlayan elektrik ile çalışan bir adet pompa, şebeke suyu ile soğutmanın yapıldığı ceketli soğutucu, sistemde suyun tutulduğu iki adet cam tank, elektrik ile çalışan bir adet akış hızı kontrol vanası (CV1), bir adet sıvı seviye kontrol vanası (CV2), akış hızını ölçen bir adet orifis metre, diferansiyel basınç farkını sıvı seviyesine çeviren bir adet transmitter, sıvının taşmasını önlemek amacıyla pompanın otomatik olarak kapanmasını sağlayan sigorta, pnömatik basınç kontrol edici indikatörü, pnömatik basınç kaydedici, pnömatik olarak çalışan basınç kontrol vanası (CV3), sisteme kompresörden gelen basınçlı havayı istenilen basınç değerindeki havayı ileten iki adet regülatör bulunmaktadır. Ayrıca sistemde dört farklı deney düzeneğini oluşturabilmek için açık-kapalı konumları elle ayarlanan vanalar bulunmaktadır. Proses kontrol simülörünün diğer bir birimi ise elektronik devrelerin bulunduğu kontrol panosudur. Bu panoda sıcaklık, sıvı seviye kontrol ve akış hızının ölçüm ve kontrolü yapılabilmektedir. Burada üç adet gösterge, otomatik-manuel kontrole geçiş yapılabilen butonlar, pompa ve ısıtıcıyı çalıştırmak için butonlar bulunmaktadır. Simülörde sıcaklık, akış hızı ve sıvı seviyesi ölçüm ve kontrol sistemi tamamen elektriksel olarak basınç sistemi ise pnömatik olarak çalışmaktadır (Şekil 1).

Kablosuz deneylerin gerçekleştirilmesinde Temel İşlemler laboratuvarında bulunan proses kontrol simülörü ile Proses Kontrol laboratuvarında bulunan bilgisayar arasında veri aktarımını sağlamak için kablosuz iletişim sistemi kurulmuştur. Bunun için proses kontrol simülöründe kablosuz ölçüm ve kontrol deneyleri gerçekleştirmek için bazı değişiklikler yapılarak, yeni ekipmanlar eklenmiştir. Bu amaçla bilgisayar ve sistem arasında iletişimi sağlayabilmek için proses simülörü ve laboratuvarındaki bilgisayar arasında veri aktarımını sağlayan iki adet anten koyulmuştur. Ayrıca proste ayarlanabilen değişkenler olarak belirlenen; ısıtıcı, sıvı seviye kontrol vanası, basınç kontrol vanası tekrardan kalibre edilmiş ve bunların çıkışları modüllere bağlanmıştır. Bu modüller iki anten arasındaki aktarılan verileri bünyesinde



bulundurmaktadır. Deneyler sırasında kablosuz veri transferi 2.4 GHz frekansında radyo dalgaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

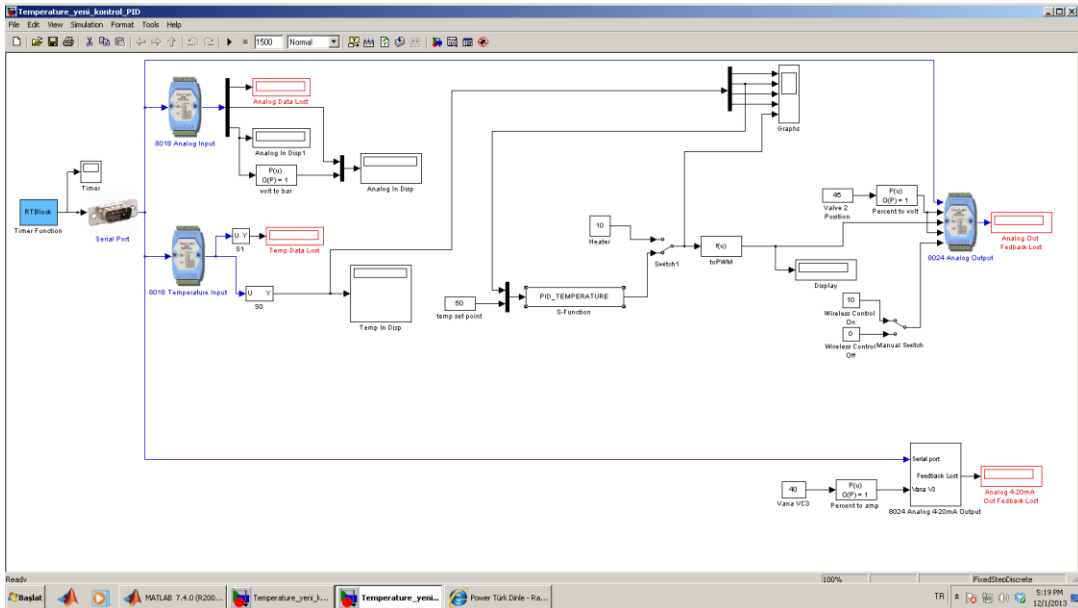


**Şekil 1.** Kablosuz ölçüm ve kontrol için geliştirilen proses kontrol simülâtörü (Developed process control simulator for wireless measurement and control)

### 3. DENEY YÖNTEMİ (EXPERIMENTAL METHOD)

Sıcaklık kontrol deneyleri için elle ayarlanan vanaların pozisyonları açık-kapalı uygun konumda ayarlanır. Akış hızı kontrol vanası 2.5 l/dk ve sıvı seviye kontrol vanası %45 vana açıklığı değerinde ayarlanarak ikinci tanktaki sıvı seviyesinin yaklaşık aynı değerinde sabitlenmesi sağlanır. Kontrol panosu üzerindeki ısıtıcı düğmesi ile çalıştırılan ısıtıcı ile sistemdeki suyun sıcaklığı artırılır. Sistemde sıcaklığı artan suyun soğutulması tanka dönmeden önce ceketli soğutucudan şebeke suyu ile sağlanır.

PID kontrol algoritmasının uygulandığı kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde algoritmadaki  $K_c$ ,  $\tau_i$  ve  $\tau_D$  kontrol katsayılarının Cohen-Coon, Ziegler-Nichols ve deneme-yanılma yöntemleri ile bulunan değerleri kullanılarak aynı koşullarda deneyler yapılmıştır. Sıcaklık kontrol deneylerinde başlangıçta ısıtıcı sabit %10 ısıtıcı açıklığı değerinde 300s çalıştırılarak sistemin yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. 300s sonunda MATLAB/Simulink blok diyagramında bulunan kontrol anahtarı değiştirilerek daha önce kaydedilen kontrol algoritması devreye alınmış ve bu algoritmadaki parametrelerin kontrol üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Kablosuz sıcaklık kontrol deneylerinde kullanılan MATLAB/Simulink programının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Burada sistemin kablosuz kontrolünün yapılabilmesi için bir adet kablosuz açık-kapalı düğmesi, proses parametrelerinin sayısal ve grafiksel olarak gösterildiği bloklar, hata sinyallerinin depolandığı bloklar, simülâtördeki elektriksel vanaların açıklık değerlerinin ayarlandığı kutucuklar bulunmaktadır (Şekil 2)



**Şekil 2.** Kablosuz PID sıcaklık kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı (MATLAB/Simulink block diagram of wireless PID temperature experiments)

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

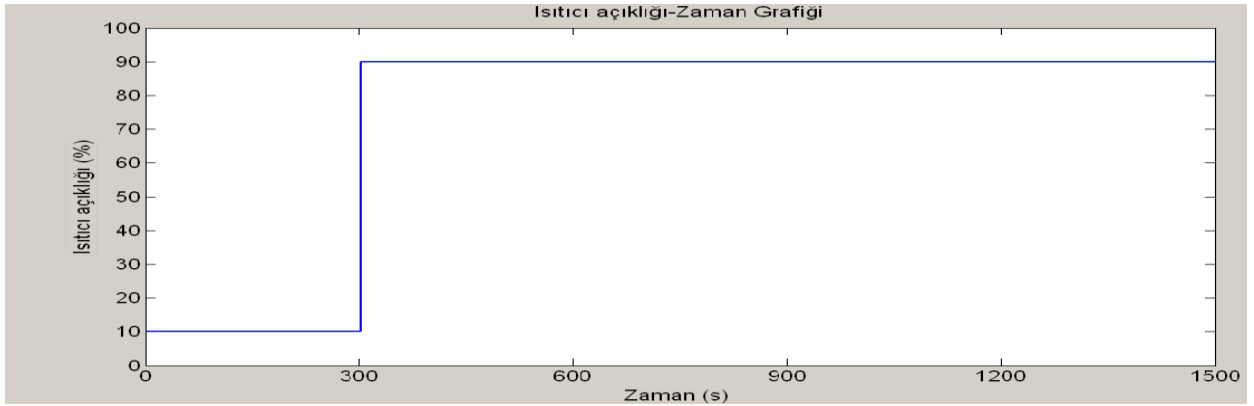
Proses kontrol simülöründe, kablosuz sıcaklık kontrol deneyleri 2.5 l/dk akış hızı ve %45 CV2 vana açıklığında gerçekleştirilmiştir. Proses kontrol simülöründe PID kontrol parametrelerinin belirlenmesi için gerekli olan reaksiyon eğrisinin oluşturulması amacıyla basamak etki uygulanan farklı bir dinamik hal deneyi gerçekleştirilmiştir. Bunun için sistem başlangıçta %10 ısıtıcı açıklığında çalıştırılmış ve sıcaklığın yatışkın hale gelmesi beklenmiştir. Isıtıcı açıklığına 80 birimlik pozitif etki verilmiş ve ısıtıcı açıklığının %90 olması sağlanmıştır (Şekil 3). %10 ısıtıcı açıklığında 26.2 °C’de sabitlenen sistem sıcaklığı artarak 58.6 °C’de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 4).

Bir PID control edici transfer fonksiyonu Eşitlik 1 ile verilmiştir. Cohen-Coon ve Ziegler-Nichols yöntemleri ile PID kontrol katsayılarını belirlemek için gerekli olan eşitlikler Tablo 1’de verilmiştir. Basamak etki sonucunda sıcaklığın zamanla değişim grafiği kullanılarak reaksiyon eğrisi hazırlanmış ve reaksiyon eğrisi kullanılarak ölü zaman ve zaman sabiti parametreleri belirlenmiştir. Şekil 5’te gösterilen reaksiyon eğrisinden belirlenen ölü zaman, zaman sabiti ve kazanç değerleri Tablo2’de verilmiştir.

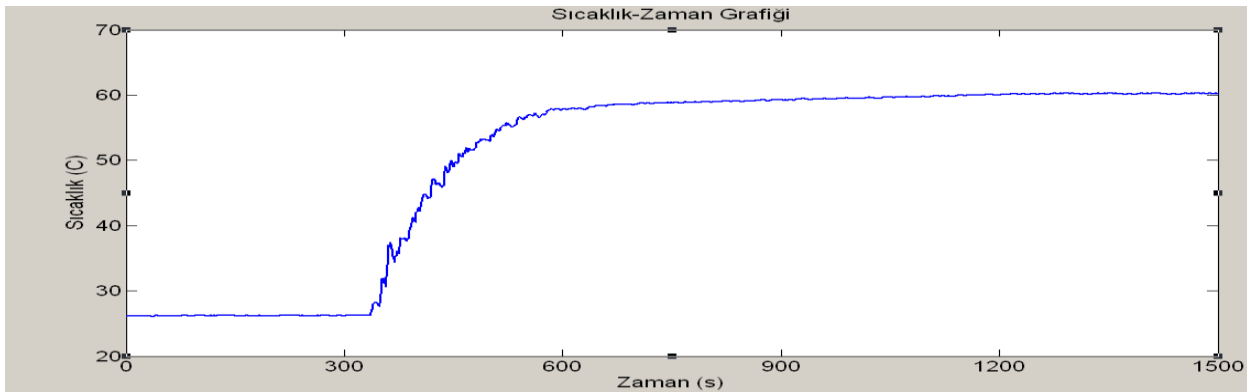
$$G_C = K_C \left( 1 + \frac{1}{\tau_I S} + \tau_D S \right) \quad (1)$$

**Tablo 1.** PID kontrol ayarlama yöntemleri için kullanılan eşitlikler [7] (The equations used for PID control tuning methods [7])

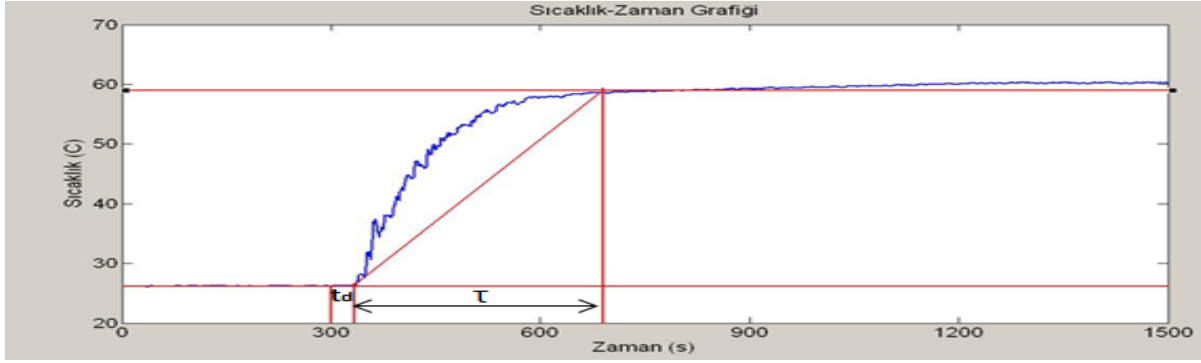
Parametre	Ziegler-Nichols	Cohen-Coon
$K_C$	$K_u/1.7$	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau}{td} \left( \frac{4}{3} + \frac{td}{4\tau} \right)$
$\tau_I$	$P_u/2.0$	$td \frac{32 + 6(td/\tau)}{13 + 8(td/\tau)}$
$\tau_D$	$P_u/8.0$	$td \frac{4}{11 + 2(td/\tau)}$



**Şekil 3.** Basamak etki sonucunda ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time as a result of step change)



**Şekil 4.** Basamak etki sonucunda sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time as a result of step change)



Şekil 5. Basamak etki sonucu oluşturulan reaksiyon eğrisi (Obtained reaction curve with step change)

Tablo2. Reaksiyon eğrisinden belirlenen kontrol katsayıları (Determined control coefficients from reaction curve)

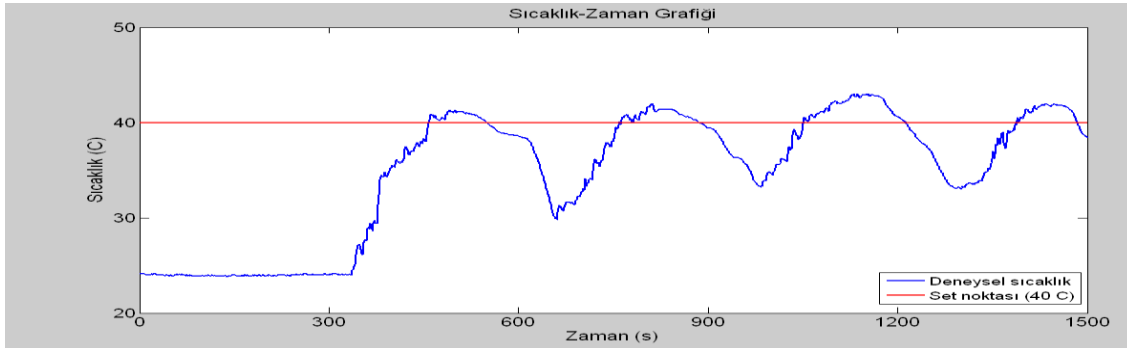
Parametre	$\tau_d$	$\tau_A$	$U_s$
Sayısal Değeri	33 s	367s	0,4

#### 4.1 Cohen-Coon Yöntemi ile Katsayıları Belirlenen PID Kontrol Sonuçları

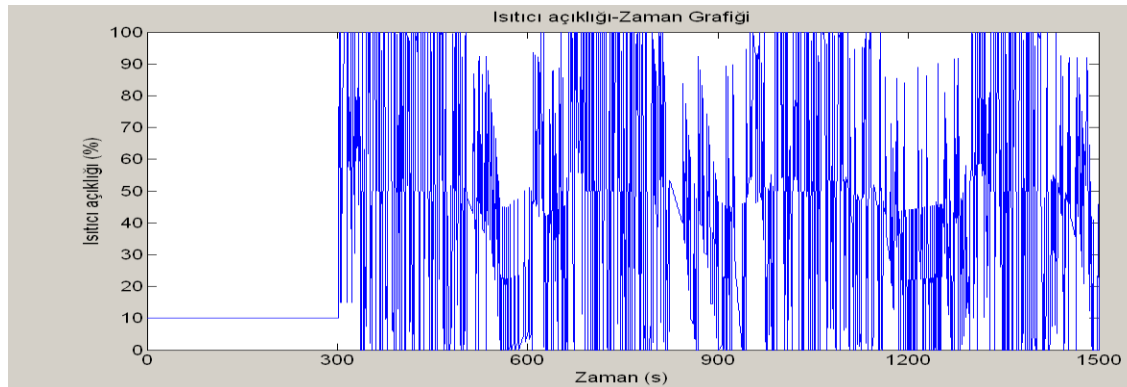
Cohen-Coon yöntemi için Tablo 1'deki eşitlikler kullanılarak hesaplanan PID kontrol katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları seçilerek PID kontrol deneyleri yapılmıştır. Bu kontrol deneylerinde ısıtıcı açıklığı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6-11'de gösterilmiştir.

Tablo3. Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları (Determined PID control coefficients with Cohen-Coon method)

Katsayı	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$
Sayısal Değeri	37,7	78,3s	11,8s

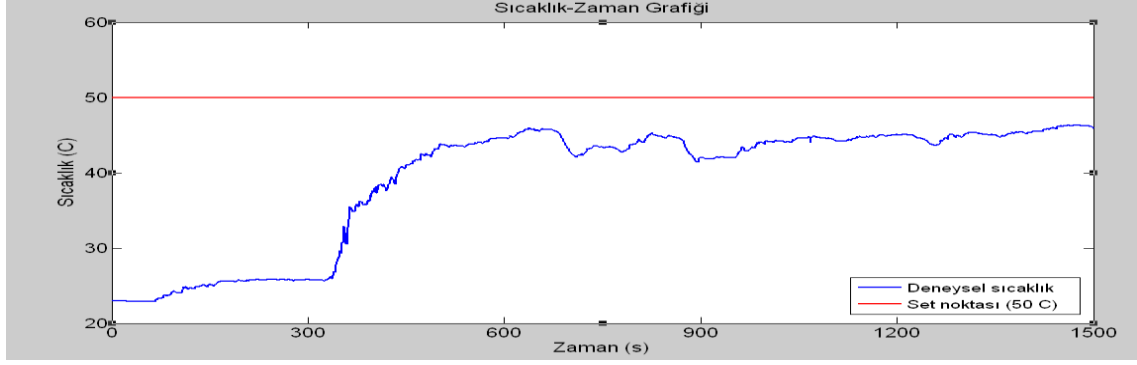


Şekil 6. C-C yöntemi ile Tset=40 °C için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for Tset=40 °C with C-C method)

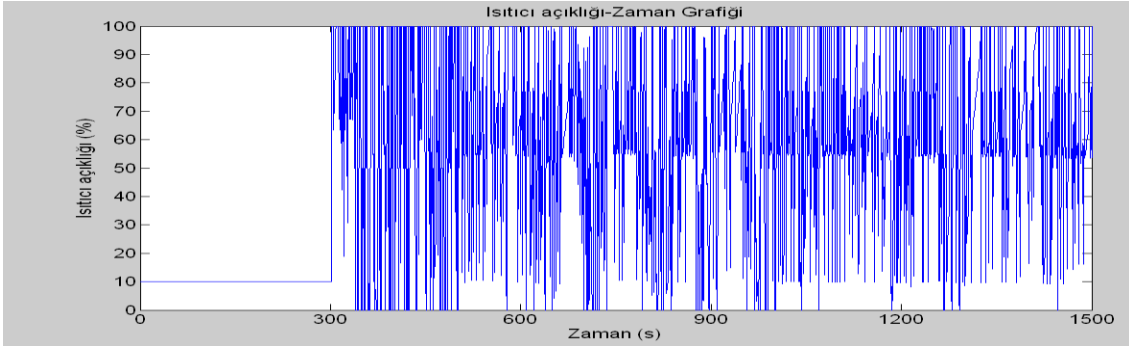


Şekil 7. C-C yöntemi ile Tset=40 °C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for Tset=40 °C with C-C method)

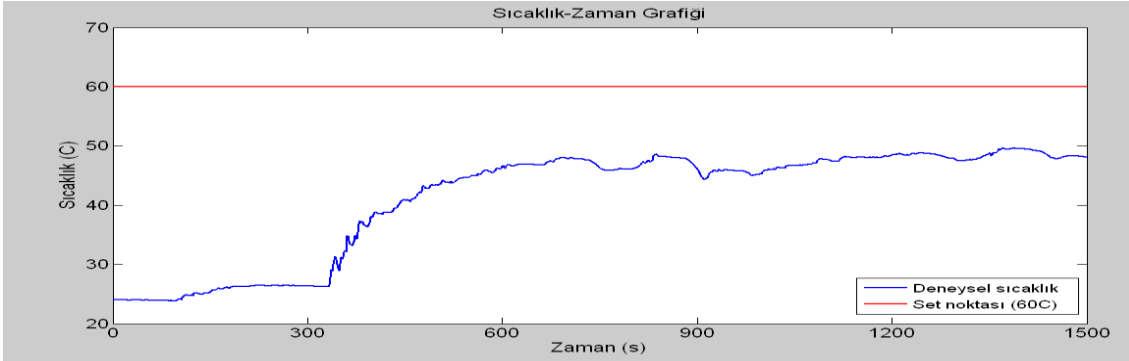




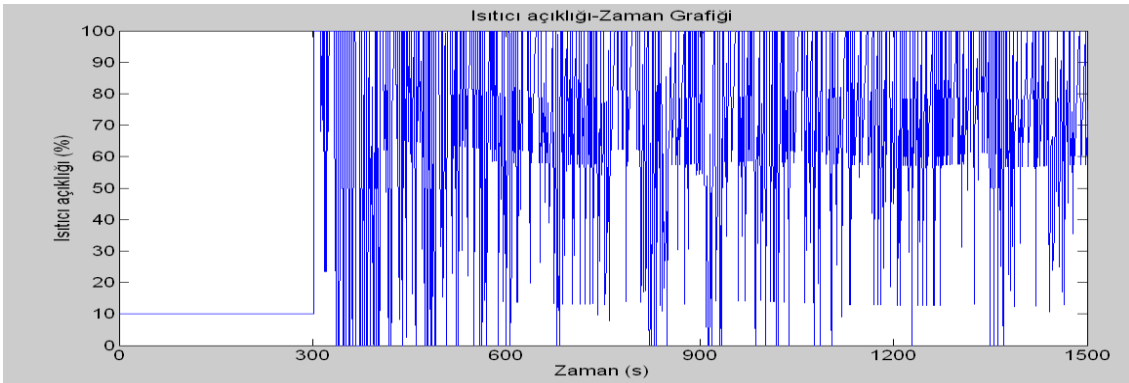
Şekil 8. C-C yöntemi ile Tset=50 °C için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for Tset=50 °C with C-C method)



Şekil 9. C-C yöntemi ile Tset=50 °C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for Tset=50 °C with C-C method)



Şekil 10. C-C yöntemi ile Tset=60 °C için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for Tset=60 °C with C-C method)

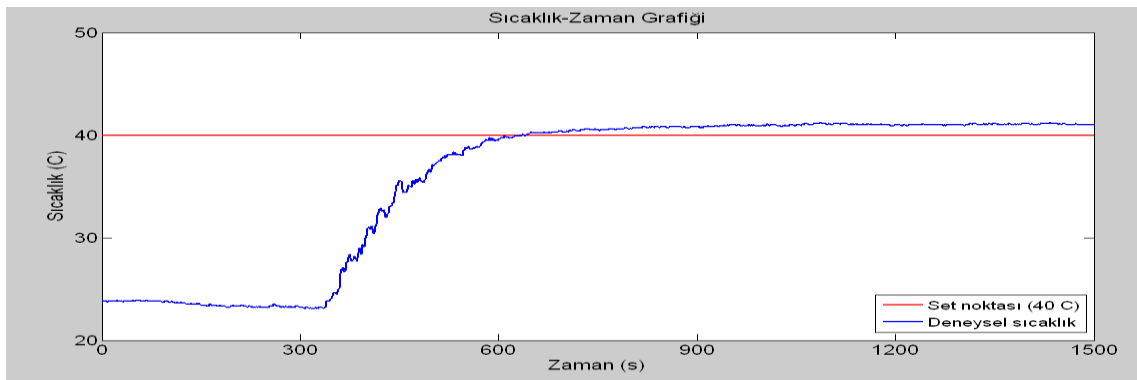


Şekil 11. C-C yöntemi ile Tset=60 °C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for Tset=60 °C with C-C method)

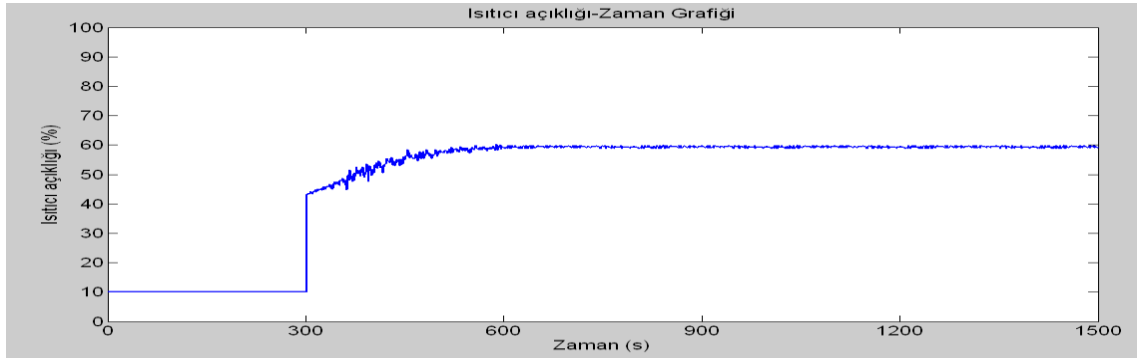
Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak ısıtıcının başlangıçtan itibaren açık-kapalı şeklinde ve düzensiz çalıştığı gözlenmiştir.  $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının düzensiz olarak çalıştığı ve buna bağlı olarak sıcaklık kontrolünde salınımlara neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 6-7).  $T_{set}=50^{\circ}\text{C}$  ve  $T_{set}=60^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının açık-kapalı şeklindeki hareketlerinin giderek sıklaştığı (Şekil 9, 11) ancak deney süresince  $T_{set}=50^{\circ}\text{C}$  ve  $T_{set}=60^{\circ}\text{C}$  için istenilen sıcaklıklara ulaşamadığı gözlenmiştir (Şekil 8, 10). Deneysel sonuçlara göre Cohen-Coon yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünün istenilen performansı göstermediği ve bu katsayıların sıcaklık kontrolü için uygun olmadığı belirlenmiştir.

#### 4.2 Ziegler-Nichols Yöntemi ile Katsayıları Belirlenen PID Kontrol Sonuçları

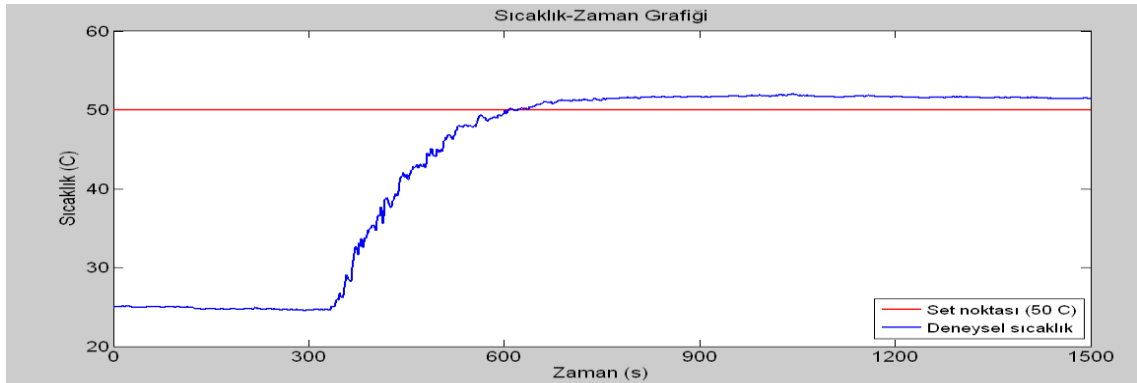
Şekil 5'te gösterilen reaksiyon eğrisinden belirlenen ölü zaman ve zaman sabiti parametrelerinin değerleri kullanılarak ile hesaplanan PID kontrol katsayıları Tablo 4'te verilmiştir. Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları seçilerek PID kontrol deneyleri yapılmıştır. Bu kontrol deneylerinde ısıtıcı açıklığı ve sıcaklık profillerinin zamanla değişimi gözlenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 12-17'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Z-N yöntemi ile  $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$  için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for  $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$  with Z-N method)



Şekil 13. Z-N yöntemi ile  $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for  $T_{set}=40^{\circ}\text{C}$  with Z-N method)

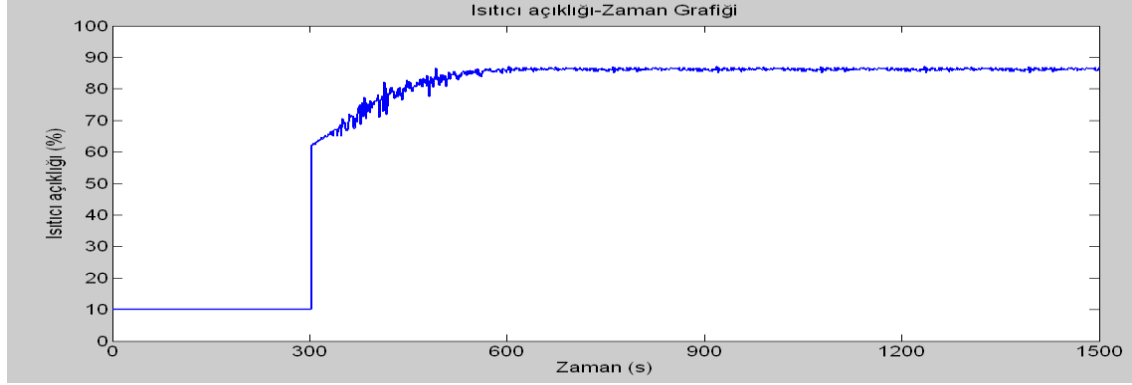
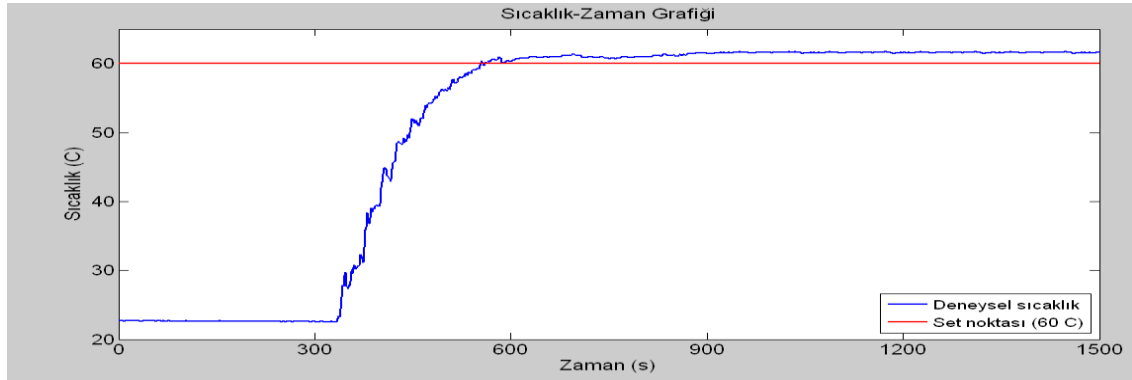
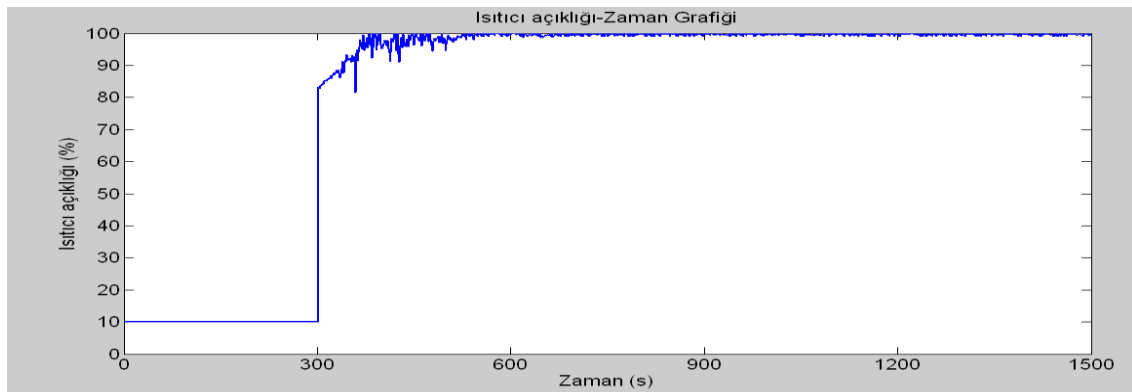


Şekil 14. Z-N yöntemi ile  $T_{set}=50^{\circ}\text{C}$  için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for  $T_{set}=50^{\circ}\text{C}$  with Z-N method)

**Tablo 4.** Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları (Determined PID control coefficients with Ziegler-Nichols method)

Katsayı	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$
Sayısal Değeri	0,412	66,0s	16,5s

Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak  $41^\circ\text{C}$ 'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 12).  $T_{set}=50^\circ\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %86 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 15). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak  $51^\circ\text{C}$ 'de

**Şekil 15.** Z-N yöntemi ile  $T_{set}=50^\circ\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for  $T_{set}=50^\circ\text{C}$  with Z-N method)**Şekil 16.** Z-N yöntemi ile  $T_{set}=60^\circ\text{C}$  için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for  $T_{set}=60^\circ\text{C}$  with Z-N method)**Şekil 17.** Z-N yöntemi ile  $T_{set}=60^\circ\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for  $T_{set}=60^\circ\text{C}$  with Z-N method)

Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde  $T_{set}=40^\circ\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %45'e 35 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %60 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 13).

sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 14).  $T_{set}=60^\circ\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %85'e 75 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %98 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 17). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak



sıcaklığın düzenli olarak artarak 61°C'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 16). Deneysel sonuçlara göre Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set sıcaklıklarına ulaşarak bu sıcaklıklardan 1°C'lik offset olduğu belirlenmiştir.

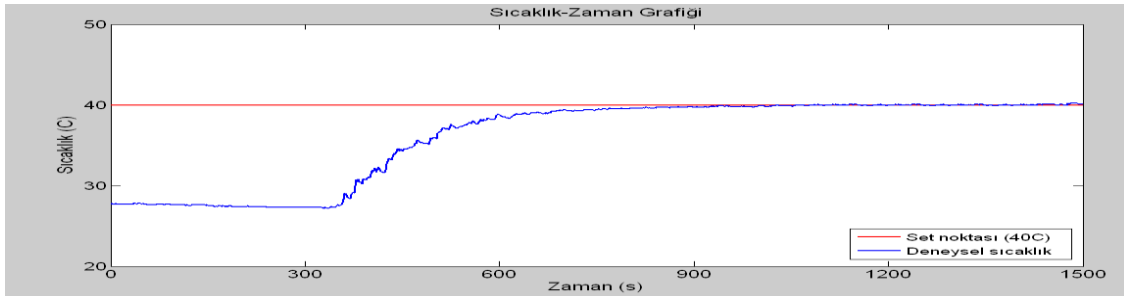
#### 4.3 Deneme-Yanılma Yöntemi ile Katsayıları Belirlenen PID Kontrol Sonuçları

Deneme-yanılma yöntemi ile PID parametrelerinin belirlenmesinde, Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenen

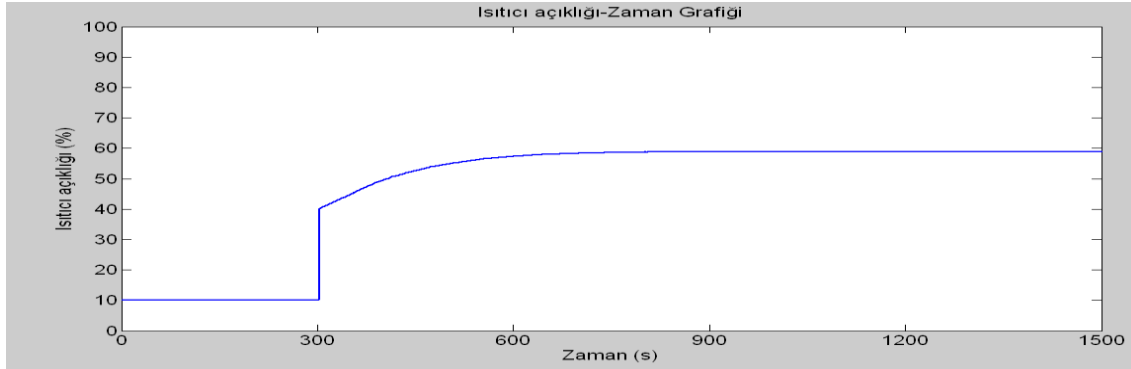
$K_C$ ,  $\tau_I$  ve  $\tau_D$  katsayılarından herhangi ikisinin sabit tutularak diğer parametrenin belirli oranda artırılması veya azaltılması ile yapılan deneylerde elde edilen sıcaklık profilleri karşılaştırılmış ve en iyi kontrol sonuçlarının elde edildiği katsayılar Tablo 5'te ve deneysel sonuçlar Şekil 18-23'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları (Determined PID control coefficients with trial and error method)

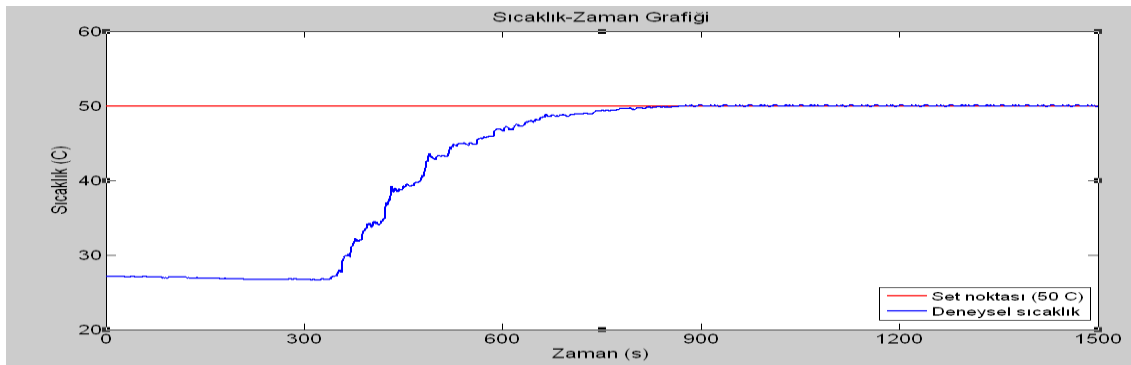
Katsayı	$K_C$	$\tau_I$	$\tau_D$
Sayısal Değeri	0,21	20,0s	4,5s



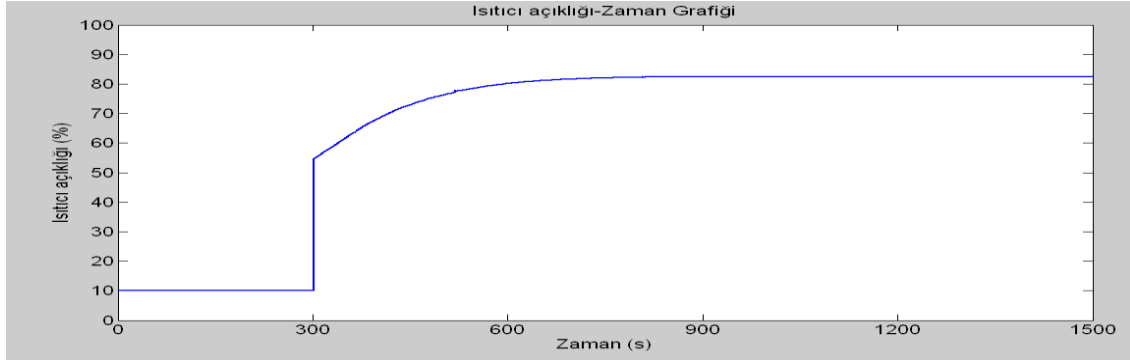
**Şekil 18.** D-Y yöntemi ile Tset=40 °C için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for Tset=40 °C with D-Y method)



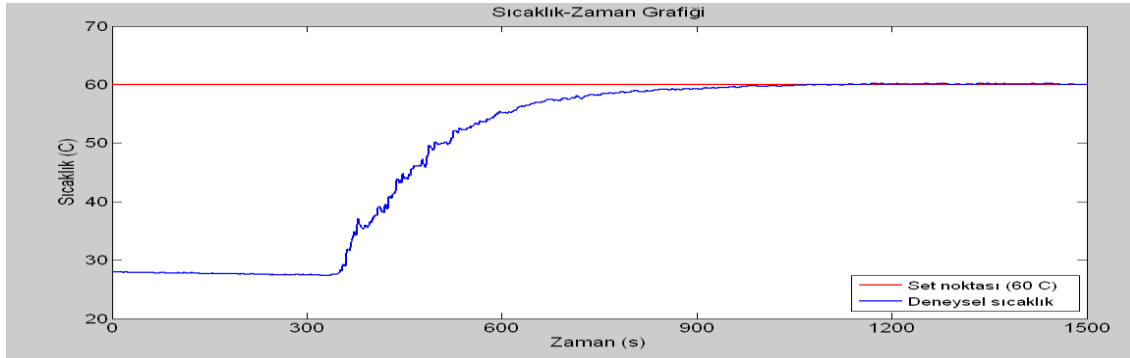
**Şekil 19.** D-Y yöntemi ile Tset=40 °C için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for Tset=40 °C with D-Y method)



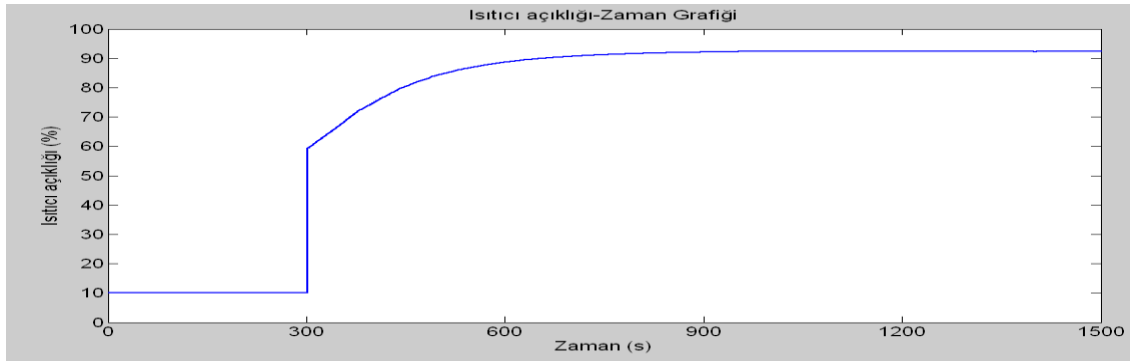
**Şekil 20.** D-Y yöntemi ile Tset=50 °C için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for Tset=50 °C with D-Y method)



**Şekil 21.** D-Y yöntemi ile  $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for  $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  with D-Y method)



**Şekil 22.** D-Y yöntemi ile  $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  için sıcaklığın zamanla değişim grafiği (The graph of temperature changes with time for  $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  with D-Y method)



**Şekil 23.** D-Y yöntemi ile  $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının zamanla değişim grafiği (The graph of heater capacity changes with time for  $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  with D-Y method)

Deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde  $T_{set}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %40'e 30 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %59 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 19). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 18).  $T_{set}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %55'e 45 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla %83 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 21). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 20).  $T_{set}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısıtıcı açıklığının başlangıçta %10'dan %65'e 55 birimlik ani bir artıştan sonra çok küçük

salınımlarla %94 değerine ulaşarak bu değerde sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 23). Isıtıcı açıklığına bağlı olarak sıcaklığın düzenli olarak artarak  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 22).

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada bir proses simülöründe PID algoritmasının uygulandığı kablosuz sıcaklık kontrol deneyleri gerçekleştirilmiş ve üç farklı parametre ayarlama yöntemi kullanılarak aynı koşullarda yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. PID kontrol yöntemleri için gerçekleştirilen dinamik analiz deneylerinde sisteme uygulanan basamak etki sonucu elde edilen reaksiyon eğrisi incelendiğinde sistemin yerleşme zamanının yüksek olduğu belirlenmiştir. Cohen-Coon yöntemi ile belirlenen PID kontrol

katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak ısıtıcının başlangıçtan itibaren açık-kapalı şeklinde ve düzensiz çalıştığı gözlenmiş ve bu yöntemle elde edilen katsayıların sıcaklık kontrolünde etkili olmadığı belirlenmiştir. Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set değerlerine ulaşarak bu sıcaklıklardan 1°C'lik offset olduğu belirlenmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı sıcaklık kontrolünde sıcaklıkların istenilen set değerlerine ulaşarak herhangi bir offset veya salınım olmadan bu sıcaklıklardaki kontrol başarıyla sağlanmıştır.

#### SEMBOLLER (NOTATIONS)

$e(t)$	:hata
$G_s$	:transfer fonksiyonu
$K_C$	:oransal sabit
$t$	:zaman, [s]
$t_d$	:ölü zaman, [s]
$T$	:sıcaklık [°C]
$U_s$	:kazanç
$\tau$	:zaman sabiti
$\tau_D$	:türevsel sabiti
$\tau_I$	:integral sabiti

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (AÜ BAPRO) 10A4343001 nolu proje ile desteklediği için Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına çok teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ziegler, G. and Nichols, N. B., Optimum Settings for Automatic Controllers, *Transactions of ASME*, Cilt 64, 759-768, (1942).
2. Cohen, G. H., & Coon, G. A., Theoretical Consideration of Retarded Control. *Transactions of ASME*, Cilt 75, 827-834, (1953).
3. Boiko, I., Variable-Structure PID Controller for Level Process, *Control Engineering Practice*, Cilt 21, No 5, 700-707, (2013).
4. Ramirez, J. A., Alvarez, J., and Schaum A., On The Global Stability of Conventional PID Control for A Class of Chemical Reactors, *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Cilt 22, No 5, 575-590, (2012).
5. Åström, K. J., Hagglund, T. H., The Future of PID Control, *Control Engineering Practice*, Cilt 9, No 11, 1163-1175, (2001).
6. Liu, G. P., Daley, S., Optimal-Tuning PID Control for Industrial Systems, *Control Engineering Practice*, Cilt 9, No 11, 1185-1194, (2001).
7. Stephanopoulos, G., Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1984.



# Yıldırım Darbe Geriliminin Kuru Tip Transformatör Sargılarındaki Dağılımının İncelenmesi

Muzaffer ERDOĞAN<sup>1\*</sup>, Mehmet Kubilay EKER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BEST TRAFO, Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesisleri, BALIKESİR

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR

(Geliş / Received : 24.03.2015 ; Kabul / Accepted : 13.05.2015)

## ÖZ

Yıldırım darbelerine karşı transformatörlerin dayanımının sağlanabilmesi, uzun işletme koşullarına imkan vereceğinden, tasarım aşamasında aşırı gerilimlere maruz kalan bölgelerinin bilinmesi önemlidir. Çeşitli modelleme çalışmaları ile transformatörlerin yıldırım darbelerine karşı dayanımı analiz edilirken, çoğunlukla yağlı tip transformatörler analiz için tercih edilmişken, imalatta gittikçe büyük bir pazara sahip olmaya başlayan kuru tip transformatörlerin davranışının incelenmesi de önem kazanmaktadır. Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak kat sargı yöntemi kullanılarak profil iletken ile sarılmış ve epoksi reçine ile izole edilmiş bobinin yıldırım darbe gerilimi dağılımı analizi yapılmıştır. İlk olarak, katı izolasyon yapısı ile sargılarda meydana gelen kuvvetlere karşı yüksek mukavemet sağlayan kuru tip transformatörlerin önemi açıklanmış ve merdiven tip ağ metodu üzerine bilgi verilmiştir. Sonrasında, transformatöre ait LC parametrelerinin çıkarılması için gerekli hesaplama yöntemleri verilmiştir. Son olarak literatürde yer alan düğüm denklemlerinden elde edilen matris yapının çözümü sunulmuş ve yıldırım darbe geriliminin kuru tip transformatör bobinindeki dağılımı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yıldırım darbe testi, kuru tip transformatörler, RLC merdiven tipi ağ modeli

## Research of Lightning Impulse Voltage Distribution In Dry Type Transformer Winding

### ABSTRACT

It is important to have knowledge of parts of transformer under high voltage during designing of transformer, because of withstanding of transformer against to lightning impulse make lifespan of transformer longer. Oil-immersed type transformer lightning impulse modeling has been carried out frequently in the past. Studies on dry type transformer lightning impulse modeling gains more important because of growing marketing share of it. This study differs from old studies because during studies, cast resin insulated layer type coils with rectangular shape wire are used as dry type transformer windings. First, it has given an explanation about importance of dry type transformer which have very straight endurance to force because of their solid windings and ladder type network model. Then, some calculation methods of LC parameters of transformer have been given. Finally a solution method of matrix obtained from node equations has been presented and lightening impulse voltage distribution in dry type transformer winding is obtained.

**Keywords:** Lightening impulse test, dry type transformer, RLC ladder network model

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında anahtar rol oynayan transformatörlerin aşırı gerilimlere karşı da dayanıklı olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Özellikle transformatörlerin yıldırım darbesi ya da anaharlama sırasında meydana gelen yüksek frekanslı gerilimlere karşı dayanıklı olması beklenir.

Büyük güç trafoların üretilmesi ile birlikte darbe geriliminin sargılar içerisindeki dağılımı ve darbeye maruz kalmayan sargılardaki etkinin incelenmesi amacıyla yıldırım darbe geriliminin net bir şekilde analiz edilmesi önemli bir hal almıştır. Özellikle darbeye maruz kalmayan sargıların izolasyon yapısı belirlenmelidir. Ayrıca sarımda kullanılan aparatların

izolasyon malzemeleriyle olan koordinasyonunun sağlanması gereklidir [1]. İşletme geriliminde çalışan transformatörlerin modeli direnç ve endüktans parametrelerinden oluşur. Ancak transformatörler güç sistemine bağlı iken aşırı gerilime, aşırı akıma, arıza ve kesicilerin açılma ya da kapanma işlemlerinden kaynaklanan darbe gerilimlerine maruz kalırlar. Bu hallerde transformatörün iç kapasite parametreleri baskın hale gelir [2].

Yüksek frekanslı aşırı gerilimlere maruz kalan transformatörün sargılarının iç yapısında baskın hale gelen paralel ve seri kapasitelerin oranlarının farklılığı ve iç rezonanslar nedeniyle sargıların farklı bölgelerinde lineer olmayan gerilim dağılımları meydana gelir [3]. Transformatörün işletmede kullanımı sırasında yüksek frekanslı aşırı gerilimlerden zarar görmeden çalışması için üretilen transformatörler standart olarak 1,2µs tepe

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: : muzaffer.erdogan@besttransformer.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 21-30

ve 50µs yarılanma süresi olan yıldırım darbe gerilimi ile test edilir [4]. Transformatörün testi geçebilmesi için test sırasında, sargıların içerisinde meydana gelen elektrik alandan zarar görmeyecek şekilde sargı izolasyonunun tasarlanması gerekmektedir. Amaç en az üretim ve işletme maliyeti ile aşırı gerilimlere karşı dayanıklı yıllarca çalışan transformator dizayn etmektir [5]. Bunun başarılabilmesi için yıldırım darbe testi sırasında sargılarda meydana gelen gerilim dağılımı analiz edilmelidir. Gerilim dağılımının analizi sargıların RLC eşdeğer devresinin çözümü ile elde edilir.

Darbe dağılımının sargı içerisinde önemli olduğunun anlaşılmasıyla, sargı yapısındaki kapasite ve endüktansların düzenli olarak dağıldığını varsayan yaklaşımlarla analitik incelemeler yapılmıştır. Ancak transformator sargılarına ait kapasite ve endüktansların düzensiz dağılımı nedeniyle bu yaklaşımların transformatorler için uygulanması mümkün değildir. Lewis'in [6] amaçladığı merdiven tipi ağ yapısı modeli kullanılarak transformator sargıları eşit bölmelere ayrılmış ve sargıların analiz edilmesi mümkün olmuştur. Ancak bu model de sargıları düzenli olarak tasarlanmamış transformatorler için uygun değildir. Dent [7] tarafından yapılan çalışmalarda merdiven tipi ağ modelinin düzensiz yapıdaki sargılar için uygulanması mümkün olmuştur. Bu çalışmanın ardından araştırmacılar RLC parametrelerin bulunması üzerine yoğunlaşmışlardır. Fergestad [8] sargıların öz ve ortak endüktansın, Stein [9] ise sarımlar arasındaki seri ve paralel kapasitenin hesaplama yöntemini sunmuştur. Fergestad [10] bu yöntemi çoklu sargı yapısına uygulamıştır. Miki ve arkadaşları ise [1] merdiven tipi ağ modelini darbe geriliminin doğrudan uygulanmadığı, transfer edilen gerilimin etkisi altında kalan sargıları da modele dahil ederek irdelemişlerdir.

Yüksek frekans altında darbe geriliminin dağılımının incelenmesi üzerine çalışmalar yoğun olarak yağlı tip transformatorler üzerine yapılmıştır [1-2,6-10,12-13]. Bu konuda, kuru tip transformatorler üzerine çalışmalar ise sınırlı sayıda gerçekleştirilmiştir [3,5,11]. Bu çalışmalarda LC parametreleri sayısal yöntemlerle elde edilmiş ve strip iletken türü ile sarılmış bobinler incelenmiştir.

Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak imalatı daha kolay ve büyük güçte kuru tip transformatorlerde sıklıkla kullanılan kat sargı yöntemi kullanılmıştır. Her güçte bobin sarımına uygun profil iletken tipi seçilmiştir. Epoksi reçine ile izole edilmiş bobinin yıldırım darbe gerilimi dağılımı analizi yapılmıştır. Hesaplama kullanılan parametreler analitik ve sayısal yöntemlerle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Model bobinin LC devresi elde edilen parametrelerle çözülerek, yıldırım darbe geriliminin bobinin içerisindeki dağılımı analiz edilmiştir.

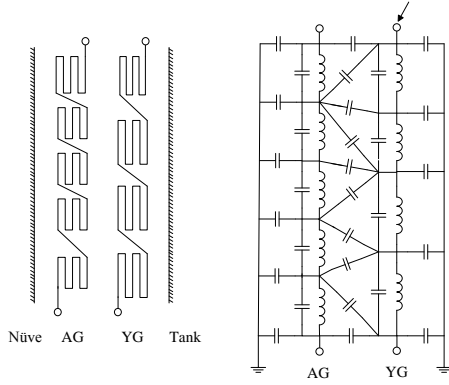
## 2. KURU TİP TRANSFORMATÖRLER (DRY TYPE TRANSFORMER)

Sargıları epoksi reçine ile örtülmüş kuru tip transformatorler yağlı transformatorlere göre daha güvenli olmaları nedeniyle hastane, metro sistemleri, alışveriş merkezleri gibi toplu yaşanan alanlarda kullanılmaktadır. Yapısında yanıcı madde bulundurmaması, kısa devre anında meydana gelen kuvvetlere karşı yüksek mukavemete sahip olması, izolasyon malzemesi olarak yağ gibi kirlenici malzemelerin kullanılmaması ve bakım gerektirmemesi, kuru tip transformatorlerin tercih edilmesini sağlamıştır.

Kuru tip transformatorlerin bobinleri, sarım işlemi tamamlandıktan sonra kalıp içerisine yerleştirilir ve vakum altında reçine döküm işlemi gerçekleştirilir. Döküm sonrası bobinler çekirdeğin bacalarına geçirilir ve alt üst takozlarla sıkıştırma demirlerine sabitlenir. İzolasyon olarak yağ kullanılmaz ve bu nedenle yağı muhafaza edecek tanka ihtiyaç yoktur. Sargı içinde kullanılan izolasyon malzemesi epoksi reçinedir. Sargılar arasında ise epoksi reçine ve hava vardır. İzolasyon malzemesi olarak havanın kullanılması nedeniyle zorlanmanın en çok gerçekleştiği yer sargılar arasındaki hava boşluklarıdır.

## 3. MERDİVEN TİPİ AĞ MODELİ (LADDER NETWORK MODEL)

Merdiven tipi ağ modelinde her bir sarım bir L endüktans parametresi olarak kabul edilir. Öz ve diğer sarımlara göre ortak endüktansı hesaplanarak N sarımlı bir transformatorün bobininin NxN endüktans matrisi elde edilir. İletken izolasyonu, kat arası izolasyonu ve diskler arasındaki yağ gibi dielektrik malzemeler nedeniyle her bir sarım bitişiğindeki sarımla birlikte bir seri kapasite ve tank ya da diğer sargılara karşıda paralel kapasite oluşturur. Sargıların sarım sayısının fazla olması nedeniyle parametreler sarım için değil, bir grup için çıkarılır. Disk sargı tekniğine göre sarılmış bir bobin için bir disk çifti ya da kat sargı tekniğine göre bir kat sarım bir eleman olarak gruplanır. Bu şekilde işlemler basit hale getirilerek çözüm kolaylaştırılır. Şekil 1'de yağlı tip transformatöre ait merdiven tipi ağ modeli verilmiştir. Merdiven tipi ağ modeli ile sargılar gerilim bilgisi elde edilmek istenen düğümlere göre gruplanabilir. Böylelikle transformator sargılarının herhangi bir noktasının analizini yapmak mümkündür [12].

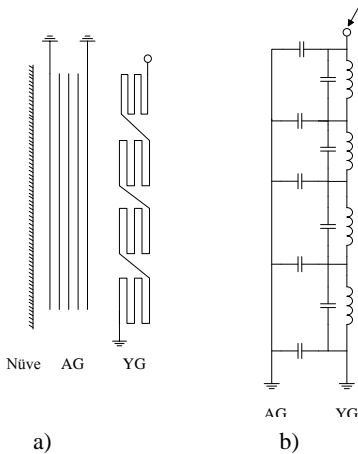


**Şekil 1-** Merdiven tipi ağ modeli(Ladder type network model)

Kayıplar sargı içerisinde darbe gerilim dağılımına çok az sönümlenme etkisi yaptığından hesaba katılmaktadır [1].

Yıldırım darbe testinin uygulanması sırasında test edilecek bobinin giriş terminaline gerilim verilirken bobinin çıkış terminali ve diğer bobinlerin hepsi topraklanır. Alçak gerilim bobininin giriş ve çıkış terminalleri topraklı iken, nötr ucu topraklı bir yüksek gerilim bobinine yıldırım darbe gerilimi uygulanır. Alçak gerilim bobininin topraklı olması nedeniyle çekirdeğin içinden akı geçmez. Sadece bobinler arasında kaçak akı dolanır ve endüktans parametresinin oluşmasını sağlayan bu akılardır. Bobinin içerisindeki yıldırım darbe dağılımı transformatörün çekirdekli ya da çekirdeksiz olması durumunda aynı şekilde olur [13].

Kuru tip transformatörlerde izolasyon malzemesi olarak havanın kullanılması nedeniyle tank bulunmaz. Paralel kapasite sadece sargılar arasında meydana gelir. Ayrıca dağıtım tipi kuru tip transformatörlerde alçak gerilim sargısı band sargıdır. Yıldırım darbe testi sırasında alçak gerilim sargısının topraklanması nedeniyle, alçak gerilim dış çapı toprak geriliminde bir silindir gibi davranır. Bunun sonucunda yüksek gerilim sargısı ile toprak arasında kapasiteler meydana gelir (Şekil 2).



**Şekil 2-** Folyo Sargılı Kuru Tip Transformatörün a) Fiziksel Modeli b) LC Modeli

#### 4. PARAMETRELERİN HESAPLANMASI (CALCULATION OF PARAMETERS)

##### 4.1. Parametrelerin Analitik Hesaplamaları (Analytical Calculation Of Parameters)

###### 4.1.1. Endüktans ( Inductance)

Yüksek gerilim bobinleri çok sayıda sarımdan oluşur. Bu sarımların kendisinden kaynaklanan öz endüktansı ve diğer sarımlardan kaynaklanan ortak endüktansı vardır. Silindirik yapıdaki sargıların analitik olarak endüktans hesaplamalarında her bir sarım bir eleman olarak alınarak, bu elemanların öz ve ortak endüktansları hesaplanmıştır. Üzerinden  $I$  akımı akan iletkenin  $d$  uzaklığındaki noktada meydana getirdiği  $A$  manyetik vektör potansiyeli ifadesi Eşitlik 1’de verilmiştir.  $\mu$  ise boşluğun manyetik geçirgenliğidir ve değeri  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m’dir.

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \frac{\oint I dl}{d} \quad (1)$$

$L$  endüktans ifadesi  $\phi$  manyetik akısının  $I$ ya oranından elde edilir (Eşitlik 2).

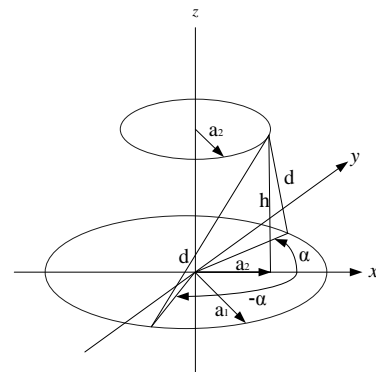
$$L = \frac{\phi}{I} \quad (2)$$

$A$ ’nın çizgi integrali ise  $\phi$  değerini verir (Eşitlik 3). Böylece bir iletkenin akan akımın uzak bir noktadaki başka bir iletkenin bir noktasında oluşturduğu vektör potansiyelinin çizgi integrali hesaplanarak akı değeri elde edilir ve akım değerine oranlanarak endüktans parametresi elde edilir.

$$\phi = \oint A dl \quad (3)$$

###### 4.1.1.1. Ortak endüktans (Mutual inductance)

Yarı çapları  $a_1$  ve  $a_2$  olan  $z$  ekseninde aralarındaki mesafe  $h$  olan iki sarımın ortak endüktans ifadesi Şekil 3’deki gibi birinci sargıdan akan akımının ikinci sargının P noktasında oluşturduğu manyetik alan vektörü ifadesi Eşitlik 4’te verilmiştir [14].



**Şekil 3-** Eş Merkezli İki Sarım (Two coaxial turns)

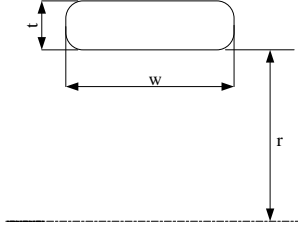
$$A = \frac{\mu I}{2\pi} \frac{a_1 \cos(\alpha) d\alpha}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + h^2 - 2a_1 a_2 \cos(\alpha)}} \quad (4)$$

Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'ün Eşitlik 4'ten elde edilen sonuca uygulanmasıyla elde edilen  $M_{12}$  ortak endüktans ifadesi:

$$M_{12} = \mu a_1 a_2 \int_0^\pi \frac{\cos(\alpha) d\alpha}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + h^2 - 2a_1 a_2 \cos(\alpha)}} \quad (5)$$

olarak bulunur.

#### 4.1.1.2. Öz endüktans (Self inductance)



Şekil 4- Dikdörtgen İletken (Rectangular wire)

Öz endüktans iletkenin içerisindeki enerji ve sarımın oluşturduğu halkanın içerisinde geçen akıdan yola çıkılarak hesaplanır.  $t$  kalınlığında ve  $w$  genişliğinde profil iletkenli  $r$  yarıçaplı sarımın (Şekil 4) içerisindeki  $B$  manyetik akı yoğunluğu dağılımını veren ifade Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$B(x) = \frac{\mu I x}{2t(t+w)} \quad (6)$$

$V$  hacminin içerisine depolanan manyetik alanının oluşturduğu  $E$  enerji ifadesi ise Eşitlik 7'de verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2\mu} \int B^2 dV = \frac{\mu I^2 \pi r w}{2(w+t)^2 t^3} \int_0^t x^3 dx \quad (7)$$

Enerjinin  $L$  endüktans ifadesine bağlı denklemden ve iletken içerisinde depolanan enerjiden yola çıkılarak elde edilen  $L_e$  endüktans ifadesi Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'da verilmiştir.

$$E = \frac{\mu I^2 \pi r w t}{8(w+t)^2} = \frac{1}{2} L I^2 \quad (8)$$

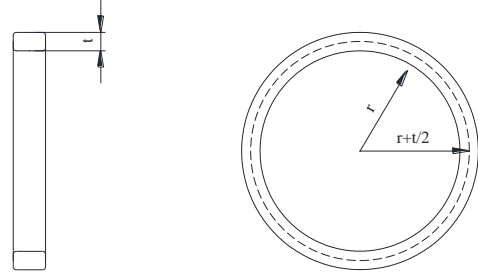
$$L_e = \frac{\mu \pi r w t}{4(w+t)^2} \quad (9)$$

İletken halkanın içerisindeki enerji ve sarımın oluşturduğu halkanın içerisinde geçen akıdan kaynaklanan öz endüktans hesaplamasında, manyetik alanın üreticisi ve manyetik alandan etkilenen, iletkenin kendisi olması nedeniyle  $h$ 'ın değeri 0 olur [11]. Şekil 5'teki gibi ortalama yarıçapı  $r + \frac{t}{2}$  olan sarımın manyetik akının sargı halkasının içinden geçmesinden kaynaklanan  $L_i$  öz endüktansı Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$L_i = \mu r \left(r + \frac{t}{2}\right) \int_0^\pi \frac{\cos(\alpha) d\alpha}{\sqrt{\left(r + \frac{t}{2}\right)^2 + r^2 - 2\left(r + \frac{t}{2}\right)r \cos(\alpha)}} \quad (10)$$

$L_s$  toplam öz endüktans değeri ise Eşitlik 11'de verilmiştir.

$$L_s = L_e + L_i \quad (11)$$



Şekil 5-  $r$  yarıçaplı ve  $t$  kalınlığında iletkenin sarımı (A turn of wire with radius  $r$  and thickness  $t$ )

$N$  sarımdan oluşan transformatörün sargısının her bir sarımın öz ve diğer  $N-1$  sarım ile olan ortak endüktansı  $N \times N$  endüktans matrisini oluşturur. Örneğin 1000 sarımdan oluşan bir sargının 1000x1000 boyutunda endüktans matrisinin çözümü çok zahmetlidir. Bu nedenle gruplara ayrılmış sargıların toplamından bir endüktans değeri elde edilir. Grup sayısı kadar endüktans matrisi elde edilir.  $N$  sarımdan oluşan bir  $N \times N$  matrisi (Eşitlik 12) alt gruplamalar ile  $N' \times N'$  matrisine indirgenir (Eşitlik 13).

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1n-1} & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2n-1} & L_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ L_{n-1,1} & L_{n-1,2} & \dots & L_{n-1,n-1} & L_{n-1,n} \\ L_{n1} & L_{n2} & \dots & L_{n,n-1} & L_{nn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} L'_{11} & \dots & L'_{1n'} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L'_{n'1} & \dots & L'_{n'n'} \end{bmatrix} \quad (13)$$

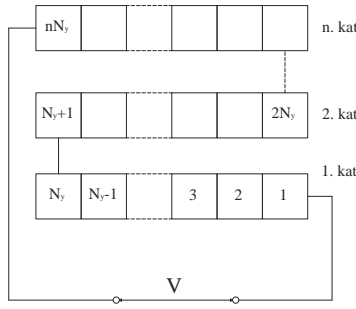
#### 4.1.2. Kapasite hesaplamaları (Calculation of capacitance)

LC parametrelerinin hesaplanması için transformatörün yüksek gerilim bobini alt bobin gruplarına bölünür. Her bir alt bobin grubunu oluşturan iletkenlerin birbirlerine göre kapasitelerinin eşdeğeri seri kapasiteleri meydana getirir. Bu alt bobin grupları ile alçak gerilim bobini arasında da paralel kapasiteler meydana gelir. Transformatörün LC modelinin elde edilebilmesi için her bir kapasitenin bulunması gerekir.

##### 4.1.2.1. Seri kapasite (Serial capacitance)

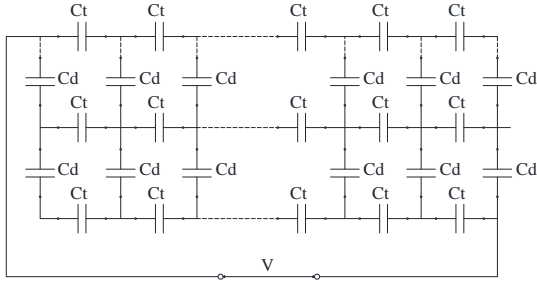
Kat sargı yöntemi ile sarılmış transformatör sargılarında iletkenler aksiyal yönde  $N_y$  adet sarılardan bir üst kata geçilir ve  $n$  kat sarıldıktan sonra sarım tamamlanır (Şekil 6).





Şekil 6- Kat sargı (Layer type winding)

Her bir iletkenin izoleli olması ve kat arasında izolasyonların kullanılması nedeniyle, her bir sarım ile bitişiğindeki sarım arasında ve bir üst ya da alt katındaki iletken arasında kapasiteler meydana gelir. Komşu olmayan sarımlar arasındaki kapasiteler ihmal edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7- Kat sargının kapasitif modeli (Capacitance model of layer type winding)

Her bir kapasitenin enerjilerinden yola çıkılarak n kattan oluşan bobinin toplam kapasitesi iki aşamada hesaplanır. Birinci aşamada yan yana sarılan iletkenler arası toplam kapasite enerji yöntemi ile elde edilir [15]. Eşitlik 14'te yan yana sarılan r yarı çaplı aralarındaki izolasyon mesafesi  $d_{il}$  ve iletken izolasyonu dielektrik sabiti  $\epsilon_{il}$  olan iki iletkenin  $C_t$  kapasitesi verilmiştir.  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti olup değeri  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m'dir.

$$C_t = \frac{\epsilon_{il}\epsilon_0 2\pi r t}{d} \quad (14)$$

Uçlarına V gerilimi uygulanan n katlı bir sargıdaki toplam kapasite bulunur ve  $C_{tr}$  eşdeğer kapasite değeri Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{1}{2} C_t \left( \frac{V}{2N_y} \right)^2 n(N_y - 1) = \frac{1}{2} C_{tr} V^2 \quad (15)$$

$$C_{tr} = \frac{C_t}{2N_y^2} n(N_y - 1) \quad (16)$$

Kat sargının kapasite hesabının 2. aşamasında, sargının katları arasında meydana gelen kapasiteler hesaplanır.

Üst üste gelen iki iletkenin arasında bulunan iletken izolasyonu ve bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_{iz}$  ve kalınlığı  $d_{iz}$  olan olan kat izolasyonu  $C_d$  kapasitesini oluşturur (Eşitlik 17).

$$C_d = \frac{\epsilon_0 2\pi r t}{\frac{d_{il}}{\epsilon_{il}} + \frac{d_{iz}}{\epsilon_{iz}}} \quad (17)$$

Katlar arası sarımlardaki gerilim farkları doğrusal olarak artar (Eşitlik 18).

$$\left( \frac{2V}{nN_y} \right), \left( \frac{4V}{nN_y} \right), \left( \frac{6V}{nN_y} \right), \dots, \dots, \left( \frac{2(N_y - 1)V}{nN_y} \right) \quad (18)$$

Katlar arasında izolasyon malzemeleri içerisinde depolanan toplam enerji ise Eşitlik 19'da verilmiştir.

$$E = (n - 1) \frac{1}{2} C_d \left[ \left( \frac{2V}{nN_y} \right)^2 + \left( \frac{4V}{nN_y} \right)^2 + \left( \frac{6V}{nN_y} \right)^2 + \dots + \left( \frac{2(N_y - 1)V}{nN_y} \right)^2 \right] \quad (19)$$

Eşitlik 20'deki ardışık sayıların karelerinin toplamı ifadesinden yararlanılarak Eşitlik 19 sadeleştirilir.

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (k - 1)^2 = \frac{k(k - 1)(2k - 1)}{6} \quad (20)$$

Kat arası iletkenlerin kapasitelerinden meydana gelen toplam enerji:

$$E = (n - 1) \frac{1}{\sqrt{2}} C_d \frac{V^2}{n^2 N_y^2} \left[ \left( \frac{2}{2} \right)^2 + \left( \frac{4}{2} \right)^2 + \left( \frac{6}{2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{2(N_y - 1)}{2} \right)^2 \right] \quad (21)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Eşitlik 21'de gerekli sadeleştirme işlemleri yapılarak Eşitlik 22 elde edilir.

$$E = \frac{(n - 1)(N_y - 1)(2N_y - 1)C_d V^2}{6\sqrt{2}n^2 N_y} = \frac{1}{2} C_{dr} V^2 \quad (22)$$

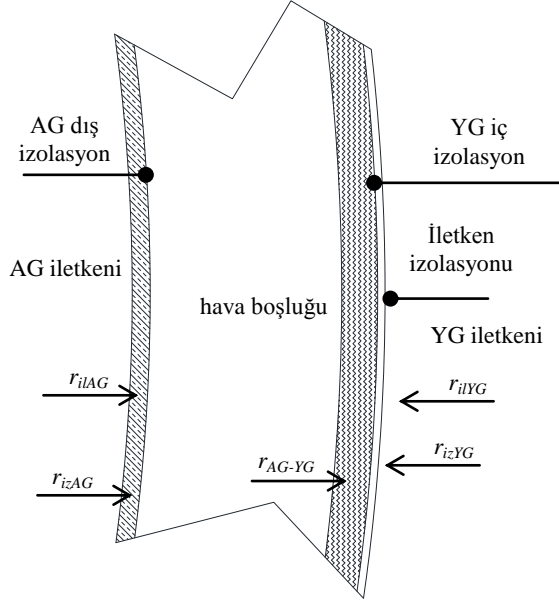
$C_{dr}$  kat arası eşdeğer kapasite Eşitlik 23'te verilmiştir.

$$C_{dr} = \frac{(n - 1)(N_y - 1)(2N_y - 1)C_d}{3\sqrt{2}n^2 N_y} \quad (23)$$

Eşitlik 17 ve Eşitlik 23'ün toplamından elde edilen kat sargının toplam eşdeğer kapasitesinden seri kapasite elde edilir (Eşitlik 24).

$$C_s = \frac{C_t}{2N_y^2} n(N_y - 1) + \frac{(N_y - 1)(2N_y - 1)C_d}{3\sqrt{2}n^2N_y} \quad (24)$$

#### 4.1.2.2. Paralel kapasite (Parallel capacitance)



Şekil 8- AG-YG Sargıları Arası (Insulation between LV-HV windings)

Paralel kapasite yüksek gerilim (YG) bobini ile içte kalan alçak gerilim (AG) bobini arasında meydana gelir. Eş merkezli iki silindirin oluşturduğu kapasitenin plaka alanı YG bobinini oluşturan alt bobinlerinin en alt katındaki iletkenlerin AG bobinine bakan yüzeyi kadardır. AG bobinini oluşturan çıplak iletkenlerin dış yarı çapı  $r_{ilAG}$  'dir. İletkenin dış yüzeyinde bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_{izAG}$  ve dış yarı çapı  $r_{izAG}$  olan izolasyon vardır. AG ve YG sargıları arasında bağıl dielektrik sabiti 1 ve dış yarı çapı  $r_{AG-YG}$  olan hava boşluğu vardır. YG bobininin iç yüzeyini bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_{izYG}$  ve dış yarı çapı  $r_{izYG}$  olan izolasyon malzemesi ile bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_{iLYG}$ , kalınlığı  $d_{iLYG}$  ve dış yarı çapı  $r_{iLYG}$  olan YG bobini iletken izolasyonu oluşturur (Şekil 8). Paralel kapasitesinin hesaplama yöntemi Eşitlik 25'te verilmiştir.

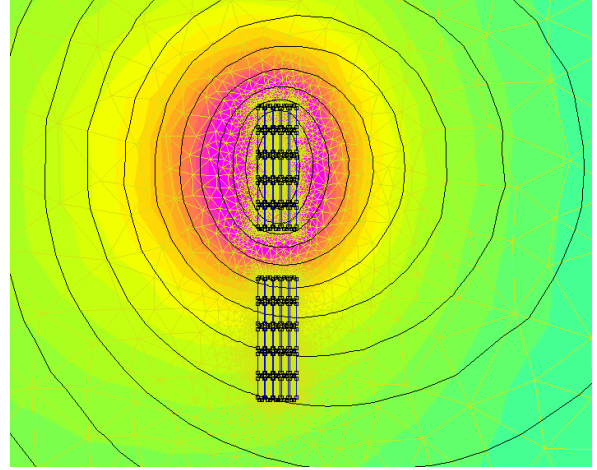
$$C_p = \frac{\epsilon_0 2\pi N_y (w + d_{iLYG})}{\frac{1}{\epsilon_{izAG}} \frac{r_{izAG}}{r_{ilAG}} + \frac{r_{AG-YG}}{r_{izAG}} + \frac{1}{\epsilon_{izYG}} \frac{r_{izYG}}{r_{AG-YG}} + \frac{1}{\epsilon_{iLYG}} \frac{r_{iLYG}}{r_{izAG}}} \quad (25)$$

#### 4.2. Parametrelerin Sayısal Hesaplamaları (Numerical Calculation of Parameters)

Parametrelerin sayısal hesaplamasında en iyi sonuç veren yöntemlerden bir tanesi sonlu elemanlardır [15]. Bu yöntemde çalışma alanı çok sayıda alt elemana bölünerek elemanların içerisindeki enerji hesaplanır.

Bu enerjiden yola çıkarak gerilim, akım ve parametrik değerler elde edilir. Sonlu elemanlar yönteminin (SEY) sağladığı en büyük fayda düzgün geometriye sahip olmayan bölgelerin alan dağılımlarının kolaylıkla hesaplanabilir olmasıdır.

#### 4.2.1. Endüktans (Inductance)



Şekil 9- FEMM 4.2 ile Endüktans Hesaplama (Calculation of inductance with FEMM 4.2)

SEY ile iki bobin arasında endüktans hesaplanırken bir bobine akım uygulanır. Diğer bobinden akan akım 0 olarak belirlenir ve manyetik alana maruz kalan bu bobinde endüklenen gerilim bulunur. Şekil 9'da verilen iki bobinden birincisine akım uygulanmış ve bu akımdan kaynaklanan manyetik akı çizgileri ve manyetik akı yoğunluğunun alan içerisindeki dağılımı farklı renk kodları ile verilmiştir. SEY yazılımı bu alanı üçgen şeklinde küçük parçalara ayırarak her bir üçgenin içerisindeki alanın elektromanyetik denklemlerini çözer. Alanın her noktasındaki elektromanyetik akı değeri hesaplandığı için üzerinden akım akan bobinin oluşturduğu manyetik akının alanın içerisindeki başka bir bobine olan etkisi incelenir. Böylece bir iletkenin  $I$  akımının bölgedeki başka bir iletken üzerinde endüklediği  $V$  gerilimi elde edilir. Eşitlik 26 ile  $L$  endüktans değeri hesaplanır. Bazı SEY ile çalışan programlar ise  $L$  değerini doğrudan hesaplar.

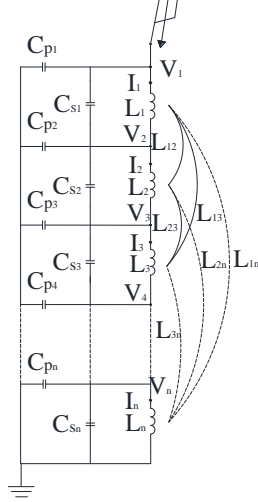
$$V = L \frac{dI}{dt} \quad (26)$$

#### 4.2.2. Kapasite (Capacitance)

SEY yöntemi ile kapasite hesaplamalarında enerji yöntemi uygulanır. Kat sargının ilk katını oluşturan iletkenlere 0 potansiyel, son katına oluşturan iletkenlere  $V$  potansiyeli uygulanır. Ara katlarda kalan iletkenlere potansiyel atanmaz ve böylece sargının içerisindeki izolasyon malzemeleri elektrik alanın içerisinde kalmış olur. Dielektrik malzemelerin içerisinde depolanan enerji SEY ile hesaplanır. Elde edilen  $E$  enerjisinden  $C$  eşdeğer kapasite değeri hesaplanır (Eşitlik 27).

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \quad (27)$$

### 5. MATEMATİKSEL MODELİN KURULMASI (BUILDING A MATHEMATICAL MODEL)



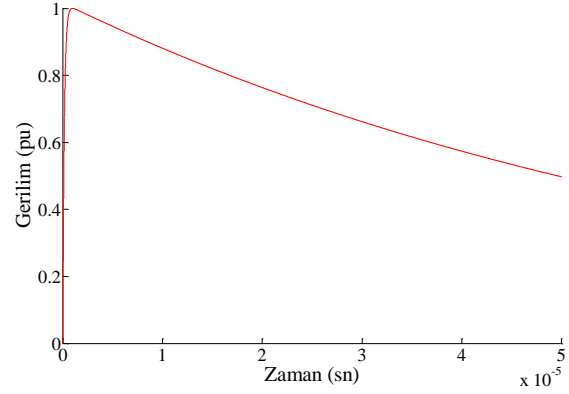
Şekil 10- L ve C Parametrelerinde Oluşan Transformatör Modeli (Model of transformer consisting of L and C parameters)

Bakır kayıpları çok az bir sönmüleme meydana getirdiği için ihmal edilir. Ayrıca yıldırım darbe gerilimi testi sırasında alçak gerilim sargısının kısa devre edilmesinden dolayı manyetik çekirdeğin bir etkisi yoktur [1]. Kuru tip transformatörlerde alçak gerilim sargısı bant sargı olması ve topraklanması nedeniyle sadece yüksek gerilim bobine ait parametrelerden oluşan transformatör modeli yıldırım darbe geriliminin dağılımını modellemek için yeterlidir. Şekil 10'da yüksek gerilim bobinini oluşturan sargı gruplarının birbirileri ile olan  $L$  endüktansı, her bir sargı grubunu oluşturan sarımların meydana getirdiği  $C_s$  seri kapasitesi ve her bir sargı grubunun toprağa karşı  $C_p$  paralel kapasitesinden oluşan kuru tip transformatöre ait yıldırım darbe geriliminin dağılımının analizinde kullanılacak LC devresi verilmiştir. Düğüm gerilimlerinden ve endüktans üzerinden akan akımlardan yola çıkılarak elde edilen denklemlerin çözümü ile gerilim dağılımı analizi yapılır [1].

Şekil 10'daki modelde,  $V_1$  transformatöre uygulanan yıldırım darbe testinin gerilimidir. Darbe gerilimi testi standartta [4] belirtildiği şekilde Eşitlik 28'de matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$V_1 = 1.0167 (e^{-14230t} - e^{-6069100t}) \quad (28)$$

Yıldırım darbe gerilimi tepe değerine  $1,2\mu\text{sn}$  içerisinde, yarılanma süresine ise  $50\mu\text{sn}$  içerisinde ulaşır (Şekil 11).



Şekil 11- Yıldırım Darbe Gerilimi (Lightning impulse voltage)

Eşitlik 29'da endüktanslar üzerinden akan akımlara bağlı olarak düğüm gerilimleri verilmiştir [1].

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= L_{11} \dot{I}_1 + L_{12} \dot{I}_2 + L_{13} \dot{I}_3 + \dots + L_{1n} \dot{I}_n \\ V_2 - V_3 &= L_{21} \dot{I}_1 + L_{22} \dot{I}_2 + L_{23} \dot{I}_3 + \dots + L_{2n} \dot{I}_n \\ V_3 - V_4 &= L_{31} \dot{I}_1 + L_{32} \dot{I}_2 + L_{33} \dot{I}_3 + \dots + L_{3n} \dot{I}_n \\ &\vdots \\ V_n - 0 &= L_{n1} \dot{I}_1 + L_{n2} \dot{I}_2 + L_{n3} \dot{I}_3 + \dots + L_{nn} \dot{I}_n \end{aligned} \quad (29)$$

Eşitlik 30'da ise denklem takımı matris halinde verilmiştir. (30)

$$[A] V_1 + [B] [V] = [L][\dot{I}]$$

Düğüm noktalarında akımların toplamının 0 olması ilkesine dayanılarak kapasiteler üzerinden akan akımların ifadesi çıkarılır (Eşitlik 31).

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 &= C_{s1}(\dot{V}_2 - \dot{V}_1) + C_{p2}\dot{V}_2 + C_{s2}(\dot{V}_2 - \dot{V}_3) \\ I_2 - I_3 &= C_{s2}(\dot{V}_3 - \dot{V}_2) + C_{p3}\dot{V}_3 + C_{s3}(\dot{V}_3 - \dot{V}_4) \\ I_3 - I_4 &= C_{s3}(\dot{V}_4 - \dot{V}_3) + C_{p4}\dot{V}_4 + C_{s4}(\dot{V}_4 - \dot{V}_5) \\ &\vdots \\ I_{n-1} - I_n &= C_{s_{n-1}}(\dot{V}_n - \dot{V}_{n-1}) + C_{pn}\dot{V}_n + C_{sn}\dot{V}_n \end{aligned} \quad (31)$$

Eşitlik 32'de ise denklem takımı matris halinde verilmiştir.

$$[-B^T] [I] = [C][\dot{V}] + [F] \dot{V}_1 \quad (32)$$

Eşitlik 31'deki matrisin türevi alınarak (Eşitlik 33)  $[\dot{I}]$  matrisi yalnız bırakılır (Eşitlik 34) ve Eşitlik 30'daki yerine konur (Eşitlik 35).

$$[-B^T] [\dot{I}] = [C][\dot{V}] + [F] \dot{V}_1 \quad (33)$$

$$[\dot{I}] = -[B^T]^{-1} [C][\dot{V}] - [B^T]^{-1} [F] \dot{V}_1 \quad (34)$$

$$\begin{aligned} [A] V_1 + [B] [V] \\ = [L] \left( [-B^T]^{-1} [C][\dot{V}] + [-B^T]^{-1} [F] \dot{V}_1 \right) \end{aligned} \quad (35)$$

$[\dot{V}]$  matrisi yalnız bırakılarak LC devresinin çözümü elde edilir (Eşitlik 36). Bu denklem Runge-Kutta-Nystrom yöntemi ile kolaylıkla çözülebilir.

$$[\dot{V}] = -[C]^{-1}[B^T][L]^{-1}[A] V_1 - [C]^{-1}[B^T][L]^{-1}[B] [V] - [C]^{-1}[F] \dot{V}_1 \quad (36)$$

$t=0$  anında [1]:

$$[\dot{V}]_{t=0} = [C]^{-1}[F] \dot{V}_{t=0} \quad (37)$$

olarak bulunur.

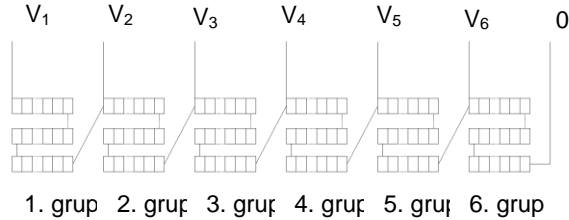
## 6. YAPILAN ÇALIŞMALAR (STUDIES)

### 6.1. Modellemede Kullanılan Kuru Tip

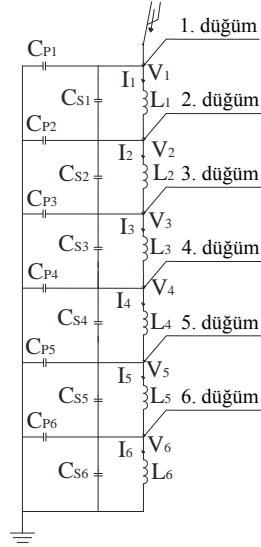
**Transformatörün Özellikleri** (Specification of Dry Type Transformer Used for Modelling)

- Güç : 1000 kVA
- Gerilim : 22000/400 V
- Yıldırım darbe gerilimi : 125 kV
- Sargı malzemesi : AL
- İzolasyon malzemesi : Epoksi reçine
- Yüksek gerilim bobini sarım sayısı : 1534
- Yüksek gerilim bobini alt sargı grupları adedi : 6 (4x 260 sarım + 2x247 sarım)
- İletken ölçüleri : 7mm x 2mm

### 6.2. Matematiksel Modelin Kurulması (Building A Mathematical Model)



Şekil 12- Modelde Kullanılan Tranformatörün Sargı Sarım Şekli (Schematic of transformer's winding used in model)



Şekil 13- Transformatörün LC Modeli (LC model of transformer)

6 alt sargı grubundan oluşan transformatörün LC modelinde 6 adet öz endüktans ve 30 adet ortak endüktans olmak üzere 36 adet L elemanı, 6 adet seri kapasitesi ve 6 adet toprağa karşı paralel kapasitesi mevcuttur. Transformatörün sarım şekli Şekil 12'de ve LC modeli Şekil 13'de verilmiştir.

#### 6.2.1. Parametreler (Parameters)

Parametrelerin her biri 4. bölümde verilen analitik yöntemler ve SEY ile hesaplanmıştır. Endüktans parametrelerin analitik hesaplama sonuçları Çizelge 1'de, sayısal hesaplama sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir. Analitik ve sayısal hesaplamalarda elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, endüktans değerlerini daha kısa sürede hesaplayabilmek için SEY yerine analitik yöntemi kullanarak doğru sonuca ulaşmak mümkündür.

Çizelge 1- Analitik Yöntemlerle Hesaplanan Endüktans Değerleri (Inductance values calculated by the analytical methods)

mH	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$
$L_1$	41,2	12,5	4,01	1,66	0,78	0,44
$L_2$	12,5	41,2	12,5	4,01	1,6	0,8
$L_3$	4,01	12,5	41,2	12,5	3,87	1,65
$L_4$	1,66	4,01	12,5	41,2	12,1	4,01
$L_5$	0,78	1,6	3,87	12,1	38,0	11,7
$L_6$	0,44	0,8	1,65	4,01	11,7	38,0

**Çizelge 2-** Sayısal Yöntemlerle Hesaplanan Endüktans Değerleri (Inductance values calculated by numerical methods)

mH	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
L <sub>1</sub>	40,3	12,6	4,01	1,66	0,78	0,45
L <sub>2</sub>	12,6	40,3	12,6	4,02	1,6	0,8
L <sub>3</sub>	4,01	12,6	40,3	12,6	3,88	1,65
L <sub>4</sub>	1,66	4,02	12,6	40,3	12,22	4,04
L <sub>5</sub>	0,78	1,6	3,88	12,3	37,1	11,9
L <sub>6</sub>	0,45	0,8	1,65	4,04	11,9	37,1

Çizelge 3 ve 4'ten de görüleceği gibi kenar etkisi nedeniyle C<sub>p</sub> parametresi için analitik hesaplamalar ile sayısal hesaplamalar arasında farklılıklar meydana gelmektedir. İletken kenarlarının kapasiteye olan katkısı analitik hesaplamalarda dahil edilememektedir. C<sub>s</sub> parametresi için analitik ve sayısal hesaplamalardaki farklılıkların kaynağı ise köşeleri yuvarlanmış iletken kullanılmasıdır. Köşeleri yuvarlanmış iletken kullanılması nedeniyle iki iletken arası ortalama mesafe artmıştır. Köşeleri yuvarlak ve ortası düz iki elektrodun kapasitesinin hesaplanması analitik yöntemle tam olarak mümkün olmadığından analitik hesaplamalarda elektrod yüzeyleri düzlem kabul edilmiş ve bu nedenle de kapasite değerleri sayısal hesaplamalara göre yüksek çıkmıştır.

**Çizelge 3-** Analitik Yöntemlerle Hesaplanan Kapasite Değerleri (Capacitance values calculated by analytical methods)

(pF)	1.grup	2.grup	3.grup	4.grup	5.grup	6.grup
C <sub>p</sub>	22,2	22,2	22,2	22,2	21,1	21,1
C <sub>s</sub>	375,3	375,3	375,3	375,3	355,2	355,2

**Çizelge 4-** Sayısal Yöntemlerle Hesaplanan Kapasite Değerleri (Capacitance values calculated by numerical methods)

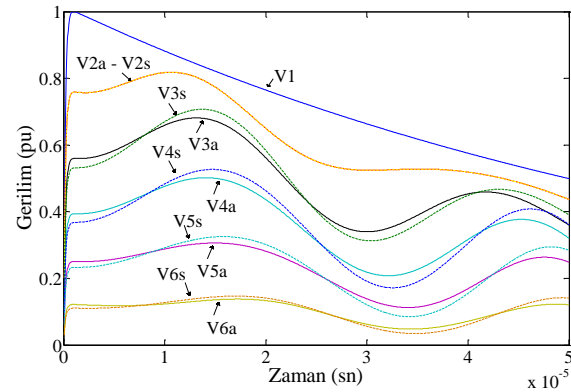
(pF)	1.grup	2.grup	3.grup	4.grup	5.grup	6.grup
C <sub>p</sub>	36,2	36,2	36,2	36,2	39,74	35,7
C <sub>s</sub>	371,8	371,8	371,8	371,8	351,9	351,9

### 6.2.2. Gerilim dağılımı (Distribution of voltage)

Analitik ve sayısal parametre hesaplama sonuçları ve Eşitlik 35 kullanılarak Şekil 14'te düğüm noktalarının toprağa karşı gerilim dağılımını verilmiştir. V<sub>1</sub> gerilimi, uygulanan gerilim olup analitik ve sayısal hesaplamalarda aynıdır. Şekil 13'de verilen düğüm noktalarına göre grafikler elde edilmiş; gerilimler, düğüm numarası ve analitik parametrelerden elde edilen grafikler a harfi ile, sayısal hesaplamalardan elde edilenler ise s harfi ile ifade edilmiştir. Düğüm noktalarındaki gerilimlerin en yüksek değerleri test geriliminin en yüksek değerini aşmamaktadır. Bobinin düğüm noktalarındaki toprağa karşı zorlanmalar standartta belirtilen gerilimin zorlanmasından daha azdır.

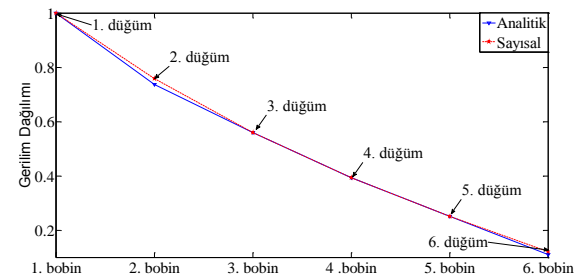
Kat sargı sarım tekniğine göre sarılmış olan bir kuru tip transformatörün sargıların arasındaki gerilim dağılımı

analitik ve sayısal parametrelere göre elde edilmiştir. Bu verilere göre bobinin iç yapısındaki gerilim dağılımının V<sub>1</sub> kaynak geriliminden farklılaştığı görülmektedir. Bobinlerin sargı içerisindeki konumuna göre düğüm noktalarındaki gerilimler daha yüksektir. Örneğin lineer gerilim dağılımında V<sub>3</sub> düğüm noktasının gerilimi en yüksek 0,66 pu olması gerekirken sayısal hesaplamalarda 13,4 µs anda 0,682 pu değeri elde edilmiştir. V<sub>1</sub> kaynak gerilimi doğrusal iken bobinlerin içerisindeki gerilim dağılımında osilasyon meydana gelmektedir.



**Şekil 14-** Yıldırım Darbe Geriliminin Alt Bobinlerdeki Dağılımı (Lightning impulse voltage distribution in the sub-coils)

Şekil 15'te düğüm noktalarının birbirleri arasındaki gerilim farkları verilmiştir. Bobinlerin düğüm noktalarındaki gerilimler birbirlerine göre lineer olarak dağılmaktadır. Bu nedenle bobinler arasındaki zorlanmalar için özel önlem almaya gerek kalmamaktadır. Gerilim dağılımının eğiminin bazı bobinler arasında büyük olması yani lineer dağılmaması durumunda ilgili bobinlerde elektriksel zorlanma daha büyük olacağı için ayrıca önlemler alınması gerekmektedir. Model transformatörde bobin izolasyonunun test gerilimine göre tasarlanması izolasyon dayanıklılığı açısından yeterlidir.



**Şekil 15-** 1µs Anında Düğümlerdeki Gerilim Dağılımı (Voltage distribution in the nodes at 1µsec)

## 7. SONUÇ (RESULT)

Kat sargı yöntemi ile sarılmış epoksi reçineli kuru tip transformatör bobinindeki gerilim dağılımı incelemesi sonucunda bobine ait LC devresinin analizi için L ve C



parametreleri analitik ve sayısal olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan analitik hesaplamaların sayısal hesaplamalarla tutarlı olduğu görülmektedir. Bu parametreler ile devrenin düğüm gerilimleri analizi literatürde yer alan yöntemle yapılarak bobin içerisinde gerilim dağılımı incelenmiştir.

Bu çalışma ile kat sargılı kuru tip transformatörün YG bobini içerisindeki yıldırım darbe analizi yapılarak darbe geriliminin bobinin içerisinde meydana getirdiği gerilim zorlanmaları tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Miki A., Hosoya T., Okuyama K., “A Calculation Method For Impulse Voltage Distribution and Transferred Voltage in Transformer Windings”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, no.3, (1978, May/June).
- [2] Ang S.P., S. M., “Modelling of High Frequency Characteristic of a 6.6 kV Transformer”, *Universities Power Engineering Conference (UPEC)* (s. 1-6). London: IEEE, (2012).
- [3] J. Smajic, T. Steinmetz, M. Rüegg, Z. Tanasic, R. Obrist, J. Tepper, B. Weber, M. Carlen, “Simulation and Measurement of Lightning-Impulse Voltage Distributions Over Transformer Windings.” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 50, no. 2, 553-556, (2014).
- [4] IEC International Standard, IEC 60076-3, “Power Transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air”, *International Electrotechnical Commission (IEC)*, Geneva, Switzerland, (2004).
- [5] Smajic J., Obrist R., Rüegg M., Cranganu-Cretu B., Roy C., Weber B., Rahimpour E. “Lightning impulse modeling and simulation of dry-type and oil-immersed power and distribution transformers” (2014).
- [6] Lewis, T., “The Transient Behavior of Ladder Networks of the Type Representing Transformer and Machine Windings”, *Proc. IEEE*, vol. 101 pt. II, pp. 541-553, (1954).
- [7] Dent BM, H. E., “A Method of Analysis of Transformer Impulse Voltage Distribution Using a Digital Computer”, *IEEE Proceedings*, 445-459, (1958).
- [8] Fergestad PI, H. T., “Inductances for Calculation of Transient Oscillations in Transformers”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 500-509,(1974).
- [9] Stein, M., “A Study of the Initial Surge Distribution in Concentric Transformer Windings”, *AIEE Transactions*, 877-892, (1964).
- [10] Fergestad PI, H. T., “Transient Oscillations in Multiwinding Transformers”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 500-509, (1974).
- [11] Vahdi B., E. M., “Transient Simulation of Cast Resin Dry Type Transformers Using FEM”, *European Transactions on Electrical Power*, 363-379, (2011),
- [12] Alexandru B.M., M. M., “Calculation methods for lightning impulse voltage distribution in power transformers”, *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)* (s. 71-76). Bran: IEEE, (2014).
- [13] Bhuyan K., C. S., “Surge Modelling of Transformer Using Matlab-Simulink”, *India Conference (INDICON)* (s. 1-4). Assam: IEEE, (2009).
- [14] O'Loughlin, J. P., “Calculation of the Inductance of a Circular Coil Consisting of any Number of Coaxial Turns, Each Individual Turn being of any Wire Size Located in Parallel Planes and of any Spacing to the Other Turns.”, *Circuit and Electromagnetic System Design Notes*. Kirtland, ABD. (1998).
- [15] Kulkarni S.V., Khaparde S.A. “Transformer Engineering”, cilt no:1, *CRC Press*, ISBN 978-1-4398-5377-1, New York, (2004).

# Designing of Open Cell Aluminum Foam Heat Exchanger and Modelling of its Thermal Performance by Using Ann Method

Ahmet Ali SERTKAYA<sup>1</sup>, Ali ATEŞ<sup>2</sup>, Kemal ALTINISIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan University, Faculty of Seydişehir Ahmet Cengiz Engineering, Department of Mechanical Engineering, 42360 Seydişehir, Konya, Turkey

<sup>2</sup> Selçuk University, Faculty Engineering, Department of Mechanical Engineering, 42000 Selçuklu-Konya, Turkey.

<sup>3</sup> Selçuk University, Technology Engineering, Department of Mechanical Engineering,

42000 Selçuklu-Konya, Turkey.

(Geliş / Received : 30.03.2015 ; Kabul / Accepted : 18.07.2015)

## ABSTRACT

This study deals with the design and thermal performance modeling of aluminum foam open cell heat exchangers by making use of experimental data where the aluminum featuring different numbers of pores per inch (PPI) was used and the modeling was based on the Artificial Neural Networks (ANN) method. The open celled aluminum foams with 10, 20 and 30 PPI features were shaped into heat exchangers. The heat exchangers were placed into a rectangular groove then hot water was circulated within the heat exchanger tubings and cold air generated from a fan was blown over the tubings at varying rates. For every heat exchanger, the variations of Reynolds number with Nusselt number, pressure drop with air speed, and friction with Reynolds number were presented on graphs. By making use of the experimental data, ANN modeling was carried out for materials with 10, 15, 20, 25 and 30 PPI porous densities. The ANN input parameters for the developed system were  $T_{hin}$ ,  $T_{cin}$ ,  $T_{hinw}$ ,  $u$  and PPI, whereas the output parameters were chosen to be  $T_{hout}$ ,  $T_{cout}$ ,  $T_{houtw}$  and  $\Delta P$ . When the results from the Artificial Neural Networks were analyzed and compared with the experimental results, it was found that a close correlation exists between the two. With the result of this study, it becomes clear that the Artificial Neural Networks numerical modeling can be safely applied to aluminum foam heat exchangers.

**Keywords:** Aluminum foam, heat exchanger, performance, artificial neural network

## Açık Hücreli Alüminyum Köpüğün Isı Değiştiricisi Olarak Tasarımı ve Isıl Performansının Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Modellenmesi

### ÖZ

Bu çalışma, deneysel verilerden yararlanılarak farklı ppi özelliklerine sahip açık hücreli alüminyum köpüğün ısı değiştiricisi olarak tasarımı ve ısıl performansının yapay sinir ağı (YSA) ile modellenmesi üzerinedir. PPI 10, 20 ve 30 özelliklerine sahip açık hücreli alüminyum köpükler, ısı değiştirici formuna getirilmiştir. Isı değiştirici bir kanala yerleştirilerek içinden sıcak su geçirilip, üzerine bir fan yardımı ile değişen debilerde hava üflendi. Her ısı değiştirici için; Reynolds - Nusselt, Etkenlik - Hız, Basınç düşümü - Hız ve Sürtünme - Reynolds sayısı değişimleri incelendi. Deneysel veriler kullanılarak 10, 15, 20, 25 ve 30 PPI gözenek yoğunlukları için YSA modellemesi yapılmıştır. Geliştirilen sistemde YSA uygulanan giriş parametreleri  $T_{hin}$ ,  $T_{cin}$ ,  $T_{hinw}$ ,  $u$  ve PPI, çıkış parametreleri ise  $T_{hout}$ ,  $T_{cout}$ ,  $T_{houtw}$  ve  $\Delta P$  şeklindedir. YSA'dan elde edilen sonuçlar ile deneysel verilerin istatistiksel analizleri yapıp mukayese edildiğinde, iki grup verinin uyumlu olduğu tespit edilmiş ve aralarında anlamca fark olmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın sonucu Yapay Sinir Ağlarının alüminyum köpük ısı değiştiricilere güvenli bir şekilde uygulanabileceğini açıkça göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum köpük, ısı değiştirici, performans, yapay sinir ağı

### 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Materials with cellular nature are among the most important improved surfaces due to their multifunctional features. Some of these valuable features are improved heat transfer area to volume ratio,

good stiffness and strength, as well as enhanced flow mixing capability. With the advancing technology, these materials can find diverse application areas including being used as heat exchanger materials ( as used in this study); used in combustion chambers and cryogenics, as cladding materials on structures, used for strain isolation, geothermal operations, petroleum reservoirs,

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: asertkaya@konya.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 31-37



fluid. A pump was used to maintain water circulation in and out of tank. When water had reached a desired temperature value, air which was controlled with an inverter, was blown across the heat exchangers. The air velocities were set between 0,5 m/s and 5,5 m/s and adjusted by varying the air speed of the blowing fan. Values obtained from the measurements of pressure, velocity and temperatures were used in the calculations [9]

(1.Computer, 2.Digital manometer, 3.Termokuples, 4.Exchanger-test section, 5.Canal, 6.Digital flow meter, 7.Pump, 8.Water tank, 9.Water filling, 10.Electricity board, 11.air speed control, 12.Fan, 13. Heater, 14.Aluminum foams heat exchangers.)

## 2.1 Aluminum foam theory (Alüminyum Köpük Teori)

In a porous medium, heat transfer between filaments is through conduction while the transfer between the filaments and the environment takes place by means of convection method. The following equations were used for plotting the graphs and offering necessary comments from the study. Reynolds number ( $Re$ ) can be given as

$$Re = \frac{d_h u}{\nu} \quad (1)$$

where  $u$  is air velocity,  $d_h$  is hydraulic diameter and  $\nu$  is kinematic viscosity of the air.  $d_h$  can be calculated from,

$$d_h = \frac{4A}{P} \quad (2)$$

where  $A$  is cross section area of the duct and  $P$  is wetted perimeter of the duct.

Nusselt number ( $Nu$ ) can be defined as follows:

$$Nu = \frac{h d_h}{k} \quad (3)$$

where  $h$  is heat transfer coefficient,  $k$  is thermal conductivity. Convective heat transfer is expressed as follows

$$q = h A \left( \frac{T_{hinw} + T_{houtw}}{2} - \frac{T_{cin} + T_{cout}}{2} \right) \quad (4)$$

$$q = \bar{h} (\pi N d Z) \left( \frac{T_{hinw} + T_{houtw}}{2} - \frac{T_{cin} + T_{cout}}{2} \right) \quad (5)$$

Similarly, the cold fluid receives heat expressed as follows

$$q = \rho_c N_T S_T Z u_\infty c_{pc} (T_{cout} - T_{cin}) \quad (6)$$

$\bar{h}$  has been defined as

$$\bar{h} = \frac{\rho_c N_T S_T Z u_\infty c_{pc} (T_{cout} - T_{cin})}{(\pi N d Z) \left( \frac{T_{hinw} + T_{houtw}}{2} - \frac{T_{cin} + T_{cout}}{2} \right)} \quad (7)$$

where  $N_T$  is the number of cylinders in the transverse direction of a bank,  $S_T$  is transverse pitch in a bank of cylinders,  $N$  is the number of cylinders in a bank,  $d$  is pipe diameter and  $Z$  is depth.

Friction factor ( $f$ ) can be written as follows:

$$f = \frac{\Delta p}{4 \left( \frac{L}{d_h} \right) \left( \frac{\rho_c u^2}{2} \right)} \quad (8)$$

where,  $\Delta p$ ,  $L$ ,  $d_h$ ,  $\rho_c$  and  $u_\infty$  denote pressure drop, channel length, diameter of the hydraulic cylinder, air density and air speed, respectively.

## 2.2 Artificial Neural Networks (Yapay sinir Ağları)

Artificial Neural Networks (ANN) is a generic name given to scientific studies aimed at creating mathematical model, capable of imitating human brain by taking into account all angles of the human cells operating mechanism. The ANN can be modeled to mimic the human brain and its functional principles both in terms of software and hardware.

ANNs are systems in which the artificial neural cells are interconnected to each other. Basically, this system is composed of three layers, input layer, hidden layers and output layer. The input layer is where the ANN data are uploaded. The data entering this layer are not processed, there is as many number of inputs as the artificial cells in this layer. Hidden layers are responsible for the processing of the data from the input layer. The number of layers to be established varies from a problem to problem. The number of layers is independent of the input and output data. Every layer processes the data, and then conveys them to the next layer. The number of cells in the hidden layers can be more than one. Each cell is connected to all cells in the previous layer. Input data is established into every cell by multiplying the data from the previous layer by the weights and taking their sum.

$$net_j^k = \sum_i w_{ij}^{k-1,k} o_i^{k-1} + \theta_j^k \quad (9)$$

If logarithmic sigmoid is used as activation function, the neuron output is then computed as follows:

$$o_j^k = f \left( net_j^k \right) = \frac{1}{1 + \exp \left( -net_j^k \right)} \quad (10)$$

where  $o_i^{k-1}$  is the output of the  $i$ th neuron of the  $(k-1)$ th layer,  $w_{ij}^{k-1,k}$  is the weight connecting the  $i$ th neuron of

the (k-1)th layer to the  $j$ th neuron of the  $k$ th layer.  $net_j^k$  and  $\theta_j^k$  are the input and threshold values, respectively, for the  $j$ th neuron of the  $k$ th layer. The output layer executes the data from the hidden layers and converts them into suitable outputs. There is one output for every single output cell. There are different learning algorithms that can be applied to train a neural network. The most popular of them is the back propagation algorithm, which has different variants. Standard back propagation is a gradient descent algorithm. It is very difficult to know which training algorithm will be the fastest for a given problem, and the best one is usually chosen by trial and error. An ANN with a back propagation algorithm learns by changing the connection weights, and these changes are stored as knowledge.

To calculate the error during the learning, the root-mean-squared error (RMSE) is used. RMSE is defined as follows.

$$RMSE = \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |a_j - p_j|^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

In addition, absolute fraction of variance ( $R^2$ ) and mean absolute error (MAE) are defined as follows, respectively:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{j=1}^n (a_j - p_j)^2}{\sum_{j=1}^n (p_j)^2} \right) \quad (12)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| |a_j| - |p_j| \right| \quad (13)$$

Mean relative error (MRE,%) may be written as:

$$MRE(\%) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( 100 \times \frac{a_j - p_j}{a_j} \right) \quad (14)$$

where  $a_j$  is the actual value and  $p_j$  is the predicted value respectively.

$$x_N = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (15)$$

where  $x_N$  is the normalized value of a variable,  $x$  is a real value in a parameter,  $x_{\max}$  and  $x_{\min}$  are the maximum and

minimum values of  $x$ , respectively. Obtained statistical results for testing parameters are illustrated in Table 1.

### 3. RESULTS (SONUÇLAR)

In this study thermal performance modeling of open celled aluminum foam heat exchangers was investigated by using the Artificial Neural Networks where the foams used possessed 10, 15, 20, 25 and 30 PPI pore density features. The study benefitted from experimental data where even the values within the 15 PPI and 25 PPI range were applied to the ANN. Fig 2 shows the ANN model for the problem.

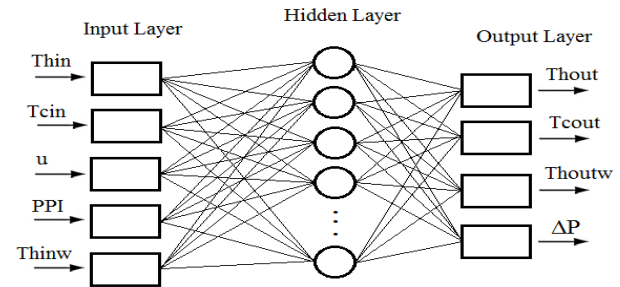


Figure 2. ANN architecture (YSA ağı)

As seen on Fig.3, the correlation value,  $R$  produced by the ANN is 0.98614.

This shows that this problem can perfectly be applied to the Artificial Neural Networks at the given value.

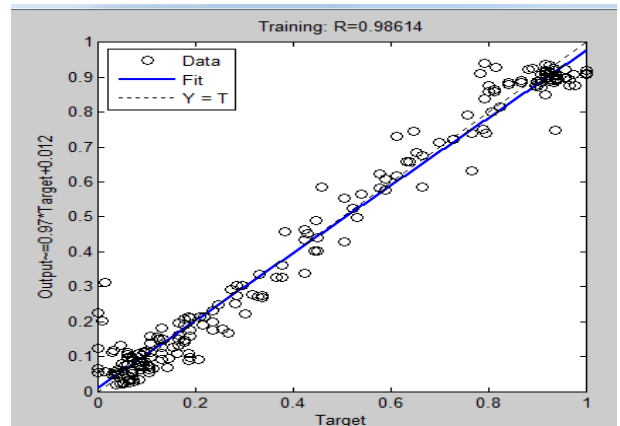
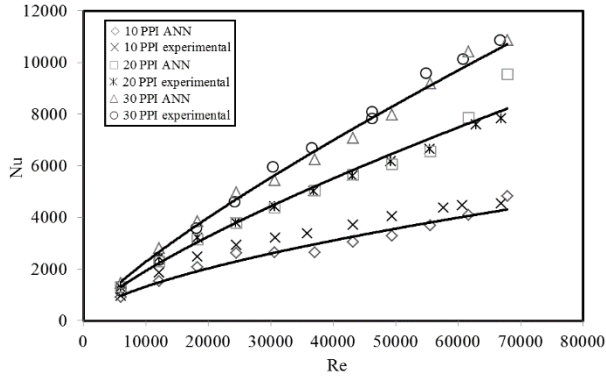


Figure 3. Comparison of test data with experimental and ANN results (DeneySEL ve YSA sonuçları ile deney verilerinin karşılaştırılması)

Table 1. Obtained statistical results (Elde edilen istatistik sonuçlar)

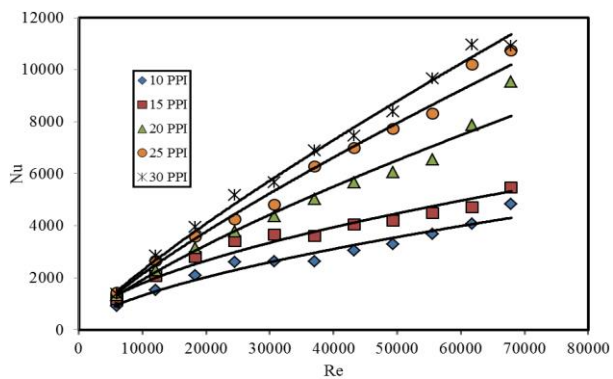
	RMSE	MAE	$R^2$	MRE
Thout	0,9861	0,0143	0.9725	0,2300
Tcout	1,2662	0,01397	1.6711	0,3568
Thoutw	1,8263	0,0311	3.3356	1,0749
Δp	0,0062	4,19E-06	3.88E-05	8,2380





**Figure 4.** Comparison of the variation of Reynolds number with Nusselt number for the experimental and ANN results under PPI features of 10-20-30 (PPI 10,20 30 için deneysel ve YSA sonuçlarına göre Nusselt -Reynolds sayısının değişiminin karşılaştırılması)

In Fig. 4, the variation of Reynolds number with Nusselt number for open celled aluminum heat exchangers with 10, 20, 30 PPI features is plotted, where the experimental results and those obtained from the ANN are shown on the same graph. As the porous density increases, the distance covered by air (cold refrigerant) between the heat exchanger entrance and exit, increases too. This situation maintains longer contact between the hot and cold fluid. Moreover; as the porous density increases, the surface area per unit volume increases as well. The increase in Nusselt number indicates that the heat transfer rate increases [3,10]. The best heat transfer occurred with PPI feature of 30, and then successively followed by 20 PPI and 10 PPI. In three heat exchangers dealt with in this study, it was found that the Reynolds number increases with the Nusselt number. In addition; the study found out that the experimental results cope well with the results obtained with the artificial neural networks method.



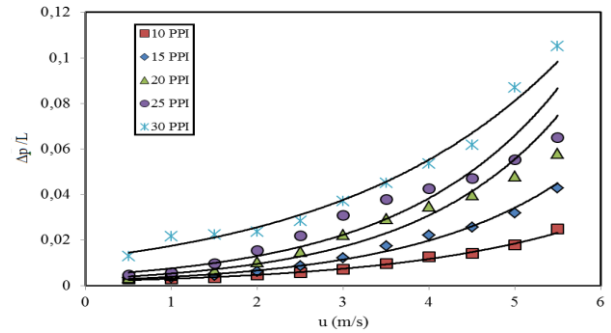
**Figure 5.** Variation of Re number with Nu number based on the ANN data (YSA verilerine göre Nu -Re sayısının değişimi)

Fig. 5. Shows the relationship between Reynolds number and Nusselt number with respect to the ANN data. The ANN was applied for PPI values of 10,15,20,25 and 30 by making use of the experimental

data. The graphs obtained showed that as the Reynolds number increases, so does the Nusselt number. According to the ANN results, the graphs plotted tend to show similar trends with those drawn from experimental data [3,10,11]. The correlation equations between Reynolds number and Nusselt number for the graphs drawn based on the ANN data are presented in Table 2.

**Table 2.** Reynolds – Nusselt correlation equations (Reynolds - Nusselt korelasyon denklemleri)

Material	Correlation equation ( $\epsilon_e$ )	R <sup>2</sup> (%)
10 PPI	$Nu = 4.447 Re^{0.6174}$	97.06
15 PPI	$Nu = 8.475 Re^{0.5774}$	98.71
20 PPI	$Nu = 1.8184 Re^{0.7565}$	98.89
25 PPI	$Nu = 1.2139 Re^{0.8121}$	99.26
30 PPI	$Nu = 1.0399 Re^{0.8358}$	99.44



**Figure 6.** Variation of air speed with pressure drop on the basis of ANN data (YSA verilerine göre basınç düşüşü ile hava hızı değişimi)

In Fig. 6, the curves showing variation of pressure drop per unit length with air speed in the aluminum foam heat exchangers are shown. The curves have been drawn by using the ANN data. It is clear that as the porous density level increases the pressure drop becomes more acute. On the other hand, as the surface area per unit volume increases the pressure loss increases as well. The highest pressure loss was observed at the porosity of 30 PPI while the least pressure loss occurred at the porosity of 10 PPI. On top of that, for all the heat exchangers considered, it was found that the increase in the air speed leads to corresponding increase in the pressure drops and that at higher air speeds this increase becomes quite substantial. The results of ANN are compatible with experimental references in literature [2,3,12]. The correlation equations between pressure drop per unit length with pressure drop for the graphs drawn with respect to the ANN results are given in Table 3.

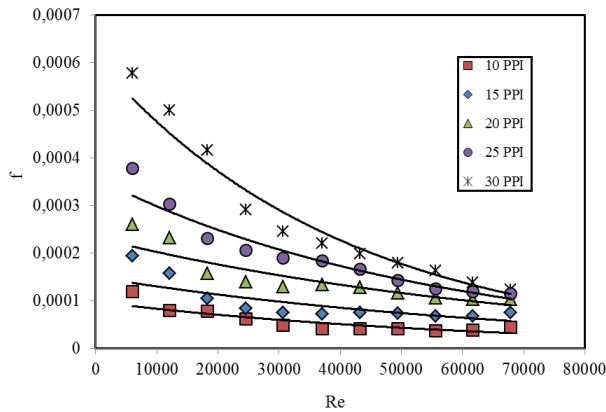
**Table 3.** Correlation equations between pressure drop and air speed (Basınç düşüşü ve hava hızı arasındaki korelasyon denklemleri)

Material	Correlation equation ( $\Delta p / L$ )	R <sup>2</sup> (%)
10 PPI	$(\Delta p / L) = 0.0019 e^{0.4583 U}$	98.90
15 PPI	$(\Delta p / L) = 0.0022 e^{0.5486 U}$	98.85
20 PPI	$(\Delta p / L) = 0.0029 e^{0.5974 U}$	97.08
25 PPI	$(\Delta p / L) = 0.0043 e^{0.5545 U}$	94.67
30 PPI	$(\Delta p / L) = 0.0119 e^{0.3846 U}$	97.78

**Table 4** Correlation equations for Reynolds number with frictional factor (Sürtünme faktörü-Reynolds sayısı için korelasyon denklemleri)

Material	Correlation equation ( $\Delta p / L$ )	R <sup>2</sup> (%)
10 PPI	$f = 2E-14 Re^2 - 2E-09 Re + 0,0001$	96.17
15 PPI	$f = 3E-14 Re^2 - 3E-09 Re + 0,0001$	95.19
20 PPI	$f = 2E-14 Re^2 - 3E-09 Re + 0,0002$	96.38
25 PPI	$f = 8E-14 Re^2 - 9E-09 Re + 0,0004$	96.06
30 PPI	$f = 1E-13 Re^2 - 2E-08 Re + 0,0007$	98.16

The variation of frictional factor with Reynolds number drawn on the basis of ANN data is shown on Fig. 7. It is seen that friction is higher on areas with higher porous densities and decreases as the porosity becomes low. The maximum frictional loss was recorded at the PPI value of 30 and the minimum occurred at porous density value of 10. In all the heat exchangers, the frictional losses were higher on low Reynolds numbers and vice versa. The higher frictional values on higher porous densities are due to the narrowed inter-distances among the filaments and the long way taken by the cold fluid during circulation. The ANN results again proved to be consistent with experimental studies [2,3,10]. Table 4 shows the correlation equations for the variation of Reynolds number with frictional factor belonging to the graphs plotted with the ANN data.

**Figure 7.** Variation of frictional factor with Reynolds number based on ANN data

(YSA verilerine göre Reynolds sayısı sürtünme katsayısı değişimi)

#### 4. DISCUSSION (TARTIŞMA)

This study has based on designing open cell aluminum foam heat exchangers from experimental data featuring different PPI properties of the material and usage of the artificial neural networks (ANN) to model thermal performances of the designed heat exchangers. The modeling was made based on experimental data for materials with PPI values of 10, 15, 20, 25 and 30. The results found are summarized below:

- Reynolds number increases with the Nusselt number. An increase or decrease in Nusselt number is an indication of the amount of heat transferred. The highest Nusselt number occurs at the PPI value of 30 whereas the lowest takes place at 10 PPI. As the porous density (PPI) increases, the heat transfer rate increases too (Figs. 4-5).
- In the open celled aluminum foam heat exchangers, when the porous densities increase the pressure losses increase. The maximum pressure loss occurs at 30 PPI while the minimum is recorded at 10 PPI. An increase in air speed leads to a corresponding increase in the pressure loss which becomes intensive at higher air speeds (Fig. 6).
- The frictional losses in the aluminum foam heat exchangers increase with the increasing porous density values. Maximum frictional loss occurs at 30 PPI with the minimum loss recorded at 10 PPI. Air speed and frictional loss seem to have inverse proportional relationship in which the increase in air speed causes a decrease in the frictional loss; and at higher air speeds the frictional loss becomes much less (Fig. 7).

When the results from the ANN model are analyzed and compared with the experimental results, it is found that the two indicate a consistent common result. With this study, it has been shown that the ANN can be reliably used for analyzing aluminum foam heat exchangers and the ANN modeling can be applied without necessitating numerous experimental studies.

**REFERENCES (KAYNAKLAR)**

1. Mancin, S., Zilio, C., Cavallini, A., Rossetto, L., "Heat transfer during air flow in aluminum foams", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 53:4976–4984, 2010.
2. Ángel, R., Hernández, Á., "Combined Flow And Heat Transfer Characterization Of Open Cell Aluminum Foams", *Mechanical Engineering, and University Of Puerto Rico, Mayagüez Campus*, 2005.
3. Sertkaya, A.A., Altınışık, K., Dinçer, K., "Experimental investigation of thermal performance of aluminum finned heat exchangers and open-cell aluminum foam heat exchangers", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 36:86–92, 2012.
4. Babcsan, N., Meszaros, I., Hegman, N., "Thermal and Electrical Conductivity Measurements on Aluminum Foams", *Werkstofftech*, 34:391–394, 2003.
5. Dukhan, N., Quinones, P., "Convective Heat Transfer Analysis of Open Cell Metal Foam for Solar Air Heaters", *Proceeding International Solar Energy Conference*, Hawaii, USA, 2003.
6. [http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Artificial\\_neural\\_network.html](http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Artificial_neural_network.html) (access 2014).
7. Ismail, H. M., Ng, H. K., Queck, C. W., Gan, S., "Design and optimization of an Atkinson cycle engine with the Artificial Neural Network Method", *Applied Energy*, 92:861-868, 2012.
8. Sözen, A., Arcaklioğlu, E., Özalp, M., Kanit, E. G., "Solar-energy potential in Turkey", *Applied Energy*, 80:367–381, 2005.
9. Sertkaya, A. A., "The Production Of Aluminum Foam As Heat Exchanger & Heat Transfer Modeling, Ph.D. Thesis", *Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Selcuk University, Konya, Turkey, 2008.
10. Kurtbas, I., Celik, N., Dincer, I., "Exergy transfer in a porous rectangular channel", *Energy*, 35:451–460, 2010.
11. Lu W, Zhao C.Y, Tassou S.A., "Thermal analysis on metal-foam filled heat exchangers Part I: Metal-foam filled pipes", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49:2751–2761, 2006.
12. <http://www.m-pore.de> (Access 2014).

# Siber Güvenlik Yatırım Kararları Üzerine Literatür İncelemesi

**Hakan ŞENTÜRK\***, **Celal Zaim ÇİL\*\*** ve **Şeref SAĞIROĞLU\*\*\***

\*Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara

\*\* Çankaya Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Ankara

\*\*\* Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara

(Geliş / Received : 01.04.2015 ; Kabul / Accepted : 02.06.2015)

## ÖZ

Karmaşıklığı ve sıklığı her geçen gün artan siber saldırıların yol açtığı yüksek ekonomik zararlar ile bu saldırılara karşı koruma sağlayan çok sayıda siber güvenlik teknolojisi ürünlerinin yatırım alternatifi olarak sunulduğu güvenlik sektörü, alanda yapılan çalışmaların odak noktasını siber güvenliğin ekonomik boyutuna yöneltmiştir. Kısıtlı kaynak şartları altında siber güvenlik yatırım kararlarının verilebilmesine yönelik kullanılabilecek yöntemlerin belirlenmesi ihtiyacı öne çıkmıştır.

Bu çalışmada siber güvenlik yatırım kararlarının verilmesi sürecinde uygulanabilecek yatırım stratejileri, siber güvenlik risklerinin belirlenmesi ve ölçülmesi, güvenlik saldırılarının maliyet ve etkisinin ölçülmesi, güvenlik teknolojilerinin etkinliğinin ölçülmesi ve güvenlik yatırımlarının en uygun seviyesinin belirlenmesi olmak üzere beş kategoride alanda son onbeş yılda yapılan akademik çalışmalar incelenmiş, literatürdeki boşluklar ortaya konularak sonraki araştırmalara yön verilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Siber güvenlik ekonomisi, güvenlik yatırımı, yatırım kararları, karar analizi, oyun teorisi, reel opsiyonlar

## Literature Review on Cyber Security Investment Decisions

### ABSTRACT

Severe financial losses incurred by cyber security attacks with increasing complexity and frequency, as well as booming cyber security sector offering variety of products as investment options have led the focus of the research in the field to the economic dimension of cyber security. The need for determination of methods to be used when making cyber security investment decisions under budget constraints have become prominent.

In five sections as the cyber security investment strategies, risk identification and measurement, attack costs and impacts calculation, measurement of technology effectiveness and determination of optimum level of cyber security investments, this study reviews and evaluates the academic literature on economic aspects of cyber security for the last fifteen years and aims to provide research directions by pinpointing literature gaps.

**Keywords:** Cyber security economy, security investment, investment decisions, decision analysis, game theory, real options

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1990'lu yılların basit virüs yazılımlarıyla başlayan siber saldırıların, günümüzde gelişmiş, hedefli kalıcı tehdit (Advanced Persistent Threat, APT) saldırıları örneğinde görüldüğü gibi karmaşıklığını ve ekonomik etkisini artırdığı bilinmektedir. Bu durumun getirdiği en büyük zorluk, altyapının güvenliğinin sağlanması, ekonomik yansımaları ise güvenlik için gerekli en uygun yatırım maliyetlerinin belirlenmesi ihtiyacıdır. Bu amaçtan yola çıkarak, bu çalışmada siber güvenliğin ekonomik boyutu üzerine alanda yapılan akademik çalışmalar incelenmiştir.

Siber güvenliğin ekonomik boyutunun büyüklüğü hakkında birkaç örnek vermek yerinde olacaktır.

Ağustos 2003'te çıkan Blaster solucanı, ilk haftasında yarım milyon bilgisayara bulaşmış, işletme başına 475 bin dolar maddi kayıp verdiği açıklanmıştır [1]. "I Love You" ve "Love Bug" virüslerinin, dünya çapında 10 milyar dolar, My Doom isimli truva atının 4.8 milyar dolar, Nimda solucan yazılımının ise yaklaşık 3 milyar dolar maddi zarara yol açtığı tahmin edilmektedir [2].2010 yılında Symantec ve Ponemon Enstitüsü tarafından hazırlanan ve 15 farklı sektörden 51 farklı firmanın katıldığı sızma maliyetleri raporunda firma başına 2010 yılı yıllık ortalama kayıp tutarının 7,24 milyon dolar olduğu rapor edilmiştir [3]. Ponemon Enstitüsü tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada ise, son üç yılda haftalık başarılı siber saldırı sayısı ortalamasının 50'den 102'ye çıktığı, ortalama saldırılardan kurtarma süresinin 14'den 24 güne çıktığı,

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: hakan.senturk@shape.nato.int

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 39-51

firma başına yıllık ortalama kayıp maliyetinin ise 6,5 milyondan 8,9 milyon dolara çıktığı belirtilmiştir [4].

Bu verilerden de görüleceği üzere, siber güvenliği elektronik ve bilgisayar bilimi yanında ekonomik açıdan da ele almak bir zorunluluk haline gelmiştir. Nitekim Anderson, bilgi güvenliğini, finansal açıdan çözümü zor bir problem olarak tanımlamaktadır [5]. Artık bilgi güvenliği probleminin odak noktası teknik olarak neyin yapılabileceğinden, neyin ekonomik olarak en uygun olduğu noktasına kaymaktadır. Mevcut durumda bu alandaki mevcut çalışmalar yetersiz kalmaktadır [6,7]. Bu çalışmanın amacı; siber güvenliğin ekonomik boyutu ve siber güvenlik yatırım kararlarının en uygun seviyesinin belirlenmesine yönelik, alanda son on beş yılda dünyada yapılan akademik çalışmaların incelenmesi ve siber güvenlik ekonomisi alanında araştırma yapılabilecek konulara dikkat çekilmesidir.

Siber güvenlik ekonomisi alanında yapılan çalışmalar, temel olarak üç konuyu ele almaktadır [8]:

- Güvenlik saldırılarının/sızmalarının gerçekleşme sıklığı: Saldırıların sıklığını oluşturan göstergelerin belirlenmesi.
- Güvenlik saldırılarının/sızmalarının maliyeti: Bir saldırının maliyetinin tahmin edilebilmesine yönelik problemin çözümü.
- Siber güvenlik teknolojilerine yapılan yatırımlar: Belirlenen güvenlik sistemlerinin tedarik edilmesi, kurulumu, bakım ve idamesi ile kullanılmasına yönelik harcama düzeyinin belirlenmesi.

Benzer şekilde Su, siber güvenlik ekonomisi alanındaki mevcut literatür çalışmalarını şu üç kategoride toplamıştır [9]:

- Güvenlik saldırılarının maliyet ve etkilerinin ölçülmesi
- Güvenlik teknolojilerinin fayda ve etkilerinin ölçülmesi
- Güvenlik yatırımlarının optimum seviyesinin belirlenmesi.

Bu çalışmada, yukarıda Su tarafından belirtilen üç kategoriye ilave olarak, siber güvenliğin bir risk yönetimi disiplini olduğu [10] ve yatırımların ekonomikliğinin analizinde işletme risklerinin yönetilmesinin gerekliliği düşüncesinden yola çıkarak, “güvenlik risklerinin belirlenmesi ve ölçülmesi” ve siber güvenlik yatırım stratejileri de dâhil olmak üzere toplam beş temel alanda inceleme yapılmıştır.

## 2. SİBER GÜVENLİK YATIRIM STRATEJİLERİ (CYBER SECURITY INVESTMENT STRATEGIES)

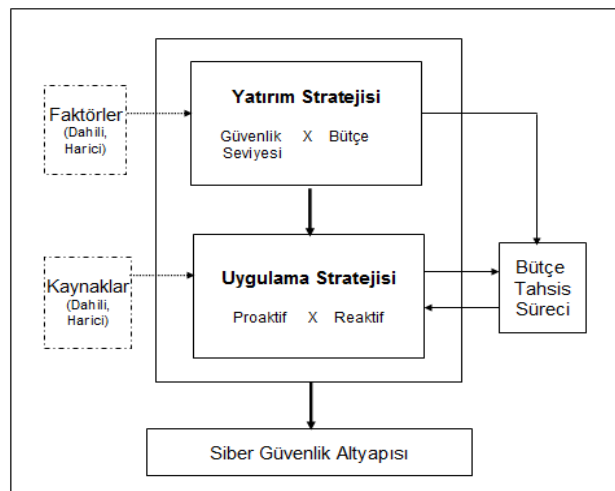
İşletmelerin siber güvenlik yatırımlarına yaklaşımının diğer yatırımlara olan yaklaşımıyla aynı olmadığını ortaya koyan çok yaygın bir görüş bulunmaktadır [11]. Siber güvenlik yatırımları, işletmeye doğrudan kar getirmeyen yatırımları gibi görülmektedir. Bir siber güvenlik yatırımının getireceği fayda, ancak işletmeye

tehdit teşkil eden siber güvenlik risklerinin indirgenmesine bağlı olarak, aslında bir siber saldırı gerçekleşmesi durumunda yaşanacak maddi kaybın düşürülebildiği değer kadar olacaktır. Bu nedenle, yatırımın değerlendirilmesindeki ölçüt, diğer yatırımlardan farklı olarak, uygulanacak sistem çözümünün maliyeti düşüldüğünde, işletmeye sağlayacağı beklenen maddi kaybın azaltılması yönündeki marjinal fayda olacaktır [8].

İşletmelerin siber güvenlik yatırım kararları için kullandıkları strateji, genellikle Şekil 1’de görüldüğü üzere iki türdür [11]:

- Yatırım için gereken sabit bir bütçe miktarının belirlenmesi.
- Siber güvenlik gereksinimlerini ve önceliklerini karşılamaya yönelik hedeflenen güvenlik seviyesinin belirlenmesi.

İşletmeler, siber güvenlik yatırım karar sürecine, sabit bir bütçe belirleyerek ya da işletmenin güvenlik önceliklerini karşılamaya yönelik güvenlik seviyesi belirleyerek, diğer bir deyişle, yatırım stratejisini belirleyerek başlarlar. İşletmelerle yapılan görüşmeler sonucu ortaya konulan raporlarda, sabit bütçenin çoğunlukla işletmenin Bilgi Teknolojileri bütçesinin belirli bir yüzdesi (genellikle %1-%15 arasında) üzerinden belirlendiği görülmektedir [6,41]. Amaç, belirlenen sabit bütçeyle işletme risklerini minimize edebilecek teknolojileri edinecek güvenlik yatırıma karar vermektir. İşletmenin güvenlik gereksinimlerine odaklanan diğer yatırım stratejisinde ise güvenlik riskleri, öncelikleri ve hedeflenen güvenlik seviyesine ulaşabilmek için gerekli yatırım miktarı belirlenir. Yatırım stratejisinin belirlenmesine etki eden iç ve dış faktörler, işletmenin iş süreçleri gereksinimleri, önceki dönem tecrübe edilen saldırı olayları, uyulması gereken mevzuatlar, müşteri ya da tedarikçi talep veya koşulları olabilir [11].



Şekil 1. Siber Güvenlik Yatırım Karar Süreci [11].



İşletmenin yönetim seviyesinde belirleyeceği yatırım stratejilerinin, genellikle uygulama stratejilerini de şekillendirdiği görülmektedir. İki temel uygulama stratejisi; siber saldırıların gerçekleşmesinden sonra işletmenin güvenlik açıklarının giderilmesine yönelik reaktif ve kapsamlı risk analizleri sonucunda gerçekleşmesi muhtemel saldırıları önlemeye yönelik proaktif uygulama stratejileridir. Uygulama stratejilerinin belirlenmesine etki eden bilgi kaynakları; işletme içi/dışı güvenlik denetimleri, personel deneyimleri, saldırılara yönelik işletme içi toplanan ya da CSI/FBI, Ponemon, vb. enstitülerin çalışmaları kapsamında yayınlanan çeşitli istatistikî veriler, Ulusal/Uluslararası en iyi uygulamalar, ISO standartları usulleri, müşteri gereksinimleri, üretici tavsiyeleri olabilmektedir [11].

### 3. GÜVENLİK RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ÖLÇÜLMESİ (IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF SECURITY RISKS)

İşletmelerin güvenlik risklerinin analizi ve değerlendirilmesi amacıyla nicel, nitel ve karma teknikler kullanılmaktadır. Nicel tekniklerde risk sayısal değerlerle ifade edilirken, nitel tekniklerde ise genellikle düşük, orta, yüksek gibi tanımlayıcı sıfatlarla ifade edilir. Karma tekniklerde ise her iki yöntem de beraber kullanılır. Kullanılan yöntemler arasındaki en belirgin fark risk karar değişkenlerinin belirlenme ve hesaplanma farklılıklarıdır. Kullanılan risk karar değişkenleri en azından aşağıdakilerden bir veya birkaçını kapsamaktadır [12]:

- Varlığın değeri,
- Zafiyetin kötü amaçlı kullanıma olasılığı,
- Etki seviyesi

Nicel tekniklerden en yaygınları, dördüncü bölümde açıklanacak olan Yıllık Kayıp Beklentisi metriği, Courtney, Livermore Risk Analizi Metodolojisi (LRAM), ISRAM (Information Security Risk Analysis Method), Stokastik Baskınlık tekniği, Hata Modları ve Etki Analizi (Failure Modes and Effects Analysis-FMEA) yöntemleridir [13]. Bu tekniklerin güçlü yanı işletmelere zafiyet altında olan varlıklarını ve değerlerini belirlemeye ve bu varlıkları korumak için gerekli olan tedbirleri almaya zorlamasıdır. Zayıf yanı ise bu değerlerin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan fazla zaman ve işgücü gibi zorluklar ve belirsizliklerdir [6].

Nicel yöntemlerle birlikte kullanılan, risklerin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan teknikler Tablo 1'de gösterilmiştir:

Süreç Yaklaşımı	Faktör Yaklaşımı	Aktüeryal Yaklaşım
Sebep-Sonuç	Risk göstergeleri	Ampirik kayıp dağılımları
Bayesian İnanç Ağları		
Bulanık Mantık	Sermaye Varlık fiyatlandırma modeli (Capital Asset Pricing model –CAPM)	Geçmiş veri tabanı bilgileri kullanılan parametrik dağılımlar
İstatistik Kalite Kontrol ve Güvenilirlik Analizi		
Bağlantı Sistem Dinamikleri	Tahminsel modeller	Aşın-Değer Teorisi

Risk analizinde kullanılan nitel teknikler ise, senaryo analizi, beyin fırtınası, hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis-FTA), olay ağacı analizi (Event Tree Analysis-ETA), neden-sonuç analizi, olasılık ve etki matrisleri, kontrol listeleri, bulanık metrikler, uzman görüşlerine başvuru görüşme ve anket yöntemleridir [6,15]. Bu yöntemlerin zayıf yanı uzman personelinin öznel görüşlerinden faydalanılarak belirlenen risklerin genellikle düşük, orta, yüksek vb. sayısal olmayan değerlendirmeler içermesidir. Genellikle bu tür yöntemlerin kullanılması esnasında ortaya çıkan farklı algılar ve riskler arasındaki bağlantılar, fayda maliyet analizlerinde kullanılabilirlik amacıyla oluşturulan risk matrislerinin hazırlanmasını daha da karmaşıklaştırmakta, hatta imkânsız kılabilir [16].

Günümüzde yaygın olarak bilinen ve ticari yazılımıyla beraber kullanılan nitel yöntemlerden birisi CRAMM (United Kingdom Central Computer and Telecommunication Agency's (CCTA) Risk Analysis and Management Method)'dir. Yöntem, BS7799 standardı ile ve ITSEC ile tam uyumludur [17]. Nitel yöntemleri kullanan bir diğer yazılım Cobra (Consultative, Objective and Bi-functional Risk Analysis)'dir. Bu yöntem de CRAMM gibi ISO 17799 uygunluğunu ölçebilmektedir. Varlıklar, tehditler ve zayıflıklar arasındaki ilişkileri ve riskin bulunduğu ortam arasındaki bağlantıları göstermek için görsel diyagramlar (UML) kullanan bir diğer nitel yöntem ise CORAS (Construct a platform for Risk Analysis of Security Critical Systems)'dir [18]. OCTAVE (The Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation) da yaygın olarak bilinen ve kullanılan bir başka nitel risk değerlendirmesi modeli ve aracıdır [19].

Nitel ve nicel risk analiz yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte ifade edildiği karşılaştırmalı analiz Tablo 2 ve Tablo 3'de görülmektedir. Nitel yöntemler, genellikle uzman değerlendirmelerine dayandığından uygulaması daha basit olmaktadır. Nicel değerlendirmeler ise risklere özgü çoğu zaman ulaşılması zor istatistikî verilere ihtiyaç duymakta, ancak kaliteli verinin bulunması durumunda uygulanabildiği takdirde gerçeğe daha yakın sonuçlar verebilmektedir.

**Tablo 1.** Risk Sayısallaştırma Teknikleri [14].

**Tablo 2.** Nitel ve Nicel Risk Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi - Avantajlar [19].

Nicel Risk Analizi/Değerlendirmesi	Nitel Risk Analizi/Değerlendirmesi
Ölçütler, hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar; nesnel, somut, bağımsız gözlemlerden elde edilen istatistiksel verilere dayanır.	Hesaplamalar basittir.
Bilgi varlıklarının parasal değerleri ve risk yaklaşımı kavramları çok ayrıntılı ve belirgindir.	Bilgi varlıklarının ve risklerin parasal değerlerini bilmeye veya ölçmeye gerek yoktur.
Güvenlik çözümlerinin zarar analizini yapma, üst yönetimin; güvenlik yatırımlarının verimliliğini irdeleme olanağı vardır.	Tehditlerin yoğunluğunu sayısal olarak ölçerek belirlemeye gerek yoktur.
Üst yönetimi tatmin edecek şekilde tüm bilgiler ve tüm sonuçlar parasal ve gerçek sayılarla ortaya konabilir.	Teknik bilgi becerisi yetersiz olan veya güvenlik konusunda bilgisi olmayan kişiler de risk değerlendirme sürecine katkı yapabilir.
Otomatik bir süreç biçimine getirilebilir.	Raporlama, sonuçları değerlendirme ve iş süreçleri ile bütünleştirmede esnekler. İstatistiksel verilere gerek duymaz. Parasal değerlerin ölçülemediği veya ön bilginin hiç olmadığı koşullarda da kullanılabilir.

Aktaş ve Soğukpınar, risk analiz ve değerlendirme için uygun yöntem seçimi amacıyla bir yaklaşım önermiş, önerdikleri yaklaşımı dört adet risk analizi yöntemi üzerinde test ederek sonuçları yorumlamıştır [18].

Nitel ve nicel tekniklerin beraber olarak kullanıldığı karma yöntemlere örnek olarak, Countermeasures Inc., şirketi tarafından geliştirilen The Buddy System risk analiz aracı verilebilir [17].

Siber güvenlik risk yönetimi, bilgi varlıklarının bütünlük, gizlilik ve erişilebilirlik niteliklerini tehdit eden risklerin gerçekleşme olasılığının ortadan kaldırılması veya azaltılması sürecidir. ISO/IEC 27005,

kurumların bilgi güvenliği risklerini değerlendirmek amacıyla genel bir çerçeve sunmakta, bilgi güvenliği risklerinin tanımlanması, adlandırılması, gruplanması, analizi, değerlendirilmesi, hesaplanması, ölçümü ve işlenmesine ilişkin adımları belirlemekte, bilgi güvenliği risklerinin sürekli ve güncel şekilde izlenmesi, denetimi ve yönetimine ilişkin kuralları ve yöntemleri tanımlamaktadır.

ISO 27005'e ilave olarak ABD Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün NIST 800-30, ISACA'nın RiskIT gibi bilinen diğer metodolojiler de işletmelere bilgi güvenliği risklerinin tanımlamaları, analiz ederek yönetebilmeleri amacıyla rehberlik sunmaktadır.

Her bir bilgi varlığına yönelik riskin ölçülmesinden sonra uygulanan risk yönetim metodolojisi kapsamında, riskten kaçınmak, riski devretmek, riski azaltmak ve riski kabul etmek alternatifleri arasından biri seçilerek uygulanır. Gerçekleşme olasılığı ve ekonomik değeri düşük bilgi varlığı riskleri için riskin kabullenilmesi seçilebileceği gibi, bazı durumlarda riskin transferi, diğer bir deyişle, işletme dışında bir unsurla paylaşılması (örneğin siber güvenlik sigortası yaptırmak) söz konusu olabilir.

**Tablo 3.** Nitel ve Nicel Risk Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi - Avantajlar – Dezavantajlar [19].

Nicel Risk Analizi/Değerlendirmesi	Nitel Risk Analizi/Değerlendirmesi
Hesaplamalar karmaşıktır.	Özellik ve taraflı yargıda bulunma sorunu vardır.
Genelde, ilgili bir bilgi bankasıyla ve uygun araçlarla birlikte kullanılırsa başarılı sonuç verebilir. Çok fazla sayıda ön çalışmaya ve ön bilgiye gerek duyulur.	Bilgi varlıklarının gerçek parasal değerlerini sürece katma olanağı kısıtlıdır. Güvenlik çözümlerinin kar-zarar analizini yapma olanağı yoktur.
Üst yönetime veya uzman olmayan kişilere sunulacak kadar yalınlaştırılması çok zordur.	Tahmine dayalı olduğu için başarılı kestirimler yapılması zorunludur.
Risk değerlendirme sürecine katılan kişilerin yönlendirilmesi zor ve karmaşık bir işlemdir.	Otomatik bir biçime gelmesi çok zordur, otomasyona elverişliliği düşüktür.
Risk değerlendirme süreci sırasında karar değiştirmek çok zor ve zahmetlidir.	
Kapsam dışı bırakılan riskleri sonradan hesaba katmak genelde çok	

zordur.

ABD’de 2013 yılı itibariyle siber-sigorta hizmeti sağlayan otuzun üzerinde sigorta şirketi olduğu, mevcut sigorta primlerinin genellikle 10 bin dolar ile 25 bin dolar arasında olmakla birlikte kapsama durumuna göre 50 milyon dolara kadar çıkabildiği [20], poliçe kapsamalarının birbirlerinden farklılık gösterdiği belirtilmiştir [15]. Riskin transferi amacıyla siber güvenlik sigortası kullanılmasının, hem akademisyenler hem de uygulayıcılar tarafından önerildiği, sigorta primlerinin hesaplanabilmesine yönelik ise farklı yaklaşımlar tavsiye edildiği görülmektedir [21-24]. Siber sigorta uygulamasının, birbirine bağımlı sistemlerde gereğinden az yatırım yapılması problemine karşı potansiyel bir çözüm olarak da düşünüldüğü belirtilmiştir [20].

Herath ve diğerleri, Tablo 1’de görülen aktüeryal bir yaklaşım ile ilişki (copula) tabanlı bir siber sigorta risk modeli ve fiyatlandırması yöntemi önermişlerdir [22]. Geçmiş yılların virüs maliyetleri kullanılarak oluşturulan modelin zayıf tarafı, yazarlarca da belirtildiği üzere, istatistikî olarak geçmiş saldırı ve maliyet bilgilerinin kullanılmasına olan bağımlılıktır ki, bu tür bilgilerin bulunmasındaki zorluklar pek çok çalışmada dile getirilmiştir [22,25,26,27].

Bandyopadhyay, siber güvenlik risklerinin indirgeme ve transferi amacıyla siber sigorta kullanımını incelemiş, sonraki çalışmalar için deneysel analizlerin yapılmasını önermiştir [28].

Jourdan, bilgi güvenliği uzmanlarıyla yaptığı görüşmelerden faydalanarak bilgi güvenliği risk analizi süreçlerini incelemiş, sonuç olarak risk analizi süreçlerinin dinamiklerini daha iyi anlamak ve uygulamalarını iyileştirmek yönündeki akademik çalışmaların devamını önermiştir [15].

Wang, aşırı değer teorisi ile riske maruz değer (Value at Risk) yöntemini kullanarak risklerin belirlenmesi, ölçülmesi ve yatırımların fayda-maliyetinin artırılması üzerine bir yaklaşım önermişlerdir [29]. Claunch ve McMillan, son yıllarda siber saldırılardan kaynaklanan kayıp maliyetlerinin, tıp sektörü için 2010-2011 döneminde %10 olan genel sektör ortalamasının %32 oranında artış gösterdiği istatistiğine dikkat çekerek, Wyoming Tıp Merkezi’nde gerçekleştirdikleri vaka çalışmasında işletmenin tüm varlıklarını kapsayan bir risk analizi yaklaşımıyla, ilgili tıp merkezinin optimum siber güvenlik yatırımıyla, güvenlik seviyesini önemli derecede artırabildiğini belirtmiştir [30].

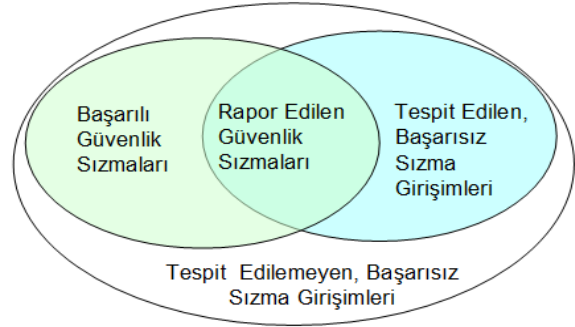
#### 4. GÜVENLİK SALDIRILARININ MALİYET VE ETKİLERİNİN ÖLÇÜLMESİ (MEASUREMENT OF COST AND IMPACT OF SECURITY ATTACKS)

Thomas ve diğerleri, siber güvenlik saldırılarının maliyet ve etkilerinin ölçülmesindeki problemlerin; saldırı bilgilerini paylaşmama eğilimi, saldırı sonuç ve

maliyetlerinin sağlıklı ölçülememesi, soyut varlıkların değerlemesindeki zorluklar, yanlış tahminler, orantısız sonuçlar, belirsizlik, bilgi yetersizliği, saldırı analizlerinde işletme içi birimlerin farklı ilgi, algı ve çıkarları ile kutuplaşmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir [31].

Güvenlik saldırılarının maliyet ve etkilerinin ölçülmesi konusundaki bir diğer problem ise, saldırıların tespit edilebilmesindeki yetersizliklerdir. Örneğin APT saldırılarının, tespit edilmeyi önleyerek uzun süre ağda kalıp dışarıya yüksek değerli bilgi sızdırmayı sağlayabildiği, amacına ulaştıktan sonra kendini temizleyerek geride saldırıya yönelik iz bırakmadığı geçmiş saldırı analizlerinin sonucunda ortaya çıkmıştır [32,33]. Bunun dışında eğitim yetersizliği, zayıf güvenlik altyapısı, güvenlik ürünlerinin uygun yapılandırılmaması gibi sebeplerle de saldırılar çoğu zaman tespit edilememektedir.

Soo Hoo çalışmasında, Şekil 2’de görüldüğü üzere sızma girişimlerini birbiriyle örtüşebilen dört kümeye ayırmış, tespit edilen ve rapor edilen sızmaların ölçülebildiğini belirterek tespit edilemeyen başarılı ve başarısız sızma girişimlerinin görece oranlarının yüksek derecede belirsiz olduğunu ifade etmiştir [26].



Şekil 2. Sızma Girişimi Kümeleri [26].

Güvenlik saldırılarının işletmeye olan maliyet ve etkileri finansal, operasyonel, müşteriler ve çalışanlar ile ilgili somut ya da soyut etkilere yönelik doğrudan, dolaylı ya da fırsat maliyetlerini kapsamaktadır [9,34,35]. İngiltere Bilgi Güvenliği Forumu (Information Security Forum, ISF), bir güvenlik saldırısının işletmeye olan maliyet ve etkilerini aşağıdaki şekilde kategorize etmektedir [34]:

- Finansal etkisi
  - Satış, sipariş veya yeni sözleşme kayıpları
  - Somut varlıkların kayıpları
  - Cezalar, hukuki sorumluluklar
  - Öngörülmemen maliyetler
  - İşletmenin düşen hisse değeri
- Operasyonel etkisi
  - Yönetim kontrolünün kaybı
  - Rekabetçiliğin kaybı
  - Yeni girişimlerin beklemeye alınması
  - Uygulamada olan iş standartlarının ifşa edilmesi
- Müşteriler ile ilgili etkiler

- Geciken teslimatlar
- Müşteri kayıpları
- Güven kaybı
- İşletme ününe gelen zarar
- Çalışanlar ile ilgili etkiler
  - Çalışanların moral durumunda ve verimliliğinde düşüş
  - Yaralanma veya ölüm.

Yukarıda belirtilen olumsuz etkilerin tespit edilebilmesi genellikle iş etki analizi yöntemiyle gerçekleştirilir [6]. Ancak risklerin ölçülmesinde bulunan problemler gibi, güvenlik saldırılarına ilişkin, rakamlarla ifade edilemeyen soyut etkilerin ve bu etkilerin seviyelerinin belirlenmesinde de problemler bulunmaktadır. Bu tür etkilerin boyutları, değerlendirme puanlaması gibi öznel yöntemlerle belirlenebilmekte [6]; ancak, ulaşılan sonuçların üzerinde sayısal analiz yapılarak, bu analiz sonuçlarına göre karar verebilecek doğrulukta olup olmadığı konusunda tereddütler yaşanmaktadır [36]. Literatürde, dolaylı maliyetlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar, genellikle saldırı açıklanma bilgileri ile hisse senedi değerleri arasındaki ilişkilerin incelemesi üzerine olmaktadır.

Çavuşoğlu ve diğerleri, pazar değerlendirme tabanlı bir yaklaşımla, sızmaya maruz kalan işletmelerin piyasa değerinin açıklanmasının ilk iki günü içinde ortalama %2,1 kayba uğradığı, buna paralel olarak da bilgi güvenliği firmalarının ise aynı dönemde ortalama %1,36 değer kazandığını gözlemlemişlerdir [37].

Hovav ve D'Arcy, virüs ve hizmet dışı bırakma saldırılarına maruz kalan işletmelerin hisse senetlerinin borsadaki durumunu incelemiş, olayların açıklanmasının ardından bahse konu işletmelerin borsa senetlerinin değer kaybına uğradığını gözlemlemişlerdir [2] ve [38]. Ayrıca, saldırıların türüne göre etkilerin de farklı olduğu görülmektedir. Campbell ve diğerleri, yaptıkları deneysel çalışmada, halka açıklanan sızmalardan gizli bilginin ifşası özelliğinde olanların, işletmenin piyasa değerine negatif etkisini tespit ederken, yine halka açıklanan ancak gizli bilginin ifşa edilmediği sızmalara borsanın ve piyasanın aynı negatif etkiyi vermediğini gözlemlemişlerdir [39].

Gordon ve diğerleri, 2011 tarihli çalışmalarında, 1995-2007 arasındaki dönemde siber saldırıların işletmelerin hisse senetleri üzerindeki etkilerini incelemişler, saldırılar ile hisse senet değerleri arasındaki ters yönlü etkileşimin yüksek olduğunu, saldırıların bilgi güvenliğinin gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik kriterlerine göre sınıflandırılması durumunda, hisse senetleri üzerindeki en fazla olumsuz etkinin erişilebilirliği hedef alan saldırılar olduğunu tespit etmişlerdir [40].

Telang ve Wattal, yazılım sektöründe faaliyet gösteren üretici şirketler üzerine yaptığı çalışmada, yazılım zafiyetlerine ilişkin haberlerin medyada çıktığı gün, şirketlerin piyasa değerlerinin % 0.63 düştüğünü, yazılım zafiyetinin türüne göre etkinin de farklı olduğunu tespit etmişlerdir [41].

Wang, medyada çıkan sızma haberleriyle işletmelerin hisse senedi değerleri arasındaki ilişkiyi incelemiş, Campbell'ın çalışmasının sonuçlarıyla uyumlu olarak genel saldırı ve sızma haberlerinin farklı etkilere yol açtığı, ancak gizli bilgi içeren belirli sızma haberlerinin piyasada firmanın gelecekteki başarısı üzerinde daha negatif etkiye yol açtığını tespit etmiştir [42].

Conrad, zafiyetler, sızma sıklığı, kayıp maliyet tahminleri gibi güvenlik modeli parametreleri kapsamına belirsizliği de katabilmek için Monte Carlo simülasyonu yöntemini kullanmıştır [9,43].

İşletmelerin genel eğilimi, kötü reklâm olabileceği ve sektördeki konumuna zarar verebileceği düşüncesiyle maruz kaldıkları siber güvenlik saldırıları ve beraberinde gerçekleşen kayıplara ilişkin bilgileri paylaşmama yönündedir [26,28,31,44]. Bu sebeple pek çok makalede deneysel analizlerin artması gerektiğine işaret edilmekte, genellikle çalışmalarda ABD'de düzenli olarak yapılmakta olan ve çeşitli sektörlerden çok sayıda işletmenin katıldığı veri toplama çalışma sonuçlarından faydalandığı görülmektedir [6,35].

Gerçekleşen sızmaların kayıp maliyetlerine yönelik istatistikî veri sağlayan bu tür çalışmaların en yaygın örnekleri, CSI/FBI, Ponemon Enstitüleri ile Verizon'un yıllık yayınlanan raporlarıdır. Bu raporlarda, çalışmaya katılan işletmeler kapsamında, sektör bazlı saldırı türleri, saldırıların gerçekleşme sıklıkları ve saldırılardan kaynaklanan kayıp maliyetleri, kullanılan teknolojiler, uygulanan standartlar gibi çeşitli istatistikî veriler sunulmaktadır [3,4,36,45,47]. Örneğin, Ponemon Enstitüsü'nün 2014 yılı Mayıs ayında yayınladığı küresel veri sızma araştırması raporunda, araştırmaya katılan işletmelerin işletme başına ortalama kayıp maliyetlerinin bir önceki yıla oranla %15 artarak 3,5 milyon dolara çıktığı belirtilmektedir [46].

Hoo [46], sızma olaylarının sıklığı ve sonuçların etkilerinin sağlıklı şekilde ölçülmesi amacıyla sonraki çalışmalar için;

- Risk yönetimi faaliyetini destekleyici bilgi güvenliği istatistiklerinin toplanmasına yönelik metrik ve araçların geliştirilmesi,

- Saldırı paternlerinin ve saldırganların davranışlarının gözlemlenmesi amacıyla bilgisayar ağlarının simüle edildiği yazılım araçlarının geliştirilmesi gerektiğini önermiştir [26].

## 5. GÜVENLİK TEKNOLOJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ (MEASUREMENT OF EFFECTIVENESS OF SECURITY TECHNOLOGIES)

Normal şartlarda, güvenlik teknolojilerinin fayda ve etkinliği, fayda-maliyet analizi yöntemleri ile ölçülebilir. Faydaları, korudukları bilgi varlıklarının değerleri ve indirgedikleri riskin derecesi ile, maliyetleri ise yazılım/teçhizatın tedarik maliyeti, kurulum, eğitim ve bakım-idame maliyetlerini kapsayan toplam sahiplik maliyetleri ile ölçülebilir. Ancak, seçilen güvenlik

teknolojilerinin etkinliğinin ölçülmesi hususunda problemler mevcuttur [35]. Laboratuvar ortamında yapılan etkinlik testlerinde toplam saldırılardan ne kadarının önlenildiğine yönelik yüzdesel değerler elde edilebilmekte ancak, gerçek şartlarda saldırı girişimlerinin tamamının sayısının belirlenememesi sebepleriyle teknolojilerin toplam saldırıların yüzde kaçını önleyebildiğinin tespiti mümkün olmamaktadır [26]. Kullanılan güvenlik teknolojilerini etkinlikleri açısından birbirleriyle kıyaslamak için mevcut formal bir metodoloji de bulunmamaktadır. Zorluklar, saldırgan profilinin ve işletmenin güvenlik politikasına uyum durumunun tahmin edilmesindeki belirsizliklerin ölçülmemesinden kaynaklanmaktadır [9].

Güvenlik teknolojilerinin etkinliği, o teknolojinin ilgili riski ne kadar azaltmakta olduğunun değerlendirilmesi ile de ölçülür [9,26]. Riskin azaltılması ise, riskin tamamen önlenmesi veya gerçekleşme olasılığının azaltılmasıdır. Güvenlik teknolojilerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde, mevcut olması durumunda test ortamlarında gerçekleştirilen ürün deneme çalışma sonuçları ve geçmişte gerçekleşen olaylara ait istatistikî veriler kullanılabilir, bu tür tarihi verinin mevcut olmaması durumunda ise güvenlik teknolojilerinin etkinliğinin tahmin edilmesi için uzman görüşlerinden, işletmenin bilgi güvenliği uzman personelinden faydalanılabilir. Butler, uzman görüşlerinin varsayım ve tahminlerinin, alınan kararlara ne kadar duyarlı olduğunun belirlenebilmesi için duyarlılık analizi yapılmasının doğru yaklaşım olduğunu belirtmiştir [47]. Diğer bir konu ise, güvenlik teknolojilerinin birbirinden bağımsız olarak çalışmaması sebebiyle etkinliklerinin de bağımsız ölçülmemesi gerektiği [27], dolayısıyla birden fazla güvenlik teknolojisinin kullanılması durumundaki etkileşimin ölçülmesidir. Belirlenen risk için kullanılacak birden fazla teknolojinin riski ne kadar azaltacağı, toplam faydanın, ilgili teknolojinin tek tek kullanıldığında alınacak faydadan büyük olup olmayacağı konularının da incelenmesi gerekmektedir [3,47].

Yatırım yapılan güvenlik teknolojileri kullanılarak oluşturulan güvenlik sistemi altyapısının teknik açıdan etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla ise zafiyet tarama, sızma testleri vb. amaçlı çok sayıda ürün rafta hazır şekilde bulunmaktadır. Ayrıca bu amaçla işletmeler, gerek iç denetimler gerekse de dış kaynak kullanımıyla danışman şirketlerin denetlemesi yöntemine de başvurumaktadırlar; ancak, bu yaklaşım sistemin geneline ilişkin değerlendirme olup, siber güvenlik teknolojilerinin bireysel olarak değerlendirilmesi konusunda yardımcı olamamaktadır.

Gordon ve diğerleri, siber güvenlik denetimlerinin arttığına işaret ederek, denetimlerin siber güvenlik risklerinin indirgenmesinde ve yatırım kararlarında iyileştirmeler yapabildiğini belirtmiştir [48].

## 6. GÜVENLİK YATIRIMLARININ OPTİMUM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

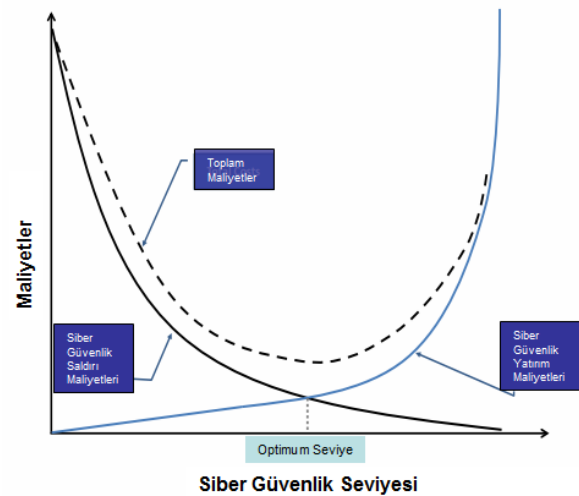
### (IDENTIFICATION OF OPTIMUM LEVEL OF SECURITY INVESTMENTS)

Rodewald, siber güvenlik yatırımlarına ilişkin iki ön kural belirlemiştir. Birincisi, tek başına hiçbir güvenlik kontrolünün belirli bir riski tamamıyla ortadan kaldıramayacağı, ikincisi ise her bir güvenlik kontrolünün bir maliyeti bulunduğu [49]. Bu iki kurala, risklerin yüzde yüz gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin bilinmeyeceği gerçeği de eklenince, bir işletme için hangi güvenlik teknolojilerinin yatırıma değer olduğu ve güvenlik için ne kadar yatırım yapılması gerektiği soruları önem kazanmaktadır [6].

Şekil 3'e bakıldığında mavi çizgiyle gösterilen siber güvenlik yatırımları arttıkça siyah çizgi ile gösterilen olası saldırı maliyetlerinin azaldığı görülmekle, ancak optimum seviye olarak gösterilen belirli bir noktadan sonra yapılan siber güvenlik yatırımlarının saldırı maliyetlerini aynı oranda düşüremediği, dolayısıyla kesikli çizgi ile gösterilen toplam maliyetlerin arttığı görülmektedir [50]. Bu nedenle siber güvenlik yatırımlarının işletme risklerinin de minimizasyonu hedeflenerek [51], bütçe, güvenlik öncelikleri gibi kısıtlar da dikkate alınmak suretiyle yatırımların optimum seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir.

Crume, bilgi güvenliğinin ilk kuralını, bir varlığı korumak için değerinden fazla yatırım yapmama gerekliliği olarak tanımlamıştır [52]. Bu nedenle, yapılması gereken yatırım seviyesinin belirlenebilmesi için işletmenin sahip olduğu bilgi varlıklarının değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Poore, bilgi varlıklarının değerlerinin belirlenmesi aşamasında rehber olarak kullanılacak öneriler sunmuştur [53].

Güvenlik yatırımlarının analizi ve optimum yatırım seviyesinin belirlenebilmesi için önceki bölümlerde belirtilen risk, saldırı ve teknoloji etkinlik ölçümlerinin sonuçlarından faydalanılır ve yatırım kararları alınır.



Şekil 3. Siber Güvenlik Yatırımları Olurluk İncelemesi [50].

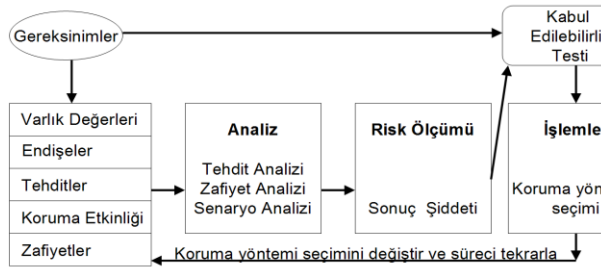


Literatürde bu alanda kullanılan üç genel yaklaşım bulunmaktadır [9] :

- Karar Analizi Çerçevesi
- Oyun Teorisi
- Reel Opsiyonlar Teorisi.

### 6.1. Karar Analizi Çerçevesi (Decision Analysis Framework)

Bu yaklaşımın temelleri 1980’li yılların ortasında ABD Ulusal Standartlar Bürosu ve ABD Ulusal Bilgisayar Güvenlik Merkezi’nin önderliğinde gerçekleştirilen bir dizi bilgi güvenliği risk yönetim modelleme çalışmaya dayanmakta olup, ortaya çıkan birinci nesil siber güvenlik risk yönetim modellerinin en temeli Şekil 4’de görülen Ortak Çerçeve olmuştur [26].



Şekil 4. Ortak Çerçeve Süreç Diyagramı [26].

Ortak Çerçeve; Gereksinimler, Varlıklar, Güvenlik Endişeleri, Tehditler, Koruma Yöntemleri, Zafiyetler ve Sonuçlar olmak üzere yedi temel bileşenin tekrarlamalı bir süreç içerisinde analizini önermektedir. Ortak çerçevenin uygulama karmaşıklığı ve kaliteli verinin bulunamaması zorluklarının aşılabilmesi amacıyla, Entegre İş Risk Yönetim Çerçevesi, Değerleme-tabanlı metodolojiler, Senaryo Analizi Yaklaşımları ve En İyi Uygulamalar olmak üzere dört genel başlık altında ikinci nesil siber güvenlik risk yönetim modelleri ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar, her ne kadar veriyeye bağımlılık problemini kısmen aşmış olsalar da daha çok iş süreçlerine ve organizasyonel dinamiklere yoğunlaşmış, özellikle belirsizlik problemlerini aşamamıştır. 2000’li yıllardan itibaren yapılan pek çok çalışmada atıfta bulunulan Soo Hoo, belirsizlikleri de içine alan karar analizi ve risk yönetimi tabanlı bir model önerisinde bulunmuştur [26].

Gordon ve Loeb, optimum yatırım seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılan yatırımın marjinal faydasının marjinal maliyete eşitlenme prensibine dayalı bir ekonomik model önermiş, bir işletmenin sahip olduğu varlıkların değerinin %36,8’inin optimum yatırım seviyesi olduğu sonucuna varmışlardır [54]. Willemson ise, Gordon ve Loeb tarafından önerilen model üzerinde düzeltmeler yapılarak, yapılan hesaplamalarda optimum seviyenin varlık değerlerinin %50’sine çıkması gerekebileceğini iddia etmiştir [55].

Mercuri, fayda maliyet analizinin, açık anahtar kriptografisi, ağ sızma tespit sistemleri vb. sistemlerin değerlendirilmesinde kullanılabildiğini belirtmiştir [16]. Xie ve Mead, fayda-maliyet analizi yöntemiyle küçük işletmelerin bilgi güvenliklerinin geliştirilmesine yardımcı olacak tahmin metodolojisi geliştirmiştir [56]. Bodin ve diğerleri tarafından, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak çok ölçütlü bir karar verme modeli önerisi yapılmış [57], ancak karar seçimi alternatiflerinin belirlenmesi üzerinde durulmamıştır. Aynı yazarlar sonraki çalışmalarında önerdikleri AHP yaklaşımını risk metrikleriyle birleştirerek yatırım alternatiflerinin sıralanmasına yönelik bir model önermişlerdir [20].

Rue ve diğerleri tarafından ise farklı siber güvenlik yatırım modellerin analiz edilerek karşılaştırıldığı bir çerçeve model önerisi yapılmıştır, sonraki çalışmalar için, istatistikî verilerin bu karar modelinde uygulanan değerlendirme sürecine dâhil edilmesini önermişlerdir [35].

Behara ve diğerleri, sistem dinamikleri yaklaşımını kullanarak siber saldırı sürecinde yapılan yatırımların analizi için bir karşılaştırma ve analiz modeli önermişlerdir [58]. Ionnidis ve diğerleri, fayda teorisini kullanarak siber güvenlik yatırımlarının doğru zamanlamasının belirlenmesi konusunda çalışmışlardır [59]. Chai ve diğerleri, güvenlik teknolojilerinin dolaylı getirisinin belirlenmesi kapsamında 1997-2006 yılları arasındaki ABD borsa verilerini temel alarak yaptıkları çalışmada, siber güvenlik yatırımı yaptıklarına dair medyada çıkan haberler sonrasında işletmelerin borsa değerlerinde aşırı yükselme olduğunu kaydetmişlerdir [60].

### 6.2. Oyun Teorisi (Game Theory)

Sosyo-ekonomik değişkenleri içinde barındıran, ekonomik kararların alınmasında, karşılıklı etkileşimle optimal karar vermeye yönelik bir yaklaşım olan modern oyun teorisinin temelleri 1928 yılında John Von Neumann tarafından atılmıştır. Oyun teorisinde bir diğer önemli çalışma 1950 yılında John Nash tarafından gerçekleştirilen “Nash dengesi” teorisi olmuştur [61].

Oyun teorisinin siber güvenlik yatırımlarının değerlendirilmesindeki uygulamaları kapsamında; saldırganların stratejileri arasındaki etkileşim ve sızma başarısının artırılması, karşı tarafta ise işletmenin kazancının maksimize edilmesi amacıyla yapılan yatırımların sonucunda saldırıların engellenmesi, sistemdeki zafiyetlerin azaltılması ile saldırganlar üzerinde caydırıcılık etkisi vb. etkiler incelenmektedir [62].

Alpcan, işletmenin bölümler arası güvenlik ve bilgi teknolojileri risklerini optimum yatırımlarla indirgeyebilmeleri için dinamik teşvik mekanizmaları geliştirme konusundaki çalışmasında, oyun teorisini kullanmıştır [63]. Huan, oyun teorisi ile öğrenme teorisini birleştirmiş, oyun teorisinde genellikle ele alınmadığını iddia ettiği zaman unsurunu da dikkate alan stokastik bir oyun modeli önererek yatırımların

optimum seviyesinin belirlenmesi konusunda çalışmıştır [64].

Çavuşoğlu, oyun teorisi tabanlı bir yaklaşım kullanarak güvenlik yatırımlarını değerlendirme ve farklı faktörlerin yatırımlar üzerindeki etkisini inceleme amaçlı bir model önermişlerdir [65]. Grossklags, toplam çaba, en zayıf link, en iyi savunma, en zayıf hedef tiplerinden oluşan güvenlik oyunlarıyla siber güvenlik ve yatırım türleri ilişkilerinin ekonomik analizini yapmıştır [66]. Bommannavar ve diğerleri, saldırganlar ile koruyanlar arasındaki etkileşimi modellemek amacıyla sıfır toplamlı bir güvenlik oyunu tasarlamış, oyun teorisini, pekiştirmeli öğrenme ve markov modeli ile birleştirmek suretiyle karar vericilere yardımcı olacak nicel bir risk yönetimi çerçevesi önermişlerdir [67].

Zeshuang ve Jing, oyun teorisi ile işletmelerin siber güvenlik yatırım kararlarını analiz etmişlerdir [62]. Liu ve diğerleri, bu yaklaşımla, iki işletmenin bilgi güvenliğine ilişkin bilgi paylaşımı ve yatırım kararlarına ilişkin eğilimlerini incelemiştir [68]. Naghizadeh ve Liu, oyun teorisini kullanarak kullanıcıların, siber sigorta tercihlerini analiz etmiştir [69]. Gao ve diğerleri, bu yaklaşımla tüketim modellerinden Cournot ve Bertrams modellerini siber güvenlik yatırım kararlarının analizi amacıyla kıyaslamıştır [70]. Ashok ve diğerleri, enerji sektörüne yönelik kritik altyapıların geniş alan ağında izleme, koruma ve kontrolünün sağlanması amacıyla siber güvenliğinin belirlenmesinde oyun teorisi yaklaşımını kullanmışlardır [71].

### 6.3. Reel Opsiyonlar Teorisi (Real Options Theory)

Proje ortamındaki değişimlere tepki gösterme yeteneği olarak bilinen “reel opsiyon”, finansal opsiyon teorisinin, yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve firma stratejisinin belirlenmesi gibi finansal olmayan, diğer deyişle reel alanlara uyarlanmış halidir [72]. İşletme varlıklarının değerlendirilmesinde kullanılan bu teorisinin [73] diğer önemli faydası belirsizlikler altında verilmesi gereken yönetsel yatırım kararları sürecine, esnekliği dâhil etmesidir [74]. Bu sayede yatırım kararının ertelenmesi, beklenenden önce veya sonra sona erdirilmesi, küçültülmesi veya genişletilmesi gibi durumları karar vericilere seçenek olarak sunabilmektedir [72].

Gordon ve diğerleri, siber güvenlik yatırımları için uygulanan bekle-gör politikasını ve saldırıların gerçekleşme sayısının artmasıyla orantılı olarak siber güvenliğe daha fazla yatırım yapıldığı düşüncesini bu yaklaşımı kullanarak açıklamışlardır [75]. Tatsumi ve Goto, Gordon modelinden yola çıkarak, reel opsiyonlar yöntemiyle ne kadar ve ne zaman yatırım yapılması gerektiği sorularına cevap aramıştır [76]. Daneva ise önerdiği karar destek modelinde, belirlediği reel opsiyonların karar verme sürecinde gerekli esnekliği sağladığını iddia etmiştir [77]. Herath ve Herath, yığın e-posta üzerine gerçek verilerin kullanıldığı çalışmalarında reel opsiyonlar teorisi ile Bayes teoremi

istatistikleri ve analizler sonrası öğrenmeyi içeren bir model önermişlerdir [78].

### 6.4. Kullanılan Metrik ve Yöntemler (Metrics and Methods Used)

Genel anlamda yatırımların ekonomikliğinin tespit edilmesi ya da yatırım projelerinin değerlendirilmesi maksadıyla kullanılan genel kabul görmüş yöntemleri, paranın zaman değerini dikkate alan ve almayan yöntemler şeklinde sınıflandırılmak mümkün olup, bu yöntemler aşağıda gösterilmiştir.

- Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Yöntemler:
  - Net Bugünkü Değer Yöntemi
  - İç Kar Oranı Yöntemi
  - Eşdeğer Maliyet Yöntemi
  - İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi.
- Paranın Zaman Değerini Dikkate Almayan Yöntemler:
  - Basit Karlılık Oranları
  - Geri Ödeme Süresi Yöntemi
  - Nakit Girişinin Yatırım Maliyetlerine Oranı Yöntemi
  - Net Karın Yatırım Maliyetlerine Oranı Yöntemi
  - En Düşük Ortalama Maliyet Yöntemi
  - Kara Geçiş Analizi.

Siber güvenlik yatırımlarının analiz edilmesi amacıyla yaygınlaştıran kullanılan yöntemler ise paranın zaman değerini dikkate alan “Net Bugünkü Değer” ve “İç Kar Oranı” metrikleri ile, paranın zaman değerini dikkate almayan, fayda maliyet analizi tabanlı, nakit girişinin ya da net karın yatırım maliyetlerine oranının farklı formüllerle ifade edildiği “Güvenlik Yatırımının Geri Dönüşü” yöntemidir [9,16,45,54,79].

#### 6.4.1. Güvenlik Yatırımının Geri Dönüşü (Return on Security Investment-ROSI)

En basit anlamda bir yatırımın geri dönüşü, aşağıdaki formülün [80] sağında görüldüğü üzere, yapılan yatırımdan elde edilen faydanın yapılan yatırım tutarına bölünmesiyle hesaplanır. Bu basit anlatımda, siber güvenlik yatırımı tutarı, somut bir sayıyı ifade eder, ancak siber güvenlik yatırımının faydasının hesaplanması kolay olmamaktadır, çünkü örneğin tedarik edilen bir güvenlik duvarının işletmeye doğrudan getirisi olmadığından, beklenen fayda, risklerden kaynaklanabilecek kayıp maliyetlerini indirgeme ya da farklı tanımlamalarla hesaplanabilmektedir.

$$ROSI = \frac{R - ALE}{T} = \frac{S - T}{T} \quad (1)$$

Yukarıdaki formülde; R (recovery), bir yılda gerçekleşen saldırıların sebep olduğu kayıplardan

kurtarma maliyeti; S (savings), yatırım yapıldığında önlenen kayıplardan tasarruf maliyeti; T (tool), güvenlik teknolojisinin maliyeti; ALE ise daha önce de açıklandığı gibi yıllık kayıp beklentisidir.

Aşağıdaki formülde ise ROSI, risk indirgeme oranı ile ilişkilendirilerek hesaplanmaktadır [27].

ROSI = ((Risk tutarı x İndirgenen risk yüzdesi) – Güvenlik çözümünün maliyeti) / Güvenlik çözümünün maliyeti

#### 6.4.2. Net Bugünkü Değer (Net Present Value-NPV)

ROSI metriğinin öznel zayıflığına ilave olarak zaman özelliği de problem teşkil etmekte, bu zayıflıklar nedeniyle işletmeler, ROI ile NPV metriklerinin kullanımına yönelmektedirler. NPV, ilgili yatırım çözümünün getirdiği para akışını bulmak ve bu rakamı mevcut zamanın para değerine dönüştürmek suretiyle çalışır. Para akışı, hesaplanan tahmini maliyetler, maliyet tasarrufları ve karları da kapsayan gelirlere oluşmaktadır [9].

#### 6.4.3. İç Kar Oranı (Internal Rate of Return-IRR)

Bu metrik de, NPV metriğine benzer şekilde para akışının hesaplanmasına odaklanır, ancak NPV'den farkı IRR'de maliyet ve fayda arasındaki başa-baş noktasının bulunmasıdır [9].

Gordon ve Loeb, işletme içi yatırımların faydalarını, işletmenin diğer yatırımlarından ve faaliyetlerinden ayırt etmenin zorluğuna değinerek, gerçekleşen maliyet tasarrufları ile beklenen maliyet tasarruflarının karşılaştırıldığı gerek NPV gerekse de IRR metriklerinin yetersiz kaldıklarını belirtmişlerdir [54]. ROSI metriğinde olduğu gibi, NPV ve IRR metriklerinin hesaplanmasında da yatırım ve maliyetlere ilişkin faiz ve vergi unsurunun dikkate alınmamasının gerçek hayata uygun olmadığı, elde edilen değerlerin tam olarak gerçeği yansıtmayacağı belirtilmektedir [79].

#### 6.4.4. Yıllık Kayıp Beklentisi (Annual Loss Expectancy- ALE)

1979 yılında ABD Ulusal Standartlar Bürosu, "Otomatik Veri İşleme Risk Analizi Rehberi" isimli 65 numaralı Federal Bilgi İşleme Standardını yayımlayarak bilgisayar-tabanlı risklerin ölçümünde kullanılması amacıyla aşağıda açıklanan ALE metriğini önermiştir [26]:

$$ALE = \sum_{i=1}^n I(O_i) F_i \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde;

{O<sub>1</sub>, ... O<sub>n</sub>} = Maddi zararlı sonuçlanan saldırı olay seti

I(O<sub>i</sub>) = i olayının ABD doları cinsinden etkisi

F<sub>i</sub> = i olayının gerçekleşme sıklığı

Avrupa Ağ ve Bilgi Güvenliği Ajansı (European Network and Information Security Agency-ENISA) ise, ALE'yi benzer şekilde, Yıllık Gerçekleşme Oranı

(Annual Rate of Occurrence-ARO) ile Bir Olayın Kayıp Beklentisi (Single Loss Expectancy-SLE) değerlerinin çarpımı olarak tanımlamıştır [81].

ALE metriğinin ilgi çekici yanı, riske yönelik olasılık ve sonuç niteliklerini tek bir rakamla ifade edebilme yeteneğidir. Zayıf yanı ise, yüksek sıklığa sahip düşük etkili olaylar ile düşük sıklıklı yüksek etkili olayları birbirinden ayıramamasıdır [26]. Diğer bir eleştirilen tarafı, sadece doğrudan maliyetleri ele alması, örneğin üretimin aksamamasından kaynaklanan dolaylı maliyetlerin düşünülmemesidir [79]. ALE metriğinin pratikte uygulanmasındaki kritik unsur, saldırıların gerçekleşme sıklığı ve etkilerine yönelik deneysel verilere ihtiyaç duyulmasıdır ki çoğu zaman bu tür verilere kolay ulaşılamamaktadır; ancak, buna rağmen metrik, sağladığı fayda sebebiyle [16] yatırım kararlarına yönelik modellerde yaygınlıkla kullanılmaktadır.

## 7. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, siber güvenlik yatırım kararlarının verilmesi sürecinde uygulanabilecek yatırım stratejileri, siber güvenlik risklerinin belirlenmesi ve ölçülmesi, güvenlik saldırılarının maliyet ve etkisinin ölçülmesi, güvenlik teknolojilerinin etkinliğinin ölçülmesi ve güvenlik yatırımlarının optimum seviyesinin belirlenmesi konularında literatür incelemesi yapılmış, işletmelerin siber güvenlik yatırım kararlarını vermeleri için gerekli olan adımlara yönelik aşağıda belirtilen boşluklar tespit edilmiştir:

- Güvenlik olayları ile ilgili olarak risklerin belirlenerek ölçülebileceği "standart", genel kabul görmüş bir model bulunmamaktadır.

- Yatırım yapılan güvenlik teknolojilerinin, riskleri ne oranda indirgediğinin, risk yönetimi açısından ne kadar etkili olduklarının belirlenmesine yönelik "standart", genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır.

- Siber saldırıların kayıp maliyet hesaplamaları ile, yapılan güvenlik yatırımlarının işletmeye finansal açıdan faydalarının hesaplanmasında "standart", genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır.

- Kullanılan finansal metriklerin farklı formüllerle siber güvenliğe uygulanabildiği görülmekte, dolayısıyla bu konuda da üzerinde uzlaşılmış, genel kabul görmüş bir yöntem ortaya konulmadığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak çalışmada, siber güvenlik yatırımlarına yönelik farklı yaklaşımlar, kaliteli verinin eksikliği, risklerin belirlenmesinde ve ölçülmesindeki belirsizlikler, saldırıların meydana getirdiği dolaylı zararların ve siber güvenlik teknolojilerinin etkinliklerinin belirlenmesindeki zorluklar bulunduğu belirlenmiştir.

Bu zorlukların aşılabilmesi ve çalışma sonuçlarının gerçek hayatta kullanılabilir yöntemler ve standartlar haline getirilebilmesi için öncelikle incelenen beş kategoride de bilimsel çalışmaların artırılması [78], deneysel çalışma sonuçlarının doğrulanmasında kullanılabilecek kaliteli verinin kaydedilmesi,

saklanması ve paylaşımının sağlanması önem arz etmekte olup bu amaçla, kamu, kamu-özel sektör ve kamu-özel sektör ile üniversitelerin ortak girişimlerine ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

## 8. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) A. Hovav ve J. D'Arcy, "The Impact of Virus Attack Announcements on the Market Value of Firms", *Information Systems Security*, June 2004.
- 2) M. Ünver, C. Canbay ve A.G. Mirzaoğlu, "Siber Güvenliğinin Sağlanması: Türkiye'deki Mevcut Durum ve Alınması Gereken Tedbirler Raporu", Mayıs 2009.
- 3) Symantec and Ponemon Institute, "2010 Annual Study: US Cost of a Data Breach", March 2011.
- 4) HP Ponemon Study, "The Growing Cost of Cyber Crime", 2012.
- 5) Ross Anderson, "Why Information Security is Hard – An Economic Perspective", *17<sup>th</sup> Annual Computer Security Applications Conference*, September 2001.
- 6) S.E. Aoufi, "Economic Evaluation of Information Security", VU University Amsterdam, *PhD Thesis*, ISBN/EAN:978-90-9024326-9, 2009.
- 7) L.A. Gordon ve M.P. Loeb, "Economic Aspects of Information security: An Emerging Field of Research," *Information System Frontiers*, Vol. 8, No. 5, 2006, pp. 335-337.
- 8) J.N. Sheen, "Information Security Investment Decision by Fuzzy Economics", *3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences (ICIS)*, 23-25 June 2010.
- 9) X. Su, "An Overview of Economic Approaches to Information Security Management", Technical Report, June 2006.
- 10) B. Blakley, E. McDermott ve D. Geer, "Information Security is Information Risk Management", *Communications of the ACM*, 2002, pp.97-104.
- 11) B.R. Rowe ve M.P.Gallaher, "Private Sector Cyber Security Investment Strategies: An Empirical Analysis", *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, March 2006.
- 12) D.J.Landoll, "The Security Risk Assessment Handbook", Auerbach Publications", ISBN : 978-0-8493-2998-2, 2006.
- 13) R.K. Rainer, C.A. Snyder ve H.H. Carr, "Risk Analysis for Information Technology", *Journal of Management Information Systems*, 1991, Vol.8 No.1, pp.129-147.
- 14) A. Mukhopadhyay, S. Chatterjee, D. Saha, A. Mahanti ve S.K. Sadhukhan, "e-Risk Management with Insurance: A framework using Copula aided Bayesian Belief Networks", *Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2006.
- 15) S.Z. Jourdan, "An Investigation of Organizational Information Security Risk Analysis", Auburn University, *Ph.D Thesis*, 2010.
- 16) R.T. Mercuri, "Analyzing Security Costs", *Communications of the ACM*, Vol.46 No.6. June 2003.
- 17) B.Karabacak ve İ.Soğukpınar, "Bilişim Sistemlerinde Etkin Risk Analizi Yöntemleri", *Bilgi Teknolojileri Kongresi*, Poster Sunum Bildirisi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 06-08 Mayıs 2002.
- 18) F.Ö.Aktaş ve İ.Soğukpınar, "Bilgi Güvenliğinde Uygun Risk Analizi ve Yönetimi Yönteminin Seçimi İçin Bir Yaklaşım", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 26-30 Kasım 2008.
- 19) M. Eminagaoglu, "Özdevimli Öğrenme Yaklaşımı ile Bilgi Güvenliği Risklerinin Nitel Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, 2011.
- 20) L. Bodin, L.A. Gordon ve M.P. Loeb, "Information Security and Risk Management," *Communication of the ACM*, Vol. 51, No. 4, 2008, pp. 64-68.
- 21) H. Cylinder, "Evaluating Cyber Insurance", CPCU eJournal, Vol. 61 No. 12, December 2008.
- 22) H.S. Herath ve T.C. Herath, "Cyber-Insurance: Copula Pricing Framework and Implications for Risk Management", *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, 2007.
- 23) R. Böhme, "Cyber insurance Revisited", *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, Harvard University, 2005.
- 24) R. Böhme ve G. Kataria, "Models and Measures for Correlation in Cyber-Insurance", *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, UK, 2006.
- 25) L.A. Gordon, M.P. Loeb ve T. Sohail, "A Framework for Using Insurance for Cyber-Risk Management", *Communications Of The ACM*, 2003.
- 26) K.S. Hoo, "How much is Enough? A Risk-Management Approach to Computer Security", Stanford University, *Ph.D.Thesis*, June 2000.
- 27) W. Sonnenreich, J. Albanese ve B. Stout, "Return on Security Investment (ROSI) : A Practical Quantitative Model", *Journal of Research and Practice in Information Technology*, Vol. 38, No. 1, February 2006.
- 28) T. Bandyopadhyay, "Mitigation and Transfer of Information Security Risk: Investments in Financial Instruments and Technology", The University of Texas, *Ph.D Thesis*, 2006.
- 29) J. Wang, A. Chaudhury, and H. Raghav Rao, "Research note-A Value-at Risk Approach to Information Security Investment," *Information Systems Research*, pp. 106–120, 2008.

- 30) D. Claunch ve M. McMillan, “Determining the right level for your IT Security Investment”, **Healthcare Financial Management**, pp. 100-103, May 2013.
- 31) R.C.Thomas, M. Antkiewicz , P.Florer, S.Widup ve M.Woodyard, “How Bad is it? – A Branching Activity Model to Estimate the Impact of Information Security Breaches”, **Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)**, 2013.
- 32) McAfee White Paper, “Combating Advanced Persistent Threats”, 2011.
- 33) ISACA Report sponsored by Trend Micro, “Advanced Persistent Threat Awareness Study Results”, 2013.
- 34) ISF, Information Security Forum, “The Standard of Good Practice for Information Security”, 2007.
- 35) R. Rue, S.L. Pfleeger ve D. Ortiz “A Framework for Classifying and Comparing Models of Cyber Security Investment to Support Policy and Decision-Making”, **Workshop on the Economics of Information Security**, 2007.
- 36) Ponemon Institute Report sponsored by HP Enterprise Security, “2012 Cost of Cyber Crime Study”, October 2012.
- 37) H. Çavuşoğlu, B. Mishra ve S. Raghunathan, “The Effect of Internet Security Breach Announcements on Market Value: Capital Market Reactions for Breached Firms and Internet Security Developers”, **Internal Journal of E-Commerce**, 2004.
- 38) A. Hovav ve J. D’Arcy, “The Impact of Denial of Service Attack Announcements on the Market Value of Firms”, **Risk Management and Insurance Review**, Vol.6,No.2, 97-121, 2003.
- 39) K. Campbell, L.A. Gordon, M. Loeb ve L. Zhou, “The Economic cost of Publicly Announced Information Security Breaches: Empirical Evidence from the Stock Market”, **Journal of Computer Security**, pp. 431-448, 2003.
- 40) L.A. Gordon, M.P. Loeb, ve L. Zhou, "The Impact of Information Security Breaches: Has There Been a Downward Shift in Costs?" **Journal of Computer Security**, Vol. 19, No. 1, 2011, pp. 33-56.
- 41) R. Telang, ve S. Wattal, “Impact of Software Vulnerability Announcements on the Market Value of Software Vendors – An Empirical Investigation”, Working Paper, Carnegie Mellon University, 2006.
- 42) T. Wang, “Essays on Information Security from an Economic Perspective”, Purdue University, **Ph.D Thesis**, 2009.
- 43) J.R. Conrad, “Analyzing The Risks of Information Security Investments With Monte Carlo Simulations”, **Proceedings of the 4th Workshop on the Economics of Information Security (WEIS05)**, June 2005.
- 44) T.Sohail, “To Tell or Not To Tell: Market Value of Voluntary Disclosures of Information Security Activities”, University of Maryland, **Ph.D Thesis**, 2006.
- 45) CSI (Computer Security Institute), “Computer Crime and Security Survey”, 2010.
- 46) Ponemon Institute, “2014 Cost of Data Breach Study: Global Analysis”, May 2014.
- 47) S.A. Butler, “Security Attribute Evaluation Method: A Cost-Benefit Approach”, **Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering**, New York, USA, pp. 232-240, 2002.
- 48) L.A. Gordon, M.P. Loeb, T. Sohail, C. Tseng ve L. Zhou, “Cyber Security, Capital Allocations and Management Control Systems”, **European Accounting Review**, Vol.17, No.2, pp. 215-241, 2008.
- 49) G.Rodewald, “Aligning Information Security Investments with a Firm’s Risk Tolerance”, **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Annual Conference on Information Security Curriculum Development (InfoSecCD)**, Georgia, 23-24 September 2005.
- 50) L.A. Gordon, M.P. Loeb ve W.Lucyshyn, “Reducing The Challenges to Making Cybersecurity Investments in the Private Sector”, **Presentation at Homeland Security Science and Technology Principal Investigators’ Meeting**, 2012.
- 51) I.Winkler, Qualys White Paper, “Justifying IT Security”, 2010.
- 52) J. Crume, “Inside Internet Security”, Addison Wesley Professional Publications, 08 September 2000.
- 53) R.S. Poore, “Valuing Information Assets for Security Risk Management”, **Information Systems Security**, pp.13-23, October 2000.
- 54) L.A. Gordon ve M.P. Loeb, “The Economics of Information Security Investment”, **ACM Transactions on Information and System Security**, 438-457, November 2002.
- 55) J. Willemson, “On the Gordon&Loeb Model for Information Security Investment”, 2006.
- 56) N. Xie ve N.R. Mead, “SQUARE Project: Cost/Benefit Analysis Framework for Information Security Improvement Projects in Small Companies”, **Networked Systems Survivability Program Technical Note**, CMU/SEI-2004-TN-045, November 2004.
- 57) L.D. Bodin, L.A. Gordon ve M.P. Loeb, “Evaluating Information Security Investments Using Analytical Hierarchy Process”, **Communications ACM**, pp. 78-83, 2005.
- 58) R. Behara, C.D.Huang ve Q.Hu, “A System Dynamics Model of Information Security Investments”, **European Conference on Information Systems (ECIS)** Switzerland, 2007.
- 59) C. Ionnidis, D. Pym ve J. Williams, “Fixed Costs, Investment Rigidities and Risk Aversion in

- Information Security: A Utility-theoretic Approach”, *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, 2011.
- 60) S. Chai, M. Kim ve R.H. Rao, “Firms’ Information Security Investment Decisions: Stock Market Evidence of Investors’ Behavior”, *Decision Support Systems*, Vol.50, pp. 651-661, 2011.
- 61) O. Orkan Özer, “Oyun Teorisi ve Tarımda Uygulanması”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Semineri*, Ankara, 2004.
- 62) L. Zeshuang ve L. Jing, “Study on the Organization Information Security Investment-Decision Making Based on the Limited Strategy Game Theory Perspective”, *Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing (CINC)*, 2010.
- 63) T. Alpcan, “Dynamic Incentives for Risk Management”, *5th IEEE International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, 2012.
- 64) J. Huan, “Optimal Investment in IS Security: A Game Theoretical Approach”, Morgan State University, *Ph.D Thesis*, 2009.
- 65) H. Çavuşoğlu, B. Mishra ve S. Raghunathan, “A Model for Evaluating IT Security Investments”, *Communications ACM*, Vol 47. No.7, pp.87-92, 2004.
- 66) J. Grossklags, “Secure or Insecure: An Economic Analysis of Security Interdependencies and Investment Types”, University of Berkeley, California, *Ph.D Thesis*, 2009.
- 67) P. Bommanavar, T. Alpcan ve N. Bambos, “Security Risk Management via Dynamic Games with Learning”, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2011, pp. 1–6, 2011.
- 68) D. Liu, Y. Ji ve V. Mookerjee, “Knowledge Sharing and Investment Decisions in Information Security”, *Decision Support Systems*, Vol. 52, pp.95-107, 2011.
- 69) P.Naghizadeh ve M. Liu, “Voluntary Participation in Cyber Insurance Markets”, *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, 2014.
- 70) X. Gao, W. Zhong ve S. Mei, “A Differential Game Approach to Information Security Investment Under Hackers’ Knowledge Dissemination”, *Operations Research Letters*, Vol.41, Issue 5, pp:421-425, September 2013.
- 71) A. Ashok, A. Hahn ve M. Govindarasu, “Cyber-physical security of Wide-Area Monitoring, Protection and Control in a Smart Grid Environment”, *Journal of Advanced Research*, (2014) Vol.5, pp. 481–489, 2014.we
- 72) A.K.İkiz ve İ.D. Kocakoç, “Bilişim Teknolojisi Projelerinde Reel Opsiyonlar”, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt:11, Sayı:4, Syf.17-51, 2009.
- 73) G.C. Akkaya, “Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Alternatif Bir Yöntem: Reel Opsiyonlar”, *Muhasebe ve Finansman Dergisi (MUFAD)*, Sayı 28, Syf. 172-178, Ekim 2005.
- 74) A. Değer, “Patent Değerlemesi ve Reel Opsiyonlar”, *Business and Economics Research Journal*, Vol.2, No.1, Syf.153-172, 2011.
- 75) L.A. Gordon, M.P. Loeb ve W. Lucyshyn, “Information Security Expenditures and Real Options: A Wait and See Approach”, *Computer Security Journal*, 19(2), 2003.
- 76) K.Tatsumi ve M.Goto, “Optimal Timing of Information Security Investment: A Real Options Approach”, *Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*, March 2009.
- 77) M. Daneva, “Applying Real Options Thinking to Information Security”, *Centre for Telematics and Information Technology (CTIT) Technical Report*, 2006.
- 78) H.S. Herath ve T.C. Herath, “Investments in Information Security: A Real Options Perspective with Bayesian Postaudit”, *Journal of Management Information Systems*, Vol. 25 Issue 3, p337, December 2008.
- 79) K.K. Kommineni ve A.Y. Babu, “A Cost-Benefit Model for an Enterprise Information Security”, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, Vol.2, Issue 3, February 2013.
- 80) J.V. Brocke, G. Strouch ve C. Buddendick, “Return on Security Investments – Design Principles of Measurement Systems Based on Capital Budgeting”, *In Proceedings of ISTA 2007*. pp.21-32, 2007.
- 81) ENISA (European Network and Information Security Agency, “Introduction to Return on Security Investment”, *Deliverable*, December 2012.
- 82) H.Şentürk, C.Z.Çil ve Ş.Sağiroğlu, “Siber Güvenlik Ekonomisi Üzerine Literatür İncelemesi”, *7’nci Uluslar arası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı*, ISCTURKEY 14, İstanbul, 17-18 Ekim 2014.



# Kanola Yağı Metil Esteri ve Dizel Yakıt Karışımlarının Tek Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Gürültü Emisyonlarına Etkisi

Suat SARIDEMİR<sup>1</sup>, Mehmet TEKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup> Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

(Geliş / Received : 02.04.2015 ; Kabul / Accepted : 18.06.2015)

## ÖZ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarından kaynaklanan gürültü emisyonları, canlılar üzerinde uzun ve kısa süreli olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ve kanola yağı metil ester karışımlarının, tek silindirli bir dizel motorun güç, tork ve gürültü emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Standart dizel yakıtına hacimsel olarak %0, %20 ve %40 oranlarında katılan kanola yağı metil ester, tam yük ve farklı devir testlerine tabi tutulmuş; motor tork ve güç değerleri ile gürültü emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Kanola yağı metil ester ve standart dizel yakıt karışım oranı arttıkça motor gücü, torku ve gürültü emisyonlarında düşüş görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kanola yağı, biyodizel, gürültü emisyonu

## Influence of Canola Oil Methyl Ester and Diesel Fuel Blends on A Single Cylinder Diesel Engine Performance and Noise Emissions

### ABSTRACT

Nowadays, the noise emissions caused by the diesel engines, which is widely used, constitute the adverse effects on the living organisms for both long and short-term. In this study, the single cylinder diesel engine power, torque and noise emissions were experimentally investigated for the fuel mixture which was a canola oil methyl ester with the standard diesel fuel. The torque, power values, the noise emissions were compared when canola oil methyl ester, which was mixed with the standard diesel fuel at the rate of 0%, 20%, 40%, was subjected to the full load, different speed test. It was observed that the engine torque, power and noise emissions were decreased as the rate of canola oil methyl ester increased in the the standard diesel fuel.

**Keywords:** Canola oil, biodiesel, noise emissions

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde dünya enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu oluşturan fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve fiyatlarının sürekli artması, insanlığı olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, dünyada ve özellikle de alternatif enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil kökenli yakıtlardan karşılamakta ve önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengelerin korunması için, mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların ucuz ve bol miktarda üretilebilmesi, yakıt özelliklerinin iyi olması, kolayca depolanabilmesi, taşınabilmesi ve

düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için yapılan çalışmalarda bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bitkisel yağlar, petrol kökenli yağlardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. Bitkisel yağların en önemli özelliklerinden biri viskozitesinin yüksek olmasıdır. Yüksek viskozite, yakıtın enjektörlerden püskürtülmesini zorlaştırır ve yanma kalitesini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır [1,2]. Bitkisel yağların viskozitesini düşürerek biyodizel yakıt üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerin biri, transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde, gliserin ve yağ asidi oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir [3-5]. Çeşitli bitkisel, hayvansal ve evsel atık yağlardan transesterifikasyon

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: suatsaridemir@duzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 53-59

yöntemi ile üretilebilen biyodizel yakıtlar, dizel motorları için önemli alternatif enerji kaynaklarıdır. Literatürde, çeşitli yağlardan üretilen biyodizel yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma olmasına rağmen, biyodizel yakıt karışımlarının motor gürültü emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Altın ve arkadaşları [6] tarafından yapılan çalışmada, enjeksiyon öncesinde ısıtılan ve enjeksiyon basıncı artırılan ayçiçeği yağı ve ayçiçeği yağı/ standart dizel yakıt karışımlarının türbülans odalı bir dizel motorun performansına olan etkileri incelenmiştir. Deney sonuçları, ayçiçeği yağı ve ayçiçeği yağı/standart dizel yakıt karışımlarının performans açısından motorine yakın olduğunu, ancak ayçiçeği yağının viskozitesinin yüksek oluşu, zamanla kuruma ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi nedeniyle çözümlenmesi gereken akış ve atomizasyon problemleri olduğunu ortaya koymuştur. Redel-Macias ve arkadaşları [7] tarafından yapılan çalışmada, prina yağı metil esteri karışımlarının direkt enjeksiyonlu üç

**Çizelge 1.** Kanola yağı metil esteri ve standart dizel yakıtının özellikleri (The properties of canola oil methyl ester and standard diesel fuel)

Özellik	KYME	Standart Dizel Yakıtı
Yoğunluk (25 °C'de kg/m <sup>3</sup> )	877	837
Kinematik Viskozite (40 °C'de mm <sup>2</sup> /s)	4,55	3,9
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	39760	43300
Setan Sayısı	58	54

silindirli bir dizel motorun egzoz ve gürültü emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Karışım içeriğindeki prina yağı metil esteri oranı arttıkça, CO emisyonlarının azalırken NOx'in arttığı görülmüştür. Yakıt karışımındaki prina yağı metil esteri oranına bağlı olarak egzoz ve gürültü emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. İleri [8] tarafından yapılan çalışmada, kanola yağı metil esteri, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorunda 1750-4400 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Çalışmada kanola yağı metil esterinin, motor torkunu %0,63, gücünü ise %1,21 oranında düşürdüğü belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde kanola yağı metil esteri ile %11,1 artış olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca CO emisyonlarında ve duman yoğunluğunda sırasıyla %18,83 ve %58,75 oranında azalma olduğu ifade edilmiştir. Alpgiray ve Gürhan [9] tarafından yapılan çalışmada, yakıt olarak kullanılan kanola yağının tek silindirli bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kanola yağı metil esteri ile dizel yakıtına yakın performans değerleri elde edilmiştir. Labeckas ve Slavinskas [10] yapmış oldukları çalışmada, kanola tohumu yağından elde ettikleri biyodizeli %5, %10, %20 ve %35 oranlarında standart dizel yakıtına karıştırarak 4 silindirli bir dizel motorda test etmişlerdir. HC emisyonları tüm biyodizel karışımlarında daha düşük çıkarken, karışımındaki biyodizel oranı arttıkça

NOx emisyonları artmıştır. Biyodizel karışımları ile özgül yakıt tüketiminde de artış tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, kanola yağı metil esteri (KYME) standart dizel yakıtına hacimsel olarak %0, %20 ve %40 oranlarında karıştırılmıştır. Elde edilen yakıt karışımlarının tam yük ve farklı devirler altında, tek silindirli bir dizel motorun güç, tork değerleri ve gürültü emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Standart dizel yakıt içeriğindeki KYME oranının artmasına bağlı olarak motorun güç, tork değerleri ve gürültü emisyonlarında düşüş görülmüştür.

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

TS EN 14214 standartlarına uygun olan kanola yağı metil esteri, standart dizel yakıtı ile hacimsel olarak %0, %20 ve %40 oranlarında karıştırılarak KYME0, KYME20 ve KYME40 yakıtları elde edilmiştir. Kanola yağı metil esteri ve standart dizel yakıtının özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir [8].

Elde edilen yakıtların, tam yükte ve farklı devirlerde (1400 d/d, 2000 d/d, 2600 d/d, 3200 d/d) tek silindirli dizel bir motorun tork, güç değerleri ve gürültü emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli hava ile soğutmalı bir dizel motor ve 15 kW güç absorbe edebilen bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney öncesi motorun yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değerlere göre yapılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deney motorunun teknik özellikleri (The technical specifications of the test engine)

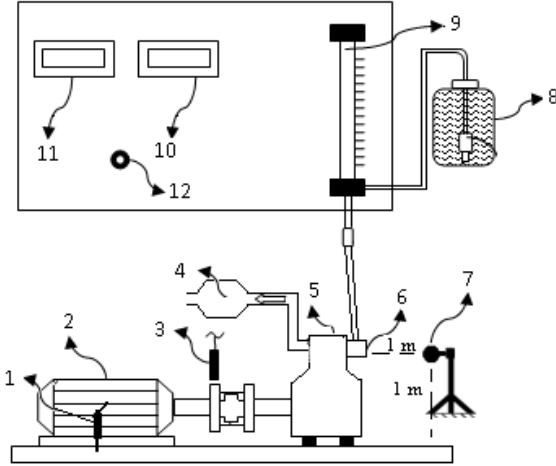
Motorun Markası ve Modeli	Antor 6LD 400
Silindir Sayısı	1
Kurs Hacmi	395 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma Oranı	18:1
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 d/d
Enjektör açılma basıncı	200 bar
Maksimum Motor Momenti	2200 d/d'da (21Nm)

Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler Çizelge 3’de ve deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikleri (The technical specifications of the electrical dynamometer)

Markası	Kemsan
Maksimum frenleme gücü	15 kW
Maksimum Devir	6000 d/d
Yük hücresi modeli	Esit STCS 50 model (S tipi)
Yük hücresi kapasitesi	50 kg
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağa dönüş

Deney düzeneği, motor devrini ve dinamometreye etki eden kuvveti görüntüleyen dijital göstergeler, 100 ml kapasiteli yakıt tüketimi ölçme büreti ve kontrol panelinden oluşmaktadır.



1. Yük sensörü (Load cell) 2. Elektrikli dinamometre 3. Hız sensörü 4. Egzoz 5. Dizel motor 6. Yakıt pompası 7. Gürültü ölçüm cihazı 8. Yakıt kabı 9. Yakıt ölçüm büreti 10. Hız göstergesi 11. Tork göstergesi 12. Yükleme anahtarı

**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Deneyler 10 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce motor 10-15 dakika kadar çalıştırılarak, motor uygun çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Tüm deneyler motor yağ sıcaklığı 50 °C’ye ulaşınca aynı şartlar altında yapılmıştır. Her bir deney aynı şartlar altında 3 kere tekrarlanarak, elde edilen

verilerin ortalaması alınmıştır. Gürültü ölçümü için, Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) kullanılmıştır. Gürültü ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 4’te verilmiştir. Gürültü ölçümü için cihaz, ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 m uzaklığa yerleştirilmiştir [11]. Deneyler öncelikle standart dizel yakıtı, daha sonra KYME20 ve KYME40 yakıtları ile yapılmıştır.

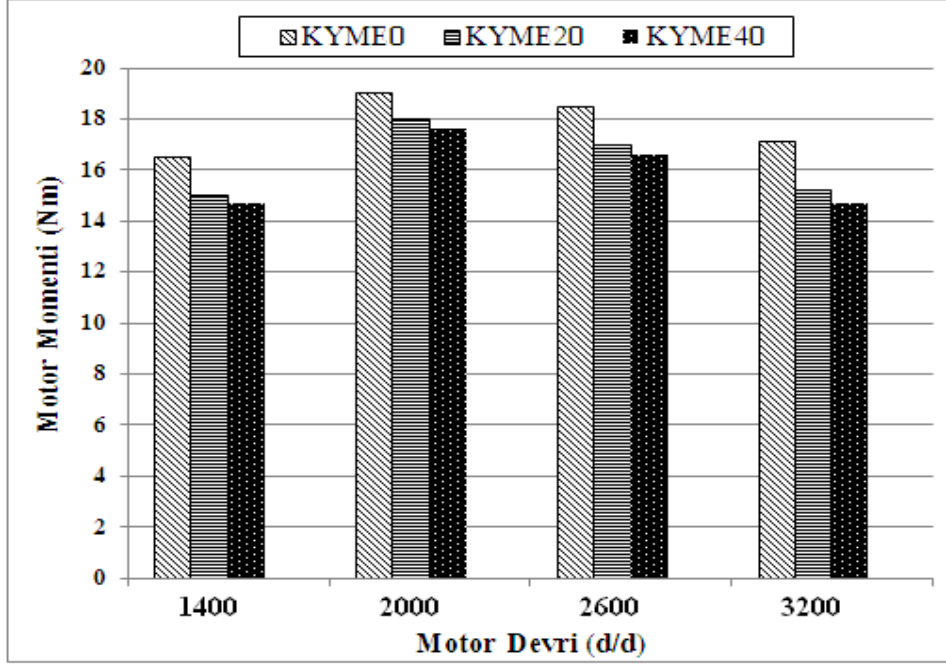
**Çizelge 4.** Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikleri (The technical specifications of the noise measuring device)

Markası	Svantek SV 104
Filtreler	A, C ve Z
Zaman sabitleri	Yavaş, Hızlı, Impulse
Ölçüm aralığı	55 dBA RMS ÷ 140.1 dBA Pik
Frekans aralığı	30 Hz ÷ 8 kHz
Dinamik aralık	95 dB
Hafıza	8 GB

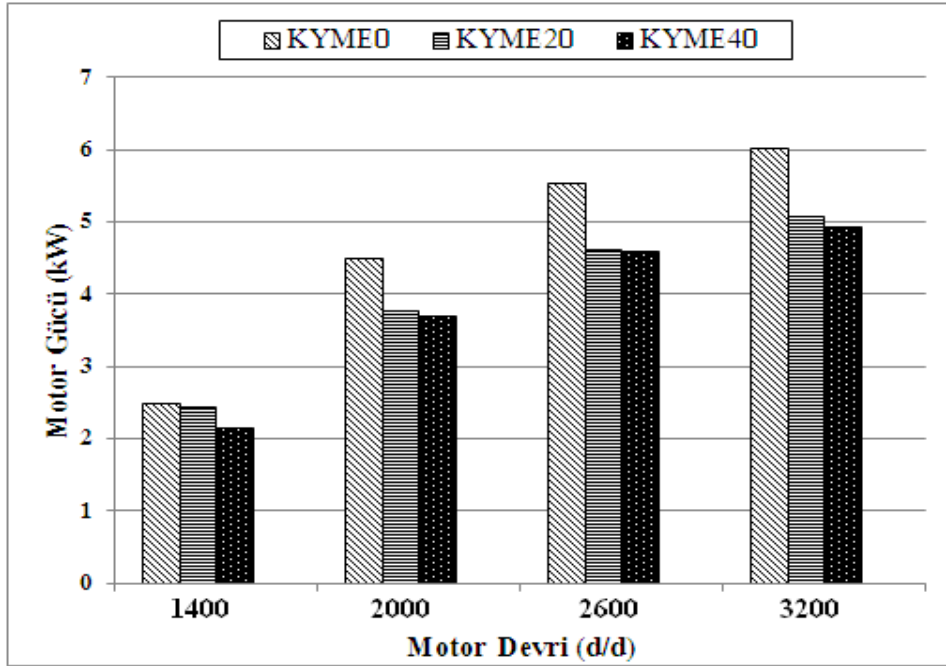
### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Motor Tork ve Güç Değerlerinin Değişimleri (Variation of Engine Torque and Power)

Motor devri ve yakıt cinsine bağlı olarak motor moment değişimi Şekil 2’de, güç değişimi ise Şekil 3’de verilmiştir. En yüksek moment ve güç değerlerine standart dizel yakıtı ile ulaşılmıştır. Yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak motor tork ve güç değerleri azalmaktadır. Bunun temel nedeni, KYME’nin alt ısıl değerinin standart dizel yakıtın alt ısıl değerinden daha düşük olmasıdır. Bu nedenle yakıt karışımlarının alt ısıl değerleri, içeriğindeki KYME oranına bağlı olarak düşerek yanma sonu açığa çıkan enerjiyi düşürmektedir. Bir diğer sebep ise, KYME’nin yoğunluk ve viskozitesinin standart dizel yakıtından yüksek olmasıdır. Yüksek yoğunluk ve viskozite, KYME içerikli yakıtların silindir içerisindeki atomizasyonunu olumsuz yönde etkileyerek yanmayı kötüleştirir. Bu nedenlere bağlı olarak motor moment ve gücü, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak düşmüştür [12-14].



Şekil 2. KYME ile standart dizel yakıtı karışımlarının motor torkuna etkisi  
(The effect of standard diesel fuel mixture with COME to engine torque)



Şekil 3. KYME ile standart dizel yakıtı karışımlarının motor gücüne etkisi  
(The effect of standard diesel fuel mixture with COME to engine power)

### 3.2. Gürültü Emisyonu Değişimleri (Variation of Noise Emissions)

İçten yanmalı motorlar en önemli gürültü kaynaklarından biridir. İçten yanmalı motorlarda gürültü, silindir içerisinde oluşan basınç ve mekanik kuvvetlere bağlıdır. Dizel motorlarda yanma süreci, en önemli gürültü kaynağı olarak kabul edilebilir [15-16].

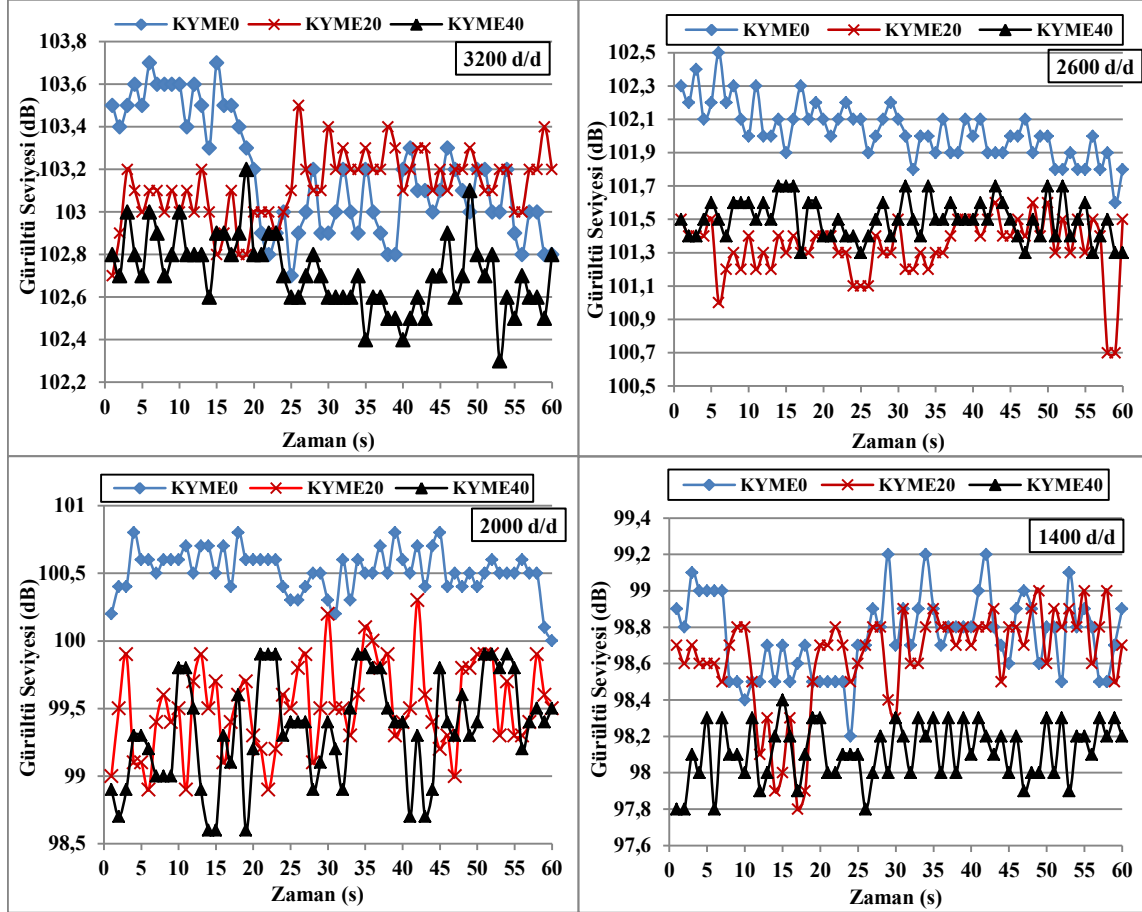
Yanma başlangıcında oluşan ani basınç artışı, yanma odası içinde gaz hareketini hızlandırır [17]. Silindir içindeki bu basınç artışı, yanma odası duvarını doğrudan etkileyerek, motor bloğunda titreşimlere neden olur. Oluşan titreşim ortamda ses oluşturur. Ayrıca yanma ile başlayan basınç gradyanı, yanma odası içindeki gazı rezonansa sokabilir. Bu salınım

yanma odası geometrisi ve gaz sıcaklığı ile kontrol edilir.

Biyodizel yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri yanma verimliliğini, dolayısıyla yanma gürültüsünü etkiler. Farklı oranlardaki KYME ve standart dizel yakıt karışımlarının, tam yükte motor devrine ve zamana bağlı olarak elde edilen gürültü emisyonu değişimleri Şekil 4’de verilmiştir.

normalin üzerine çıkararak motorun vuruntulu ve gürültülü çalışmasına neden olur [19]. KYME içerikli yakıtların yüksek setan sayısına sahip olmaları, tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak silindirde maksimum basınç artışı oranını düşürmüştür.

Yakıtların enjektörden püskürme karakteristiğini viskozite belirler. Viskozite, yakıt enjeksiyon başlangıcını ve enjeksiyon basıncını etkilemektedir.



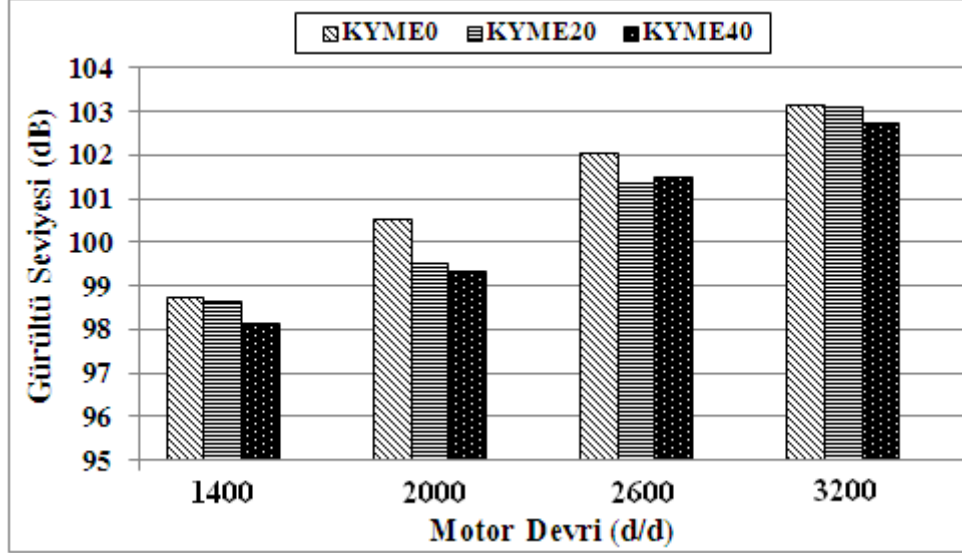
Şekil 4. Farklı motor devirleri için gürültü seviyeleri (Noise levels for different engine speeds)

Şekil 4’te görüldüğü, 3200 d/d’ye kadar KYME içerikli yakıtlar ile standart dizel yakıtı göre daha düşük gürültü seviyeleri elde edilmiştir. Yakıt karışımlarındaki KYME oranı arttıkça, gürültü seviyesi düşmektedir. 3200 d/d’de ise, ilk 20. saniyeye kadar standart dizel yakıtı ile en yüksek gürültü seviyesi elde edilmiştir. 20. saniyeden sonra ise, standart dizel yakıtı ile gürültü seviyesinin KYME20’nin altına düştüğü görülmüştür. Yanma gürültüsü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi parametrelere bağlı olan silindir basıncı artış oranına bağlıdır [18]. Tutuşma gecikme süresinin uzun olması, yanma öncesi silindire daha fazla yakıt püskürtülmesine neden olur. Yanma öncesi silindirde yakıt birikmesi, yanma anında fazla miktardaki yakıtın aniden yanmasına neden olarak basınç artış oranının

Yüksek viskozite, yakıtın damlacık çapını artırarak atomizasyonu olumsuz yönde etkiler. Ayrıca pompanın yakıt gönderme miktarını azaltarak daha az miktardaki yakıtın yanmasına neden olur. Bu nedenle, silindir içi basıncı artış oranı ve maksimum yanma sonu basıncı düşerek yanma gürültüsü azalır. KYME içerikli yakıt karışımlarının yüksek viskozitesi, setan sayısı ile birlikte, motor gürültü emisyonlarını azaltıcı yönde etki etmektedir [18-20]. Damlacık büyüklüğü ve momentumuna bağlı olan yakıt püskürte özellikleri, karışım-nüfuz oranını, buharlaşma oranını ve ısı transfer oranını etkiler. Bu özelliklerin herhangi birinin değişmesi, difüzyonal yanma rejimine karşı farklı ön karışım sürecine neden olur. Bu nedenle ön karışım işlemi esnasında daha az miktarda yakıt yanarak maksimum silindir basıncı azalır ve yanma gürültü

seviyesi düşer. [20- 24]. Tüm bu nedenlerden dolayı karışım içeriğindeki KYME oranına bağlı olarak motor gürültü seviyesi genel anlamda düşmüştür.

Şekil 5'te KYME ile standart dizel yakıt karışımlarının ortalama gürültü emisyon değerlerine olan etkisi verilmiştir.



Şekil 5. KYME ile standart dizel yakıtı karışımlarının ortalama gürültü emisyon değerlerine etkisi (The effect of standard diesel fuel mixture with COME to average noise emission values)

Şekil 5'te görüldüğü gibi ortalama gürültü emisyon değerleri yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca, motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü emisyon değerleri artmaktadır. Bu durum, motor devrine bağlı olarak karışımın zenginleşmesinden ve dolayısı ile yanma basıncının artmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Silindir içinde gaz basınç gradyanını etkileyen yakıt yanma hızının kontrolü, yanma gürültüsünün azaltılması için önemli bir etkidir. Bu çalışmada, farklı oranlardaki KYME ve standart dizel yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun performans ve gürültü emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir. KYME içerikli yakıtların alt ısıl değeri standart dizel yakıtın alt ısıl değerinden daha düşük, yoğunluk ve viskozitesi ise daha yüksektir. Bundan dolayı, motor torku KYME20 ile standart dizel yakıtı göre tüm devirler için ortalama olarak %12 ve KYME40 ile %16 düşmüştür. Motor gücü ise KYME20 ile %8, KYME40 ile %10 düşmüştür. KYME içerikli yakıtların yüksek setan sayısı nedeniyle tutuşma gecikmesi kısılmakta ve bu süre içerisinde buharlaşan yakıt miktarı da azalmaktadır [20,21]. Bu nedenle, yanma sonu basınç ve sıcaklığının düşmesiyle, yanma şiddetine bağlı olan motor gürültü emisyonları da azalmıştır. Sonuçta, KYME ve karışımlarının dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği ve

KYME içerikli yakıtlar ile motor gürültü emisyonunun azaldığı görülmüştür.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Araştırmacılar Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü'ne

2013.07.04.137 nolu proje ile verdiği desteklerden dolayı teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Safgönül B., Ergeneman M., Arslan E., Soruşbay C., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1995).
2. Doğan O., "Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması", *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
3. Gürleyük S.S., Akpınar S., "Yeni Enerji Kaynakları, Biyodizel", *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, 406-411, (2003).
4. Aksoy F., Bayrakçeken H., Baydır Ş.A., Yavuz H., "Kanola yağı metil esterine ön ısıtma uygulamasının motor performans ve emisyonlarına etkisi", *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1): 25-33, (2009)
5. Sugözü İ., Aksoy F., Baydır Ş.A., "Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esterinin kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2): 49-56, (2009)
6. Altın R., Çetinkaya S., Yücesu S., "The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines", *Energy Conversion and Management*, 42(5): 529-538, (2001)
7. Redel-Macias M.D., Pinzi S., Leiva D., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P., "Air and noise pollution of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester and petrodiesel blends", *Fuel*, 95: 615-621, (2012)
8. İleri E., "Kanola yağı metil esterinin dizel motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak



- incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
9. Alpgiray A., Gürhan R., “Kanola yağının diesel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi”, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(3): 231-239, (2007)
  10. Labeckas G., Slavinskas S., “The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emission”, *Energy Conversion and Management*, 47: 1954-1967, (2006)
  11. Redel-Macías M.D., Hervás-Martínez C., Pinzi S., Gutiérrez P.A., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P., “Noise prediction of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester blended with diesel fuel”, *Fuel*, 98: 280-287, (2012)
  12. Lee S.B., Han K.H., Lee J.D., Hong I.K., “Optimum process and energy density analysis of canola oil biodiesel synthesis”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16: 1006-1010, (2010)
  13. Ozsezen A.N., Çanakci M., “Determination of performance and combustion characteristics of a diesel engine fueled with canola and waste palm oil methyl esters”, *Energy Conversion and Management*, 52: 108-116, (2011)
  14. Ileri E., Koçar G., “Effects of antioxidant additives on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with canola oil methyl ester-diesel blend”, *Energy Conversion and Management*, 76: 145-154, (2013)
  15. Russell M.F., Haworth R., “Combustion noise from high speed direct injection diesel engines”, *SAE technical paper*, 850973, (1985)
  16. Albardar A., Gu F., Ball A.D., “Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and independent component analysis”, *Measurement*, 43: 1376-1386, (2010)
  17. Hickling R., Feldmaier D.A., Sung S., “Knock induced resonances in open chamber diesel engines”, *Journal of the Acoustical Society of America*, 65: 1474-1479, (1979)
  18. Bayhan Y., Kilic E., Arin S., “Effect of pure biodiesel on fuel injection systems and noise level in agricultural diesel engines”, *Ama-Agric Mech Asia Africa Lat Am*, 41:78-81, (2010)
  19. Torregrosa A.J., Broatch A., Novella R., Monico L.F., “Suitability analysis of advanced diesel combustion concepts for emissions and noise control”, *Energy*, 36: 825-838, (2011)
  20. Redel-Macias M.D., Pinzi S., Ruz M.F., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P., “Biodiesel from saturated and monounsaturated fatty acid methyl esters and their influence over noise and air pollution”, *Fuel*, 97: 751-756, (2012)
  21. Bezaire N., Wadumesthrige K., Ng K.Y.S., Salley S.O., “Limitations of the use of cetane index for alternative compression ignition engine fuels”, *Fuel*, 89:3807-3813, (2010)
  22. Rakopoulos C.D., Dimaratos A.M., Giakoumis E.G., Rakopoulos D.C., “Study of turbocharged diesel engine operation, pollutant emissions and combustion noise radiation during starting with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends”, *Appl Energy*, 88:3905-3916, (2011)
  23. Torregrosa A.J., Broatch A., Novella R., Mo'nico L.F., “Suitability analysis of advanced diesel combustion concepts for emissions and noise control”, *Energy*, 36:825-38, (2011)
  24. Bayhan Y., Kilic E., Arin S., “Effect of pure biodiesel on fuel injection systems and noise level in agricultural diesel engines”, *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 41:78-81, (2010)

# Pd/AC Katalizörü Eşliğinde Karbofos'un Islak Hava Oksiadasyonu ile Arıtımında Optimum Koşulların Belirlenmesi

Zhainagul ABANOVA\*, Melike İŞGÖREN\*\*, Erhan GENGEÇ\*\*, Sevil VELİ\*

\*Kocaeli Üniversitesi, Müh.Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41380, İzmit, Kocaeli

\*\*Kocaeli Üniversitesi, Ali Rıza Veziroğlu MYO, Çevre Teknolojileri Bölümü, 41285, İzmit, Kocaeli

(Geliş / Received : 21.04.2015 ; Kabul / Accepted : 28.08.2015)

## ÖZ

Bu çalışma pestisit türü olan organofosforlu insektisitlerden karbofos'un Islak Hava Oksiadasyon yöntemi (IHO) ile arıtımında optimum koşulların belirlenmesi üzerine yapılmıştır. Ticari Pd/AC katalizörünün kullanıldığı deneyler pH=5,5-6,0 ortamında, 500 rpm karıştırma hızında ve kesikli sistemli bir reaktörde çalışılmıştır. Deneysel çalışmalarda farklı basınç, sıcaklık ve katalizör miktarının karbofos'un giderim verimine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda sıcaklık 363 K, basınç 2,0 MPa ve Pd/AC katalizör miktarı 0,03 g optimum koşullar olarak belirlenmiş ve bu koşullarda karbofos'un giderim verimi % 85,53 olmuştur. Sonuç olarak, Pd/AC katalizörünün karbofos'un IHO prosesiyle arıtımında etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Karbofos, Islak Hava Oksiadasyonu, Pd/AC katalizörü, Giderim verimi

## Determination of Optimum Conditions in Treatment of Carbofos by Wet Air Oxidation with Using Pd/AC catalyst

### ABSTRACT

This study has been conducted on the determination of optimum conditions in treatment of carbofos which one of the organophosphorus insecticides, by Wet Air Oxidation (WAO) process. Experiments which commercial Pd/AC catalyst was used have been done in a batch reactor system at pH=5.5-6.0 with 500 rpm stirrer speed. In experimental studies, the effects of different pressure, temperature and amount of catalyst to the removal efficiency of carbofos were investigated. As a result of the studies, 363 K temperature, 2.0 MPa pressure and 0.03 g Pd/AC catalyst amount were found as the optimum conditions and in these optimum conditions the removal efficiency of carbofos was 85.53 %. In conclusion, it is found that Pd/AC catalyst is effective in treatment of carbofos by WAO process.

**Keywords:** Carbofos, Wet Air Oxidation, Pd/AC catalyst, Removal efficiency

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Insektisitler, kararlılığı, taşınabilirliği ve canlı organizmalar üzerindeki uzun vadeli etkilerinden dolayı en tehlikeli çevre kirleticilerinin arasında yer almaktadır [1]. Bunlar çeşitli su kaynaklarında bulunan en önemli kirleticilerin arasındadır. Organoklorlu insektisitlerin kullanımı yasaklandığından beri, organofosforlu insektisitler dünya çapında en çok kullanılan sınıf haline gelmiştir. Bunlar çeşitli kaynaklardan, özellikle tarımsal drenaj atıksu arıtma tesislerinden ve diğer su kaynaklarından çevreye serbest bırakılmaktadır [2]. Bu suların deşarjı ciddi çevre kirliliğine neden olmaktadır [3]. Organofosforlu insektisitlerin çevre örneklerinde bulunan konsantrasyonları yüzey ve yeraltı suyunun maksimum kirlenme düzeyini aşmıştır [4]. Organofosfatlar çevresel bozulmaya ve insan sağlığını

tehdit eden toksinlerin üretimine neden olmaktadır. Bu grup kimyasallar: karbofos (malation), diazinon, klorpirifos, azametifos, diklorvos, paration ve metilparation gibi insektisitleri içerir [5]. Bu insektisitlerin arasından, karbofos hala yaygın olarak tarımsal uygulamalar için kullanılmaktadır ve onun bu geniş kullanımı tarımsal drenaj sularında karbofos miktarının artmasına neden olmuştur [6]. Karbofos, Dünya Sağlık Örgütü tarafından orta düzeyde tehlikeli insektisit (II sınıf) olarak sınıflandırılmıştır. Karbofos bir nörotoksindir ve açık bir ortamda elde edilebilir konsantrasyonlarda, suda yaşayan organizmalar, memeliler ve kuşların bazı türleri için zehirlidir. Karbofos'un toksik etkileri asetilkolinesteraz enziminin inhibisyonu ile ilişkilidir [7]. Insektisit kirliliğine olan doğal risk, genellikle bu insektisit su içinde yüksek çözünürlüğü, toprakta düşük sorpsiyonu, toksisitesi, kimyasal kararlılığı, biyolojik birikimi ve düşük biyolojik bozunurluğundan dolayı belirgindir [8]. Bu bileşiklerin tehlikeli doğası ve geniş kullanımı, onların

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: sevilv@kocaeli.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 61-66

giderimi ile ilgili ortak yöntemleri geliştirmeye teşvik etmiştir [9].

Karbofos'un giderimi fizikokimyasal ve biyolojik süreçler ile elde edilebilir. Biyoremediasyon bakterisi, mantar, yeşil bitkileri ya da onların enzimlerini kullanan bir biyolojik arıtım olarak tanımlanabilir. Fizikokimyasal yöntemlere göre daha az enerji ve kaynak tüketir, böylece maliyeti daha ucuzdur [10]. Ama insektisitlerin, yüksek toksik madde içeriğinden dolayı biyolojik bozunması genellikle zordur. Organofosforlu insektisitlerin gideriminde, granül aktif karbon Adsorpsiyonu, Islak Hava Oksidasyonu (IHO), foto-Fenton, UV/O<sub>3</sub> veya UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Elektro-Fenton gibi çeşitli fiziksel-kimyasal işlemler uygulanmıştır [9]. Karbon adsorpsiyonunun çok etkili olduğu görülmüş, ancak karbon filtrelerinin hızla doymuş hale gelmesinden ve yan ürünlerin oluşmasından dolayı insektisitlerin giderim verimi azalmıştır. Koagülasyon/flokülasyon ve sedimantasyon yöntemleri ise, pestisit endüstri atıksuyunun gideriminde ön arıtım olarak ileri arıtım teknolojilerinden önce kullanılmaktadır [11]. IHO prosesi çeşitli atık suların arıtımında daha önce kullanılmıştır. Bu yöntem yüksek oranda organik madde (yaklaşık 10-100 g KOİ/L) ve doğrudan biyolojik arıtımı mümkün olmayan toksik kirleticileri içeren atık suyun arıtımı için yüksek bir potansiyele sahiptir [12]. IHO prosesi nispeten yüksek sıcaklıklarda (493-593 K) ve basınçlarda (5,0-20,0 MPa) uygulanır. Oksitleyici kaynağı olarak oksijen veya hava kullanılır ve atık sudaki organik bileşikler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürerek, toplam oksidasyonunu içerir. İşlem koşullarını azaltmak için uygun katalizörler dahil edilebilir. Son yıllarda bu amaçla çeşitli değerli metaller (Pt, Pd, Ru, Ir, vb), metal oksitleri (CuO, CeO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, vb.) ve karbon malzemelerinden oluşan heterojen katalizörler çalışılmıştır [13]. Bu katalizörler organik bileşiklerin Katalitik Islak Hava Oksidasyonu (KIHO) ile arıtımında iyi aktivite göstermişler. IHO ve KIHO yöntemleri fenol, karboksilik asit ve polietilen glikol içeren suların arıtımına uygulanmıştır [14]. Karbofos'un IHO yöntemi ile arıtımı hakkında yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Genellikle Fenton reaktifi, Foto-Fenton, elektrooksidasyon gibi oksidasyon prosesleri daha çok uygulanmıştır [6, 9, 11, 15, 16].

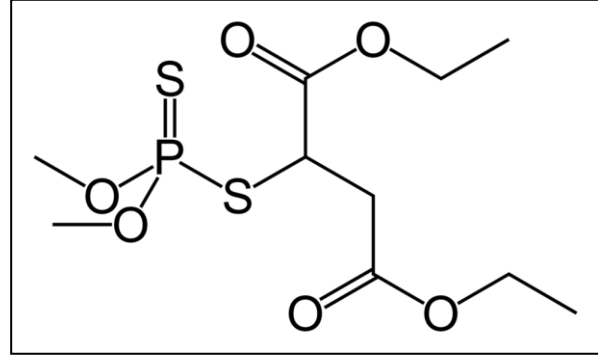
Bu araştırmanın amacı, karbofos'un Pd/AC katalizörü kullanılarak Islak Hava Oksidasyonu yöntemiyle arıtımını incelemek ve optimum koşulları belirlemektir. Çalışmada sıcaklık, basınç ve katalizör miktarı gibi faktörlerin karbofos'un giderim verimine olan etkisi araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Kullanılan Pestisit Özelliği (The Properties of Using Pesticide)

Deneysel çalışmalar için %96 saflıktaki teknik karbofos Shenzhen Longshine Chemical Co. Ltd fabrikasından

temin edilmiştir (İzmit/Kocaeli). Karbofos'un kimyasal yapısı Şekil 1'de, teknik özellikleri ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karbofos'un kimyasal yapısı

Çizelge 1. Karbofos'un teknik özellikleri

Malation (Karbofos)
S-1,2-bis(etoksikarbonil)O,O-dimetil fosforotiyat
121-75-5
$C_{10}H_{19}O_6PS_2$
Minimum % 96
330,3 g/mol
Açık sarı renkli, homojen sıvı şeklinde
Özel kokulu
1,23 g/cm <sup>3</sup> (293 K)
Suda çözünürlüğü: 145 mg/l (oda sıcaklığında), Birçok organik çözücülerde çözünür. Petrol, eterde az çözünür
5,3 MPa (293 K'de)
Oda sıcaklığına kadar kararlıdır. Kuvvetli bir baz çözeltisinde kolayca parçalanabilir.

### 2.2. Katalizörün Özellikleri (Catalyst Properties)

Çalışmada kullanılan Pd/AC katalizörü Albar kimya San. ve Tic. Şirketinden (İzmit/Kocaeli) temin edilmiştir. %5 ağırlıklı (kuru bazda) palladium ABD'nin Sigma-Aldrich Chemistry ürünüdür. Katalizörün özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Pd/AC'un özellikleri

Katalizör	Pd/AC
CAS numarası:	740-05-3
Pd moleküler ağırlığı	106,42 g/mol
Erime noktası	1827 K
Kaynama noktası	3243 K
Öz kütlesi (yoğunluğu)	12,02 g/cm <sup>3</sup>
Matriks	Aktif karbon, nemli destek

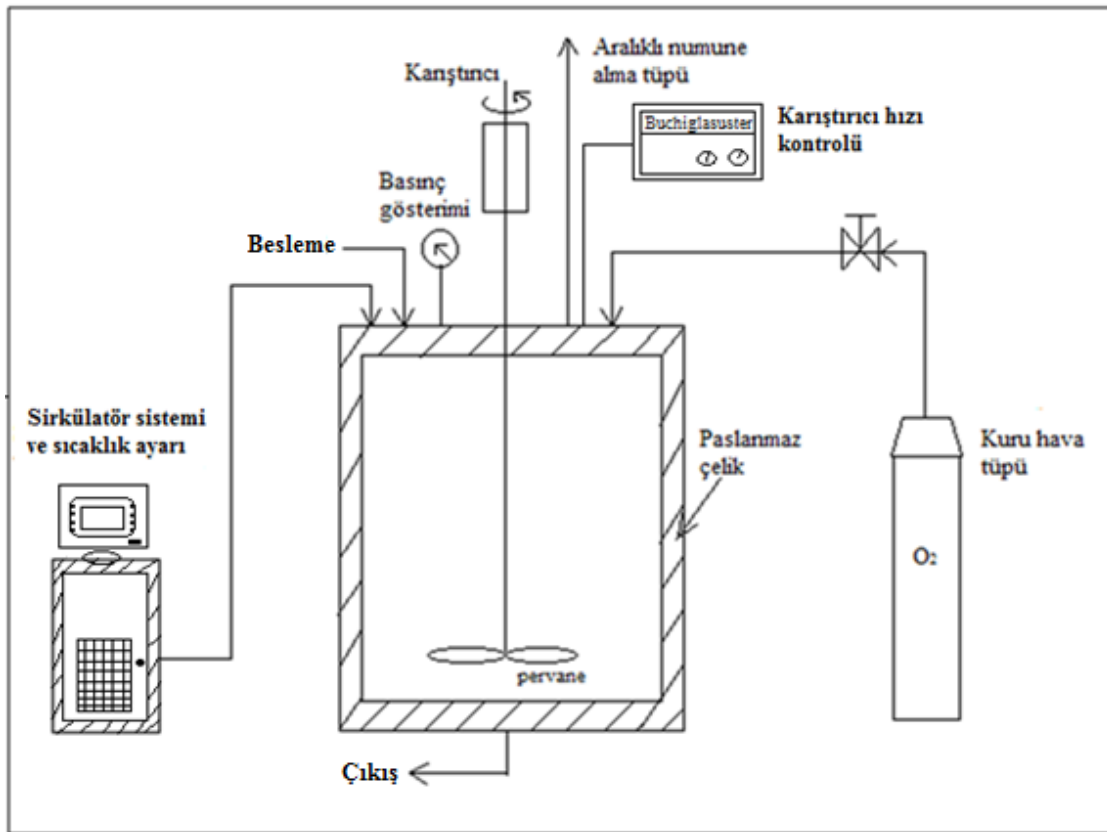
### 2.3. Islak Hava Oksidasyon Deneysel Düzeni ve Deneysel Prosedür (Wet Air Oxidation Test Setup and Experimental Procedure)

Deneysel çalışmalar Büchiglasuster Hade C25P markalı 600 ml kapasiteli Islak Oksidasyon cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihaz, paslanmaz çelikten yapılmış basınçlı reaktörden (Büchiglasuster Ecoclave 600 ml, 423 K, 6,0 MPa basınçlı reaktör sistemi), yağ ısıtmalı sirkülasyon sisteminden (Thermo Scientific Phoenix II-HAAKE C25P sirkülasyon sistemi) ve karıştırıcıdan (Büchiglasuster cyclone 075) oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan IHO cihazının şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.

aralıklı numuneler (5 ml) reaktörün yüksek kısmındaki numune alma tüpünden alınmıştır. Numuneler 0,45 mikron filtre kağıdı ile süzülerek küçük kaplara konulmuş ve sonuçlar HPLC cihazında okunmuştur.

### 2.4. Analiz Yöntemleri (Analysis Methods)

Deneysel pH ölçümleri Thermo Scientific markalı, Orion Star 111 modelli pH metre ile yapılmıştır. pH ayarlamaları 0,5N H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile yapılmıştır. Çözelti hazırlamada MS300HS model manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Tüm deney sonuçlarına Agilent Technologies markalı HPLC-UV cihazında bakılmıştır.



Şekil 2. IHO cihazının şematik gösterimi

Deneysel çalışmalarda teknik karbofostan 84 µl alınarak 10 ml asetonla çözüldükten sonra 1 L’e saf suyla tamamlanmıştır. Bu çözelti, 100 mg/l stok çözelti olup, bundan 20 mg/l standart çözelti elde edilmiştir. Standart çözeltiden 400 ml alınarak farklı miktarlarda Pd/AC katalizörü numuneye eklenmiş ve cihazın üst kısmındaki numune koyma yerinden, hüni yardımıyla reaktöre verilmiştir. Reaktör kesikli olarak çalıştırılmıştır. Deneyler çözeltinin pH değeri 5,5-6,0’ya ayarlanarak yapılmıştır. Çünkü karbofos’un sudaki bozunması pH’a bağlıdır ve pH>7 olduğunda hızlı bozunur [17]. Sirkülasyon sistemi ile farklı sıcaklık ve kuru hava tüpünden farklı basınç reaktöre verilmiştir. Homojenliği sağlamak için reaktör sürekli 500 rpm karıştırıcı hızıyla çalıştırılmıştır. Reaksiyon süresi 120 dakika sürerek, t=0; 5; 45; 85 ve 120 dakikalarda

### 2.5. HPLC Cihazı (HPLC Device)

HPLC-UV cihazına ait konfigürasyon ve metod bilgileri aşağıda özetlenerek Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. HPLC cihazının konfigürasyon ve metod bilgileri

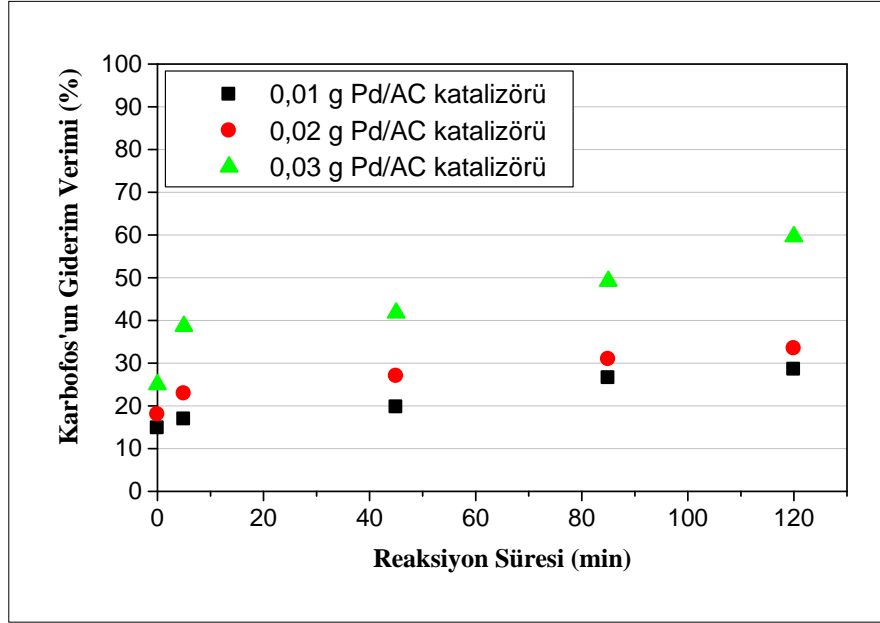
Dalga boyu, λ	215 nm
Kolon akış hızı	1 ml/min
Kolon sıcaklığı	298 K
Taşıyıcılar	%50 Asetonitril, %50 saf su
Kolon türü	Proshell 120 EC-C18, (4,6x50 mm, 2,7 mikron), 6,0 MPa basınç dayanımlı

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Katalizör Miktarının Etkisi (Effect of Catalyst Amount)

Karbofos'un IHO'la arıtımında katalizör miktarının etkisini incelemek için 0,01; 0,02 ve 0,03g Pd/AC katalizörü kullanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler

süren deney sonunda 0,01 g, 0,02 g ve 0,03 g Pd/AC miktarları için en yüksek giderim verimleri sırasıyla %28,53, %33,45 ve %59,64 olarak elde edilmiştir. En iyi giderim veriminin 0,03 g Pd/AC katalizör miktarı kullanımında elde edildiği görülmüştür ve deneylere 0,03 g Pd/AC ile devam edilmiştir.



Şekil 3. Karbofos'un IHO yöntemi ile arıtımında katalizör miktarının etkisi

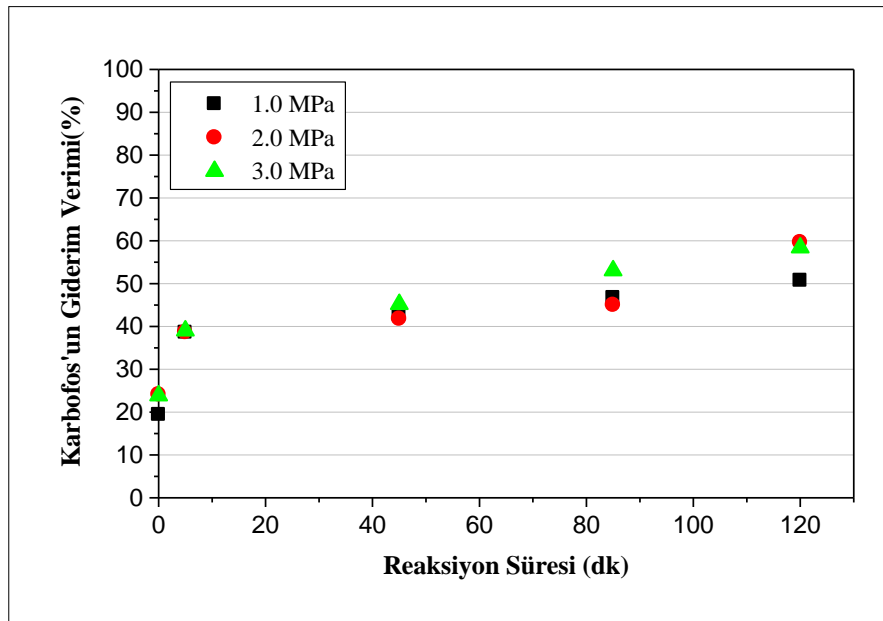
çözeltinin pH değeri 5,5-6,0, sıcaklık 333 K, basınç 2,0 MPa ve 500 rpm karıştırıcı hızında, 120 dakikada yürütülmüştür. Aralıklı numuneler t= 0; 5; 45; 85 ve 120 dakikalarda alınmıştır. Bu deney şartlarında elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3'ten görüldüğü gibi katalizör miktarı arttıkça karbofos'un giderim verimi de artmıştır. 120 dakika

#### 3.2. Basıncın Etkisi (Effect of Pressure)

Çalışmada basıncın etkisini incelemek için 1,0; 2,0 ve 3,0 MPa kuru hava basıncı reaktöre verilmiş ve belirlenen 0,03 g katalizör miktarı, 333 K sıcaklık, aynı pH, basınç ve karıştırıcı hızıyla deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

Basıncın, oksidasyon deneylerini etkileyen önemli



Şekil 4. Karbofos'un IHO yöntemi ile arıtımında basıncın etkisi

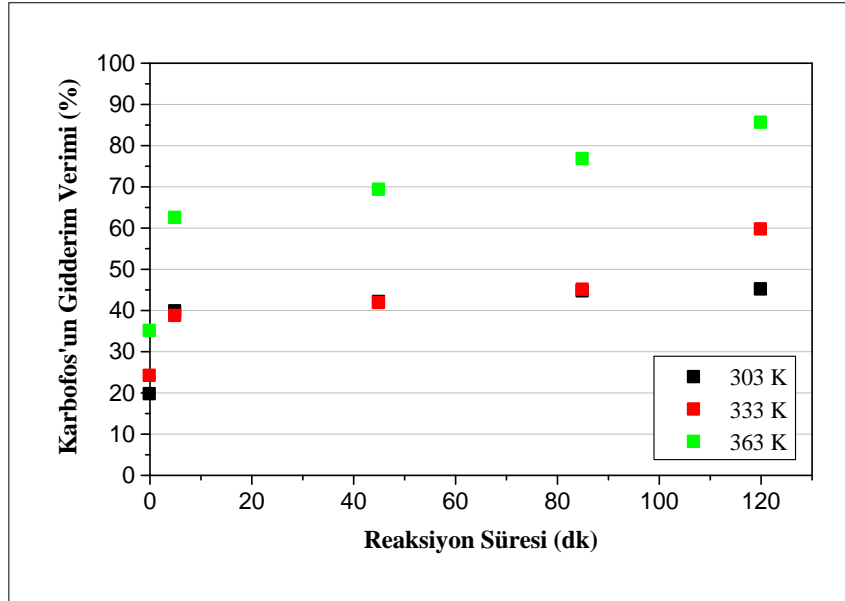
parametrelerden biridir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi basınç arttıkça karbofos'un giderim veriminde de artış gözlenmiştir. 1,0; 2,0 ve 3,0 MPa basınç için karbofos'un giderim verimi reaksiyon sonunda sırasıyla %50,74; %59,64 ve %58,37 olarak elde edilmiştir. Basınç artması ile giderim verimindeki artış diğer çalışmalardan da görülmektedir [18, 19]. 2,0 ve 3,0 MPa basınç aralığında anlamlı bir değişim olmadığı için sonraki deneylere 2,0 MPa basınç ile devam edilmiştir.

### 3.3. Sıcaklığın Etkisi (Effect of Temperature)

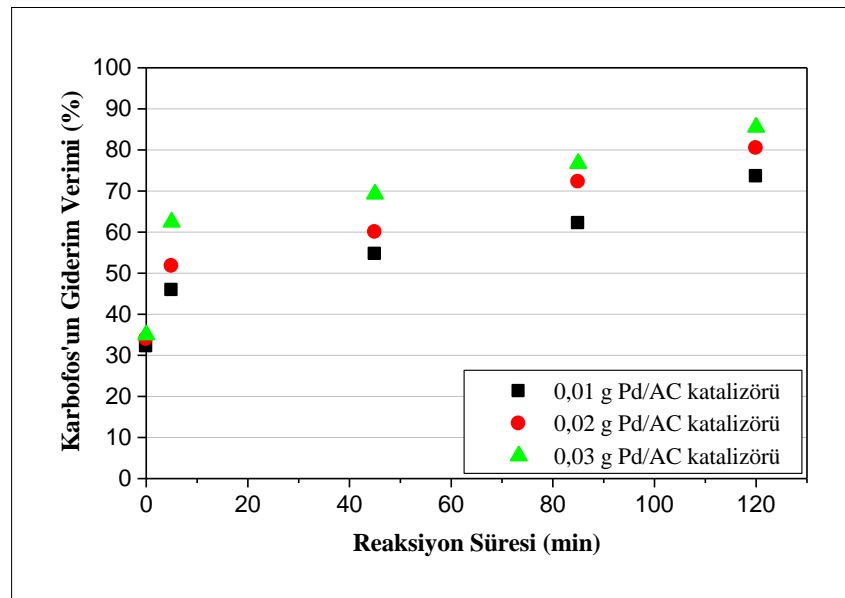
Sıcaklığın giderim verimine olan etkisini incelemek için

Şekil 5'ten görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça karbofos'un giderim verimi de artmıştır. Deney sonunda 303; 333 ve 363 K için karbofos'un giderim verimi sırasıyla %45,07; %59,64 ve %85,53'dir. En iyi giderim verimi de 363 K'de elde edilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile giderim verimi de önemli derecede artmıştır. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalarda da gözlenmiştir [20, 21].

Deney sonuçları sıcaklığın oksidasyon deneylerinde, basınç ve katalizör miktarı gibi diğer parametrelere göre daha etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 5. Karbofos'un IHO yöntemi ile arıtımında sıcaklığın etkisi



Şekil 6. Optimum koşullarda katalizörün az miktarlarının denenmesi

0,03 g katalizör miktarı ve 2,0 MPa basınç ile yukarıdaki aynı deney şartları sağlanarak sisteme 303; 333 ve 363K sıcaklık verilmiştir. Sıcaklığın etkisi Şekil 5'te gösterilmiştir.

### 3.4. Optimum Koşulların Etkisi (Effect of Optimum Conditions)

Belirlenen optimum basınç 2,0 MPa ve optimum



sıcaklık 363 K şartlarında katalizörün az miktarları da denenmiştir. Bu şartlarda elde edilen deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'dan görüldüğü gibi 120 dakika süren deney sonunda 0,01; 0,02 ve 0,03 g katalizör miktarları için %73,57; %80,42 ve %85,53 karbofos giderim verimi elde edilmiştir. Şekil 3 ile kıyasladığımızda sıcaklığın artması ile giderim veriminin arttığı görülmüştür. Burada katalizörün az miktarlarında bile iyi giderimi sağlayan faktörün sıcaklık etkisi olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada karbofos'un Islak Hava Oksidasyonu ile arıtımı Pd/AC katalizörü kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda sıcaklık, basınç ve katalizör miktarının giderim verimine olan etkisi araştırılmıştır. Deneyler 120 dakikada aralıklı numuneler alınarak kesikli yapılmıştır. Bu çalışma için optimum koşullar belirlenmeye çalışılmıştır. Optimum katalizör miktarı 0,03 g olduğunda %59,64, optimum basınç 2,0 MPa'da %59,64 ve optimum sıcaklık 363 K'de % 85,53 karbofos giderilmiştir. Kullanılan Pd/AC katalizörünün çalışmada etkili olduğu görülmüştür.

Elde edilen deney sonuçlarından, Islak Hava Oksidasyon yönteminin Pd/AC katalizörü kullanılarak karbofos'un giderimi için iyi bir arıtım yöntemi olarak uygulanabilirliği sonucuna varılmıştır.

#### 5. TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi (BAP) (Proje No: 2013/073) tarafından desteklenmiştir.

#### 6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tankiewicz M., Fenik J., Biziuk M., "Determination of organophosphorus and organonitrogen pesticides in water samples", *Trends in Analytical Chemistry*, 29 (9): 1050-1063, (2010)
- [2] Moussavi G., Hosseini H., Alahabadi A., "The investigation of diazinon pesticide removal from contaminated water by adsorption onto NH<sub>4</sub>Cl-induced activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 214: 172-177, (2013)
- [3] Chunli Z., Ling Z., Xiaobai Z., Zhimin Fu., An Li., "Treatment technologies for organic wastewater", In: W. Elshorbagy, R.K. Chowdhury [ed.s], *Water Treatment*, InTech, pp. 249-286, 392 pps, Chapter 11, (2013) (<http://dx.doi.org/10.5772/52665>)
- [4] Chen Sh., Cao G., "Photocatalytic degradation of organophosphorus pesticides using floating photocatalyst TiO<sub>2</sub> SiO<sub>2</sub> /beads by sunlight", *Solar Energy*, 79: 1-9, (2005)
- [5] Edwards F.L., Tchounwou P.B., "Environmental toxicology and health effects associated with methyl parathion exposure – A Scientific Review", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2 (3): 430-441, (2005)
- [6] Ramos-Delgado A., Gracia-Pinilla M.A., Maya-Trevino L., Hinojosa-Reyes L., Guzman-Mar J.L., Hernandez-Ramirez A., "Solar photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> modified with WO<sub>3</sub> on the degradation of an organophosphorus pesticide", *Journal of Hazardous Materials*, 263P: 36-44, (2013)
- [7] Uygun U., Senoz B., Ozturk S., Koksel H., "Degradation of organophosphorus pesticides in wheat during cookie processing", *Food Chemistry*, 117: 261-264, (2009)
- [8] Moreira F.C., Vilar V.C.P., Ferreira A.C.C., dos Santos F.R.A., Dezotti M., Sousa M.A., Goncalves C., Boaventura R.A.R., Alpendurada M.F., "Treatment of a pesticide-containing wastewater using combined biological and solar-driven AOPs at pilot scale", *Chemical Engineering Journal*, 209: 429-441, (2012)
- [9] Kukurina O., Elemensova Z., Syskina A., "Mineralization of organophosphorus pesticides by electro-generated oxidants", *Procedia Chemistry*, 10: 209-216, (2014)
- [10] Abdi N., Grib H., Lounici H., Pauss A., Mameri N., "Comparison of different models of substrate inhibition in aerobic batch biodegradation of malathion", *Turkish J Eng Env Sci*, 37: 221-230, (2013), doi:10.3906/muh-1211-7
- [11] Zhang Y., Pagilla K., "Treatment of malathion pesticide wastewater with nanofiltration and photo-Fenton oxidation", *Desalination*, 263: 36-44, (2010)
- [12] Kim K-H., Ihm S-K., "Heterogeneous catalytic wet air oxidation of refractory organic pollutants in industrial wastewaters: A review", *Journal of Hazardous Materials*, 186: 16-34, (2011)
- [13] Gomes H.T., Figueiredo J.L., Faria J.L., "Catalytic wet air oxidation of olive mill wastewater", *Catalysis Today*, 124:254-259, (2007)
- [14] Yang Sh., Zhengqian L., Xiaohui H., Beiping Z., "Wet air oxidation of epoxy acrylate monomer industrial wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 178: 786-791, (2010)
- [15] Sheoran M., "Advanced oxidation processes for the degradation of pesticides", *Masters thesis*, 60601005, Thapar University, Department of Biotechnology and Environmental Sciences, Patiala, (2008)
- [16] Abdel-Gawad S.A., Omran K. A., Mokhtar M. M., Baraka A. M., "Electro chemical degradation of some pesticides in agricultural wastewater", *Journal of American Science*, 7 (4): 134-145, (2011)
- [17] Newhart K., "Environmental fate of malathion", *California Environmental Protection Agency*, Department of Pesticide Regulation, Environmental Monitoring Branch, [www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/efate\\_malathion.pdf](http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/efate_malathion.pdf) (Ziyaret tarihi: 13.01.2015), (2006)
- [18] Oulego P., Collado S., Garrido L., Laca A., Rendueles M., Diaz M., "Wet oxidation of real coke wastewater containing high thiocyanate concentration", *Journal of Environmental Management*, 132: 16-23, (2014)
- [19] Yanga Sh., Liuc Zh., Huangc X., Zhang B., "Wet air oxidation of epoxy acrylate monomer industrial wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 178: 786-791, (2010)
- [20] Subbaramaiah V., Srivastava V.C., Deo Mall I., "Catalytic wet peroxidation of pyridine bearing wastewater by cerium supported SBA-15", *Journal of Hazardous Materials* 248- 249: 355- 363, (2013)
- [21] Dominguez C.M., Quintanilla A., Casas J.A., Rodriguez J.J., "Treatment of real winery wastewater by wet oxidation at mild temperature", *Separation and Purification Technology* 129: 121-128, (2014)

# Modifiye Polistirenlerin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Alaaddin CERİT

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, 42310, Ereğli, Konya

(Geliş / Received : 23.04.2015 ; Kabul / Accepted : 14.06.2015)

## ÖZ

Polistiren, günlük hayatta en yaygın kullanılan sentetik polimerlerden biridir. Bu çalışmada değişik molekül ağırlıklı polistirenlerin asetik ve maleik anhidritlerle ( $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) katalizörlüğünde daha önce bulunmuş optimum reaksiyon şartlarında kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilmiş ve yapısında ( $\text{CH}_3\text{CO}-$  ve  $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ ) grupları içeren değişik molekül ağırlıklı modifiye polistirenler sentezlenmiştir. Elde edilen modifiye polistirenlerin kopma mukavemetleri, yumuşama sıcaklıkları ve sertlik tayinleri gibi çeşitli fiziko-mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta elde edilen modifiye polistirenlere bağlanan fonksiyonel grupların özelliklerine bağlı olarak kıyaslamalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fiziko-Mekanik Özellikler, Modifikasyon, Polistiren

## Research of Physico-Mechanical Properties of Modified Polystyrenes

### ABSTRACT

Polystyrene is one of the most widely used synthetic polymer in daily life. In this study, the chemical modification of polystyrenes which have different molecular weight, with maleic anhydride and acetic anhydride in the presence of catalyst ( $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) and in the optimum conditions which have been found in previous studies, has been done and some polyfunctional groups ( $\text{CH}_3\text{CO}-$  and  $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ ) containing polystyrenes have been manufactured. Various physico-mechanical properties as tensile strengths, softening temperatures and hardness determination of modified polystyrenes have been researched. Finally, modified polystyrenes have been compared depending on functional groups.

**Keywords:** Modification, Physico-Mechanical Properties, Polystyrene

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeni özelliklere sahip polimerik malzemeler, polimer ve plastik teknolojisi için büyük öneme sahiptir, monomerlerin polimerleştirilmesi ve kimyasal modifikasyonu ile sentezlenebilirler. Son yıllarda, polifonksiyonel polimerlerin sentezi ve kimyasal modifikasyonu ve fiziko-mekanik özelliklerinin artırılması ile ilgili çalışmalar çoğalmaktadır. Sanayide yaygın olarak üretilmekte olan değişik molekül ağırlıklı polistirenlerin yüksek sertlik, dielektrik, optik özelliklerinin yanı sıra, bazı fiziko-mekanik özelliklerinin düşük olması, onların kullanım alanlarının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, polistirenin yapısına çeşitli fonksiyonel grupların bağlanması onun bazı eksik özelliklerinin giderilmesini ve yeni özellikler kazanmasını sağlamaktadır. [1-7]

Bu çalışmada değişik molekül ağırlıklı polistirenlerin maleik anhidritle ve asetik anhidritle,  $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  katalizörlüğünde daha önce belirlenmiş optimum reaksiyon şartlarında kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilmiş, yapısında ( $\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ ) ve ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) grup içeren modifiye polistirenler elde

edilmiştir. Farklı yapılarla sahip modifiye polistirenlerdeki fonksiyonel grupların fiziko-mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

### 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneylerde ortalama molekül ağırlığı 230.000 g/mol, 350.000 g/mol ve 500.000 g/mol olan polistirenler, modifikatör olarak maleik anhidrit ve asetik anhidrit kullanıldı. Modifikasyon reaksiyonunun gerçekleştirilmesi için katyonik katalizör olarak  $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  kullanıldı. Çözücü olarak kullanılan dikloretan, kloroform, çöktürücü olarak kullanılan metanol, analizlerde kullanılan HCl, NaOH ve diğer kimyasal maddeler Merck ve Fluka firmalarından temin edildi.

#### 2.1. Polistirenin Maleik Anhidritle Kimyasal Modifikasyon Yöntemi (Chemical Modification Method of Polystyrene with Maleic Anhydride)

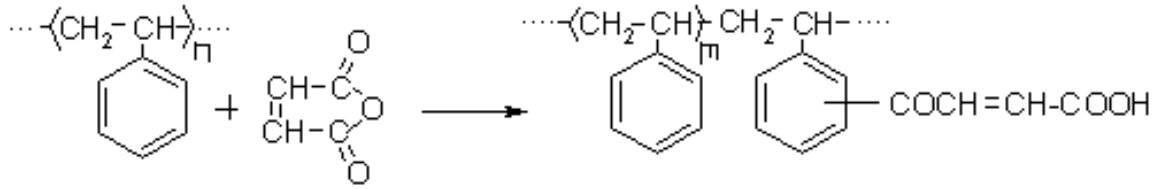
Polistirenin kimyasal modifikasyon yönteminin açıklanması için burada örnek olarak molekül ağırlığı 230.000 g/mol olan polistirenin Maleik anhidritle  $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  katalizörlüğünde kimyasal modifikasyonu verilmiştir.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: ceritalaaddin@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 67-70

Karıştırıcı, geri soğutucu, termometre ile donatılmış üç boyunlu balonda polistirenin hesaplanmış miktarlardaki çözeltilerine (örneğin, 10 gr. polistirenin 200 ml. dikloretoandaki çözeltilisine) polimer miktarının %20'si kadar modifikatör maleik anhidrit (2 gr.) karıştırılarak ilave edilir, maleik anhidrit tamamen çözüldükten sonra oda sıcaklığında 1 saat sürede maleik anhidrite göre 1:1 mol oranında katalizör olarak  $BF_3O(C_2H_5)_2$  damla-damla ilave edilir ve reaksiyonun tamamen sonlanması için 1 saat daha karıştırılır. Reaksiyon sonunda katalizör birkaç damla metanolle deaktive edilir, reaksiyon durdurulur, metanolle çöktürülür ve hiçbir yan ürün oluşmadan modifiye polistiren elde edilir.

Reaksiyon tamamlandığında karışım bir behere dökülür, modifiye edilmiş polimer metanol ile çöktürülür, vakumlu etüvde 50-60°C'de 1 saat sürede kurutulur, tartılır. [6,9,10].



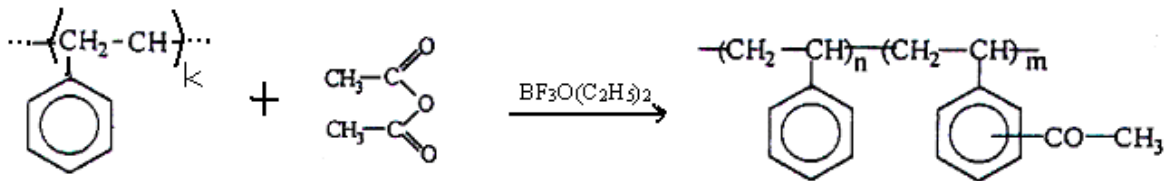
**Şekil 1.** Polistirenin Maleik Anhidritle Kimyasal Modifikasyon Denklemi (Equation of chemical modification between polystyrene and maleic anhydride)

Aynı yöntemle molekül ağırlığı 350.000 g/mol ve 500.000 g/mol olan polistiren de maleik anhidritle  $BF_3O(C_2H_5)_2$  katalizörü ortamında kimyasal modifikasyona tabi tutulmuştur.

## 2.2. Polistirenin Asetik Anhidritle Kimyasal Modifikasyon Yöntemi (Chemical Modification Method of Polystyrene with Acetic Anhydride)

Polistirenin kimyasal modifikasyon yönteminin açıklanması için burada örnek olarak molekül ağırlığı 230.000 g/mol olan polistirenin Asetik anhidritle  $BF_3O(C_2H_5)_2$  katalizörlüğünde kimyasal modifikasyonu verilmiştir.

Karıştırıcı, geri soğutucu, termometre ile donatılmış üç boyunlu balonda polistirenin hesaplanmış miktarlardaki çözeltilerine (örneğin, 10 gr. polistirenin 200 ml. dikloretoandaki çözeltilisine) polimer miktarının %20'si



**Şekil 2.** Polistirenin Asetik Anhidritle Kimyasal Modifikasyon Denklemi (Equation of chemical modification between polystyrene and acetic anhydride)

kadar modifikatör asetik anhidrit (2 gr.) karıştırılarak ilave edilir, asetik anhidrit tamamen çözüldükten sonra

oda sıcaklığında 1 saat sürede asetik anhidrite göre 1:1 mol oranında katalizör olarak  $BF_3O(C_2H_5)_2$  damla-damla ilave edilir ve reaksiyonun tamamen sonlanması için 1 saat daha karıştırılır. Reaksiyon sonunda katalizör birkaç damla metanolle deaktive edilir, reaksiyon durdurulur ve hiçbir yan ürün oluşmadan modifiye polistiren elde edilir.

Reaksiyon tamamlandığında karışım bir behere dökülür, modifiye edilmiş polimer metanol ile çöktürülür, vakumlu etüvde 50-60°C'de 1 saat sürede kurutulur, tartılır. [7,9,10]

Aynı yöntemle molekül ağırlığı 350.000 g/mol ve 500.000 g/mol olan polistirenler de asetik anhidritle  $BF_3O(C_2H_5)_2$  katalizörü ortamında kimyasal modifikasyona tabi tutulmuştur.

## 3. ANALİZLER (ANALYSIS)

### 3.1. Asit Sayısının Tayini (Determination of Acid Number)

Maleik anhidritle modifiye edilmiş 1 gram polistiren yuvarlak dipli balonda 20 ml benzende çözülür, üzerine 20 ml 0,1 N KOH (etanolde) çözeltisi ilave edilir. Sonra geri soğutucu altında su banyosunda 1 saat kaynatılır. Soğutulduktan sonra KOH fazlası 0,1 M HCl ile titre edilir. [4]. Harcanan KOH miktarından, polistirene bağlanan karboksil grubu (COOH) miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır(1):

$$A.S. = \left( \frac{mg \text{ KOH}}{g} \right) = \frac{56,1 (V_1 N_1 - V_2 N_2)}{m}$$

$V_1$  : İlave edilen KOH hacmi (ml)

$N_1$  : KOH çözeltisinin normalitesi

$V_2$  : Titrasyon için harcanan HCl hacmi (ml)  $N_2$  : HCl çözeltisinin normalitesi

m : Numune miktarı (g)

A.S. : Asit sayısı

### 3.1.1. Modifikasyona polistirenin molekül ağırlığının etkisi (Effect of molecular weight of polystyrene on modification)

Polistirenin kimyasal modifikasyonuna polistirenin molekül ağırlığının etkisini incelemek amacıyla polistiren miktarına göre %30 oranında maleik anhidrit kullanılarak; oda sıcaklığında, 55°C'de molekül ağırlığı 230.000 g/mol, 350.000 g/mol ve 500.000 g/mol olan polistirenler kullanıldı ve elde edilen modifiye polistirenlere bağlanan karboksil grup miktarları titrasyon metoduyla tesbit edildi sonuçta düşük molekül ağırlığa sahip polistirenlerin yüksek molekül ağırlığa sahip polistirenlere nazaran yapılarına daha fazla karboksil grup bağladıkları tesbit edildi.

### 3.3. Vicat Yumuşama Sıcaklıkları Tayini (Determination of Vicat Softening Temperature)

Yapısında  $CH_3CO-$  ve  $CH_2-CH=CH-COOH$  grupları bulunan modifiye polistirenler basınçlı enjeksiyon cihazında tablet haline getirilip vicat cihazında 1°C/dk hızla ısıtılmış ve cihazın iğnesinin 1 mm numuneye geçtiği andaki sıcaklık yumuşama sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. [11]

### 3.4. Kopma Mukavemeti Tayini (Determination of Tensile Strength)

Yapısında vinilketon grupları bulunan modifiye polistirenler basınçlı enjeksiyon cihazında tablet haline getirilip çekme-basma test cihazında çekme testine tabi tutularak kopma mukavemetleri tesbit edilmiştir. Elde edilen kopma mukavemeti değerleri aşağıda görülmektedir. [11]

**Tablo 1.** Polistirenin maleik anhidritle modifikasyonuna molekül ağırlığının etkisi (Effect of molecular weight on modification between polystyrene and maleic anhydride)

Maleik Anhidrit Miktarı (%)	Sıcaklık (°C)	$M_n$ (g/mol)	Asit Sayısı (mg KOH / g)
30	55	230.000	56,13
		350.000	48,13
		500.000	39,88

### 3.2. Asetil Grup Sayısının Tayini (Determination of Acetyl Group Number)

Sentezlenen modifiye polistirenlerin aromatik halkasına bağlanan  $CH_3-CO-$  grup miktarları reaksiyon ortamında oluşan asetik asidin titrasyonu ile tayin edildi. Düşük molekül ağırlıklı modifiye polistirenlerin yüksek molekül ağırlıklı modifiye polistirenlere göre yapılarına daha fazla karbonil grup bağladığı görüldü. Sonuçlar Tablo ile verilmiştir. [8]

### 3.5. Sertlik Tayini (Determination of Hardness)

Yapısında vinilketon grupları bulunan modifiye polistirenler basınçlı enjeksiyon cihazında tablet haline getirilip sertlikleri sertlik tayin cihazında tesbit edilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri aşağıda görülmektedir. [11]

**Tablo 2.** Polistirenin asetik anhidritle modifikasyonuna molekül ağırlığının etkisi (Effect of molecular weight on modification between polystyrene and acetic anhydride) (Asetik anhidrit miktarı polistirene göre %20, Sıcaklık = 30°C)

No	$M_n$ (g/mol)	AA:Katalizör	Sıcaklık(°C)	$CH_3CO-$ (% mol)
1	230,000	1:1	30	10,5
2	350,000	1:1	30	9,8
3	500,000	1:1	30	4,9

**Tablo 3.** Modifiye polistirenlerin Vicat Yumuşama Sıcaklıkları (Vicat softening points of modified polystyrenes)

Modifikatör	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)
Maleik Anhidrit	230.000	76,7
	350.000	74,3
	500.000	71,2
Asetik Anhidrit	230.000	77,3
	350.000	72,5
	500.000	69,4

**Tablo 4.** Modifiye Polistirenlerin Kopma Mukavemetleri (Tensile strengths of modified polystyrenes)

Modifikatör	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kopma mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> )
Maleik Anhidrit	230.000	3,62
	350.000	3,46
	500.000	3,11
Asetik Anhidrit	230.000	3,79
	350.000	3,51
	500.000	2,97

**Tablo 5.** Modifiye Polistirenlerin Sertlik Tayini Sonuçları (Hardness measurement results of modified polystyrenes)

Modifikatör	Molekül Ağırlığı(g/mol)	Sertlik (Shore D)
Maleik Anhidrit	230.000	87,54
	350.000	83,97
	500.000	79,03
Asetik Anhidrit	230.000	85,69
	350.000	82,78
	500.000	80,71

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Molekül ağırlığı 230.000 g/mol, 350.000 g/mol ve 500.000 g/mol olan polistirenlerin (BF<sub>3</sub>·O(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>) katalizöründe maleik anhidritle ve asetik anhidritle daha önce bulunan optimum reaksiyon şartlarında kimyasal modifikasyonundan aromatik halkasında CH<sub>2</sub>-CH=CH-COOH ve CH<sub>3</sub>CO- gruplar bulunduran modifiye polistirenler sentezlenmiştir. Düşük molekül ağırlıklı polistirenlerin yapısına daha fazla fonksiyonel grup bağladığı görülmektedir (Tablo 1 ve 2). Bunun nedeni ise düşük molekül ağırlıklı polimerlerin polimer zincirlerinin daha kısa olması sebebiyle polimerde daha fazla zincir ve zincir ucunun bulunması, zincir uçlarının sayısının daha fazla olması nedeniyle de fonksiyonel grupların bu noktalardan daha çok bağlanabilmesidir. Daha fazla fonksiyonel grup barındıran modifiye polistirenler ise daha yüksek fiziko-mekanik özellikler gösterebilmektedir. Sonuç olarak, düşük molekül ağırlıklı modifiye polistirenler yapısına daha fazla fonksiyonel grup bağladığından Vicat yumuşama sıcaklıkları, kopma mukavemetleri ve sertlik değerleri daha yüksek elde edilmiştir (Tablo 3, 4 ve 5).

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kurbanlı R., Mirzaoğlu R., Karataş İ., Kara H., "Polimer Kimyası", Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Konya, (2003).
- [2] Biswas M.; Chatterjee S. "Chemical modification of polystyrene-IV. Electrophilic substitution of polystyrene with *cis*-1,2,3,6 tetrahydrophthalic anhydride", *European Polymer Journal*, 19, 317-320 (1983).
- [3] Kurbanlı R., Okudan A., Mirzaoğlu R., Kurbanov S., Karataş İ., Ersöz M., Özcan E., Ahmedova, G., Pamuk V., "Effects of the Functional Groups of Polystyrene on its Adhesion Improvement and Corrosion Resistance", *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 12 (9), 947-955 (1998).
- [4] Ahmetli G., Yazıcıgil Z., Koçak A., Kurbanlı R. "Effects of different molecular weights polystyrene on the acylation reaction and on the reaction kinetic", *Journal of Applied Polymer Science*, 96(1), 253-259 (2005).
- [5] Crawford D. M., Napadensky E., Beck Tan N., Reuschle D. A., Mountz D. A., Mauritz K. A., Laverdure K. S., Gido S. P., Liu W., Hsiao B. "Structure/Property Relationships in Polystyrene-Polyisobutylene-Polystyrene Block Copolymers", *Thermochimica Acta*, 367-368, 125-134, (2001).
- [6] Kurbanova R., Mirzaoğlu R., Akovaçlı G., Rzayev Z., Karataş İ., Okudan A., "Side-Chain Functionalization of Polystyrene with Maleic Anhydride in the Presence of Lewis Acids", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.59; 235- 241, (1996).
- [7] Mirzaoğlu R., Kurbanova R. ve Ersöz M. "Chemical Modification of Polystyrenes in Presence of Cationic Catalysis and Their Applications", *Handbook of Engineering Polymeric Materials*, No: 4: 837, ABD, (1997).
- [8] Cerit A., "Polifonksiyonel Polistirenlerin Derivatografik Termal Destrüksiyonunun Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
- [9] Kurbanova R., Mirzaoğlu R., Kurbanov S., Karataş İ., Pamuk V., Özcan E., Okudan A., Güler E., "Functionalization of polystyrene and adhesion studies", *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 11 (1), 105-112 (1997).
- [10] Patent No: 713873, C 08 f 212/08, "Polistirenin Yeni Modifikasyon Metodu". (1979).
- [11] Cerit A., "Vinilketon Gruplu Modifiye Polistirenlerin Sentezi ve İşılamanın Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi", *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).

# Modelling of Effects of Various Chip Breaker Forms on Surface Roughness in Turning Operations by Utilizing Artificial Neural Networks

Hüseyin GÜRBÜZ<sup>\*1</sup>, Adnan SÖZEN<sup>2</sup>, Ulvi ŞEKER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, BATMAN

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, ANKARA

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, ANKARA

(Geliş / Received : 28.08.2015 ; Kabul / Accepted : 14.10.2015)

## ABSTRACT

In this study, the effects of different chip breaker forms and cutting parameters on the surface roughness on machined surfaces were investigated experimentally in turning of AISI 1050 steel; and values of surface roughness obtained from experiments were determined with empirical equations using artificial neural networks. The utilizing of ANN was offered to determine the surface roughness depending on chip breaker forms and cutting parameters of AISI 1050 steel. The back propagation learning algorithm and fermi transfer function were used in artificial neural network. Experimental measurements data were employed as training and test data in order to train the neural network created. The best fitting training data set was attained with ten neurons in two hidden layers 6 of which were at first hidden layer and 4 of which were at second hidden layer, making it possible to predict surface roughness with precision at least as good as that of the experimental error over the entire experimental range. After network training,  $R^2$  value was found as 0.978, and average error as 0.018%. When the results of mathematical modelling are examined, the computed surface roughness is observed to be apparently within acceptable values.

**Keywords:** Chip Breaker Forms, Surface Roughness, Artificial Neural Network (ANN), Turning

# Tornalama Operasyonlarında Farklı Talaş Kırıcı Formlarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkilerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi

## ÖZ

Bu çalışmada, AISI 1050 çeliğinin tornalanmasında, farklı talaş kırıcı formlarının ve kesme parametrelerinin işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri deneysel olarak araştırılmış ve deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri yapay sinir ağları kullanılarak ampirik eşitlikler ile belirlenmiştir. AISI 1050 çeliğinin talaş kırıcı formlarına ve kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için yapay sinir ağlarının kullanımı önerilmiştir. Yapay sinir ağında geri yayılım öğrenme algoritması ve fermi transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Oluşturulan sinir ağını eğitmek amacıyla eğitim ve test verisi olarak deneysel ölçüm verileri uygulanmıştır. Bütün deneysel aralık üzerinde yüzey pürüzlülüğünü en iyi hassasiyet ile tahmin etmek için, en uygun eğitim veri seti, mümkün oldukça deneysel hatanın en az olduğu, on nöronlu iki gizli katmanlı ilk gizli katmanında 6, ikinci gizli katmanda 4 nöron ile elde edilmiştir. Ağ eğitildikten sonra,  $R^2$  değeri; 0.978 ve ortalama hata değeri; 0.018% olarak bulunmuştur. Matematiksel modellemenin sonuçları incelendiğinde, hesaplanan yüzey pürüzlülüğünün açık bir şekilde kabul edilebilir değerler içerisinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Talaş Kırıcı Formları, Yüzey Pürüzlülüğü, Yapay Sinir Ağları (YSA), Tornalama

## 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Surface roughness has been one of the most significant criteria in numerous mechanical products in many areas, and had great significance in the assessment of machining accuracy. The surface roughness in a turning operation is directly influenced from cutting parameters (feed rate, cutting speed, depth of cut) and by cutting tool geometry (cutting edge form, nose radius, chip

breaker form, etc.). One of the most important parameters constituting cutting tool geometry is chip breaker forms. The most common method for chip breaking is the use of chip breakers on the cutting tools. Chip breakers can be utilized for increasing chip breakability which results in efficient chip control and advanced productivity. Cutting resistance is lowered and the workpiece is given a better surface finish by chip breakers. Of different process parameters, surface finish is the most significant factor determining the quality of a workpiece. Thus the measurement of

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:huseyingurbuz@batman.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 71-83



surface roughness is a very crucial stage in metal cutting.

By a number of researchers, Mathematical models have been developed to estimate the surface roughness. Palanikumara et al. [1] analysed surface roughness in turning of FRP tubes by PCD tool, they developed empirical models correlating the surface roughness with cutting parameters such as feed rate and cutting speed. Cakir et al. [2] evaluated a mathematical modelling by examining the effects of cutting parameters and different coating material on predicting surface roughness. Also, they revealed that among the cutting parameters followed by cutting speed, feed rate has the most significant influence. Abouelatte et al. [3] predicted that surface roughness depends on tool vibrations and cutting parameters in turning. They utilized four models in order to foresee the surface roughness together with the tool vibrations and cutting parameters. The attained results are quite accurate and appropriate for predicting surface roughness. Lin et al. [4], comparing a few Mathematical models, modelled cutting force and surface roughness for turning and established the best model among them. Lalwani et al. [5] developed a model by investigating the effect of cutting parameters on cutting forces and surface roughness in finish hard turning. In their surface roughness model, the feed rate ensures primary help and exhibits most significant affect.

The development of neurobiology has permitted scientists to setup Mathematical models of neurons to simulate neural behaviour. Approaches of Artificial Neural Network (ANN) have been renowned types of evaluation calculation methods for the last decades. ANNs are good alternatives to conventional empirical modelling depending on polynomial and linear regressions in the field of process engineering [6]. ANN has already been implemented to different fields by numerous researchers [7-11]. Furthermore, in order to estimate the surface roughness of machined workpieces under different machining and cutting conditions, ANN models were used by a number of researchers. Kim et al. [12] assessed the performance of commercial chip breakers, after he used a neural network that was trained by means of the backpropagation algorithm. Crucial element forms (land, breadth, radius, etc.) directly affecting the chip formations were selected among the commercial chip breakers and were employed as input values of the neural network. Consequently, Kim et al. bettered the performance assessment method and put it into practices it to mercantile cutting tools, resulting in a significant performance. In his study, Karayel [13] submitted an ANN approach for estimation and control of surface roughness. ANN can generate a correct relationship between surface roughness and cutting parameters. Accordingly, ANN can be employed for modelling surface roughness so as to estimate real approximate values before the stage of machining. Ezugwua et al. [14] improved an ANN model for the analysis and estimation of the relationship between

cutting and processing parameters during high-speed turning. With the contribution of the neural model, a good performance was obtained with correlation coefficient between model estimation and empirical values. Ranganathan et al. [15] developed an ANN, predicting surface roughness of the machined workpiece. The most significant parameter to decide on surface roughness is the combination of feed rate and cutting speed, however the depth of cut is the least important parameter to estimate surface roughness of the machined surface. They observed a good coherence between the experimental results and predictive models. Venkata Rao et al. [16] employed the ANN to estimate surface roughness, tool wear and amplitude of workpiece vibration. The trained ANN was used to estimate surface roughness, tool wear and workpiece vibration. It was found that there is coherence between experimental data and estimated values. The estimated values were compared with the collected experimental data and percentage error was calculated. Kumar and Chauhan [17] developed ANN model which can be employed to analyse the influences of the chosen process parameters on surface roughness. It is apparent from the analysis that feed rate has important contributions. Natarjan et al. [18] developed an ANN model by means of feed-forward back-propagation network method to estimate surface roughness. The surface roughness could be effectively estimated by employing feed rate, cutting speed and depth of cut as input parameters. Taking the individual parameters, into consideration, they found that feed rate was the most effective parameter, followed by cutting speed and depth of cut. Nalbant et al. [19] modelled the experimental study of the effects of coated and uncoated inserts and cutting parameters on surface roughness through ANN. ANN might be employed as a good alternative in analysing the influences of processing parameters and cutting tool geometry on the average surface roughness. Soleimanimehr et al. [20] employed neural networks to estimate surface roughness and machining force in turning. The test of the trained networks displayed good coherence existing between their estimations and the experimental results. Paulo Davim et al. [21] studied the effect of cutting parameters by ANN models for predicting surface roughness in turning. Among cutting parameters, both cutting speed and feed rate are more important than depth of cut on surface roughness.

In this paper, the effects of different chip breaker forms and the variations in the cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) on the surface roughness in turning of AISI 1050 steel was investigated [22, 23]. The purpose of the study proposes a new approach based on artificial neural networks (ANNs) to determine the effects of different chip breaker forms on the surface roughness in machining of AISI 1050 with empirical equation. The empirical equation with high accuracy is obtained by ANN using experimental data obtained from experimental studies.

## 2. MATERIAL AND METHODS (MATERİYAL VE YÖNTEM)

### 2.1. Experimental Study (Deneysel Çalışma)

In the tests, workpiece material of AISI 1050 (DIN 1.1210) is mostly employed in manufacturing. The chemical composition of AISI 1050 steel obtained by spectral analysis is shown in Table 1.

**Table 1:** The chemical composition of AISI 1050 steel (AISI 1050 Çeliğın kimyasal bileşimi)

% C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,430	0,212	0,730	0,0197	0,0390	0,0776
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Fe
0,00752	0,0972	0,0110	0,00603	0,297	98,06

As specified by ISO 3685, SNMG 120408R inserts and PSBNR 2525M12 tool holder having 75° approaching angle were utilized in the experiments. Five groups of chip breaker forms were also utilized in the experiments. The chip breaker forms are STD, MS, GH, SA and MA of Mitsubishi Co. [24]. These inserts are Mitsubishi UC6010 coated grade corresponding to ISO P15 grade. The geometry of the chip breaker being sold by Mitsubishi is illustrated in Table 2. and Figure 1. Though chip breakability can be expressed by various parameters, the study, chip breakability was assessed by two shape elements such as lengths and angles, which were the most significant elements affected during chip breaking. Technical specifications of cutting tools are presented in Table 3. [24].

experiments are shown in Table 4. JOHNFORD T35 CNC Lathe was used in the tests.

**Table 4.** Levels of input parameters (Girdi parametre seviyeleri)

<b>Cutting speed, V (m/min)</b>	150 – 200 – 250 – 300 - 350
<b>Feed rate, f (mm/rev)</b>	0,15 – 0,25 – 0,35
<b>Depth of cut, a (mm)</b>	1,6 – 2,5

Average surface roughness (Ra) was measured using “Mahr-Perthometer M1” a surface roughness measuring device. The measurements were repeated three times in 5.6 mm sample length and arithmetic averages were taken. 30 tests were fulfilled for each chip breaker form.

**Table 2.** Chip breakers could be determined shape elements (Talaş kırıcıların geometrik özelliklerinin belirlenmesi)

Chip breaker Type	Shape elements (Lengths ( $l$ ) and Angles ( $\alpha$ )) for determined chip breaker				
	$\alpha_1$	$l_1$	$\alpha_2$	$l_2$	$\alpha_3$
<b>STD</b>	0°	0.25	15°	1.05	15°
<b>MS</b>	15°	0.50	25°	0.95	25°
<b>GH</b>	0°	0.32	18°	2.48	25°
<b>SA</b>	10°	0.30	25°	0.57	35°
<b>MA</b>	6°	0.2	22°	0.9	30°

**Table 3.** Technical specifications of cutting tools used for the tests (Deneylerde kullanılan kesici takımların teknik özellikleri)

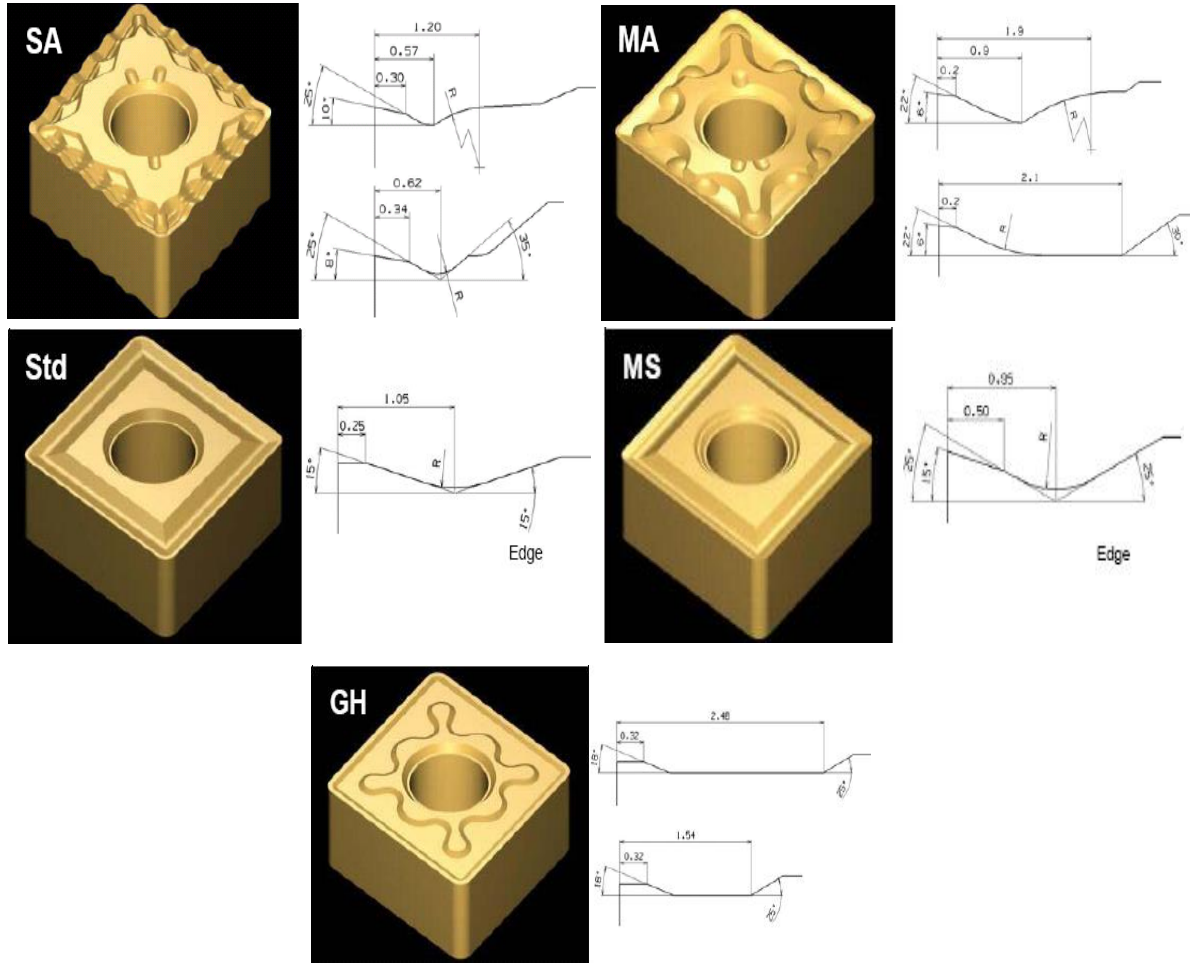
Grade	Hardness (HRA)	Torsional Strength (Gpa)	Coated Method	Coating Layer	
				Composition	Thickness
UC6010	90,5	2,0	CVD	Three layer TiCN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiN	Thick

Machining tests were performed by using five levels of cutting speeds, three levels of feed rate and two levels of cut depth. The cutting parameters used in the

A total of 150 experiments were fulfilled with dry condition using new (unused) inserts in the tests. The unvarying/stable surface roughness values were

determined after whole machining was done, and decided on the surface roughness values for each test.

output data. Moreover, it can constantly retrain the new data, so that it will suitably be able to adapt to novel



**Figure 1.** The cutting tools used for the tests and their chip breaker forms [24] (Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve talaş kırıcı formları)

## 2.2. Mathematical Modelling: Artificial Neural Network (Matematiksel Modelleme: Yapay Sinir Ağları)

Artificial neural networks (ANN) have been used widely in numerous application fields. Researchers have been applying the ANN technique in a successful way to different fields and many others such as economics, engineering, mathematics and medicine. ANNs have been trained to accomplish the limitations of the traditional approaches and to work out complex problems. ANNs have been utilized for a number of purposes for example optimization, data compression, multi-sensor data fusion, classification, forecasting, speech, pattern recognition, vision, etc. Today, ANNs have been trained to figure out complicated problems that are challenging for traditional approaches [25]. ANNs have resolved the limitations the traditional approaches by extracting sought after information utilizing input data. Such as specific equation form is not need by ANN. However, it needs adequate input-

data. ANN has been studied to cope with the problems related to incomplete or imprecise information [26].

*The advantages of ANNs are rapidity, simplicity and capacity for learning out of examples when compared with classical methods. Therefore, engineering effort can be reduced in these fields. These can be learned from examples and be dealt with non-linear problems. In addition, they display robustness and fault tolerance. The tasks that ANNs cannot process influentially are those necessitating high correctness and precision as in logic and arithmetic [27].*

A significant phase of a neural network is the training step, where an input is introduced to the network with the required output and the weights are regulated so that the network attempts can generate the required output. The weights, after training, include meaningful information, while before training, they are haphazard and do not have any meaning. If it reaches an adequate level, training terminates and the network utilizes the

weights to take decisions to determine patterns or to define relations in test data [28].

There are various learning algorithms. One of the most significant algorithms is the back-propagation algorithm, having different variants. Standard back-propagation is a gradient descent algorithm. It is very challenging to know which training algorithm will be the quickest one for a submitted problem.

ANN with back-propagation algorithm learns by alternating the weights, and these alterations are saved as knowledge. Some statistical methods, essentially RMS,  $R^2$ , cov, maximum error (%), average error (%) values, were utilized for comparison. Error during the learning is called as root-mean-squared (RMS), and specified as follows [27]:

$$RMS = \left( \frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

Also, absolute fraction of variance ( $R^2$ ) and coefficient of variation in percent (cov) are stated as follows, respectively:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (2)$$

$$cov = \frac{RMS}{O_{mean}} * 100 \quad (3)$$

where  $t$  is target value,  $o$  is output value,  $p$  is pattern, and  $o_{mean}$  is the mean value of all output data. Input and output layer are normalized in the range of (-1, 1) or (0, 1) [27].

### 3. RESULTS AND DISCUSSION (BULGULAR VE TARTIŞMA)

#### 3.1. Experimental Results (DeneySEL Sonuçlar)

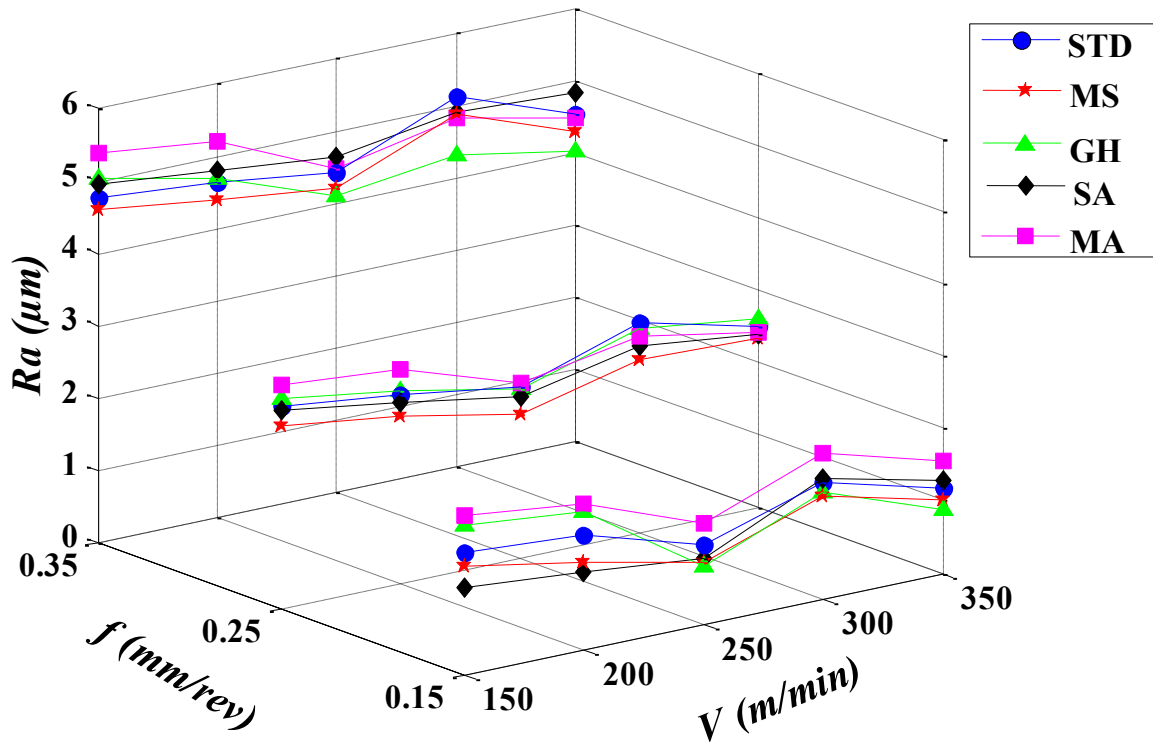
The surface roughness  $R_a$  ( $\mu m$ ) values measured by cutting tests according to change in different chip breaker forms and alterations in cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) are shown in Figure 2. Theoretically, surface roughness is a function of feed rate and nose radius. But in practice; cutting speed, cutting depth, cutting tool geometry (cutting edge form, chip breaker form, etc.) and tool wear have influence on surface roughness as well. When the graphs in Figure 2. are studied, it is seen that surface roughness  $R_a$  ( $\mu m$ ) values decreases with increasing a certain cutting speed (from  $V=150$  m/min to  $V=250$  m/min) for all chip breaker forms. This situation is in agreement with the literature [29-31]. Decreasing surface roughness values by increasing the cutting speed can be explained that it is easy for deformation process to occur because of the increasing temperature at high speeds. It is stated in built up edge theory that a rough

surface is attained at lower cutting speed and a smooth surface at higher speed. This phenomenon can be seen on the cutting tool's surface as a result of a low speed machining process. By increasing not only cutting speed but also feed rate, it has been stated by some researchers that this built up edge occurrence could be eliminated [32, 33]. However, when cutting speed was increased (from  $V=250$  m/min to  $V=350$  m/min) for all of the chip breaker forms, the surface roughness values were first observed to be on increase then again on decrease, a declining trend. This situation can be explained by higher cutting speed, above the range recommended by the producer for these cutting tools [24]. When speed limits were exceeded, the cutting tools were expected to wear faster, which has negative impact on surface quality. In the experiment, the best surface quality could be achieved with  $V=150, 200$  m/min,  $f=0,15$  mm/rev and  $a=1,6$  mm with cutting tool having SA chip breaker form. SA chip breaker form gave the best results with these parameters, which is suggested for light cutting by manufacturer [24]. Generally, the highest surface roughness values were obtained for the tool having the MA and GH chip breaker type while the lowest surface roughness values were obtained for the tool having the MS chip breaker type. In this situation, it can be explained that excellent surface quality can be obtained with MS chip breaker form which has a sharp cutting edge and because the place where MA chip breaker begins to break chip is smaller than other chip breaker forms (Figure 1.).

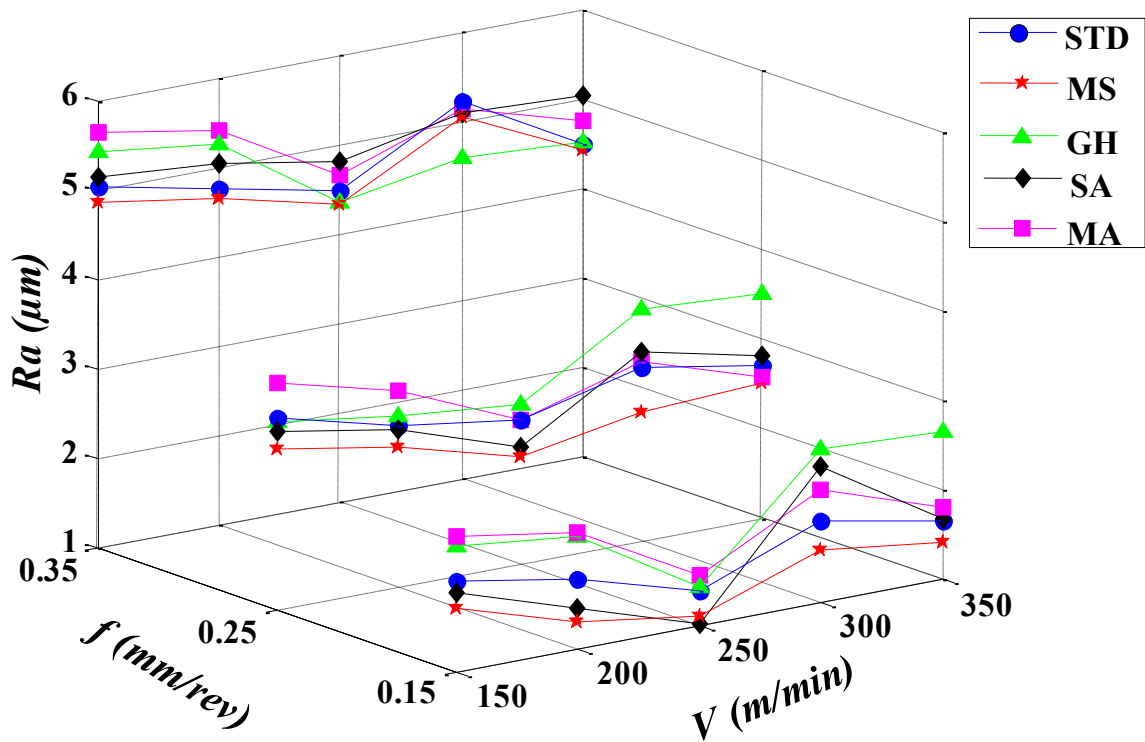
For all chip breaker forms in the experiments, when the surface quality is examined in terms of cutting depth, increasing the cutting depth worsen the surface quality for all cutting tools (Figure 2.). This result is expected due to increasing chip cross-section. When the graphs in Figure 2. are examined, the best effect on surface quality depending on the feed rate can be seen that surface roughness values increase with increasing feed rate for all chip breaker types. In this case, a basic theoretical model for surface roughness is approximated by the following equation:

$$R_{max} = \frac{f^2}{8xr_e} \quad (4)$$

Where  $f$  is the feed rate,  $r_e$  is the tool nose radius and  $R_{max}$  is maximum surface roughness. According to this model, increasing surface roughness increases the feed rate [34]. In cutting conditions where cutting speed is 250 m/min, feed rate is 0,15 mm/rev and cutting depth is 1,6 mm; and the best surface quality values in cutting conditions where cutting speed is 300 m/min, feed rate is 0,35 mm/rev and cutting depth is 2,5 mm; and the worst surface quality values are measured for all chip breaker forms.



a)  $a=1.6$  mm



b)  $a=2.5$  mm

Figure 2. Variation of surface roughness ( $\mu\text{m}$ ) depending on chip breaker forms (Talaş kırıcı formlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük ( $\mu\text{m}$ ) değişimleri)

**3.2. Results of Mathematical Analysis** (Matematiksel Analizlerin Sonuçları)

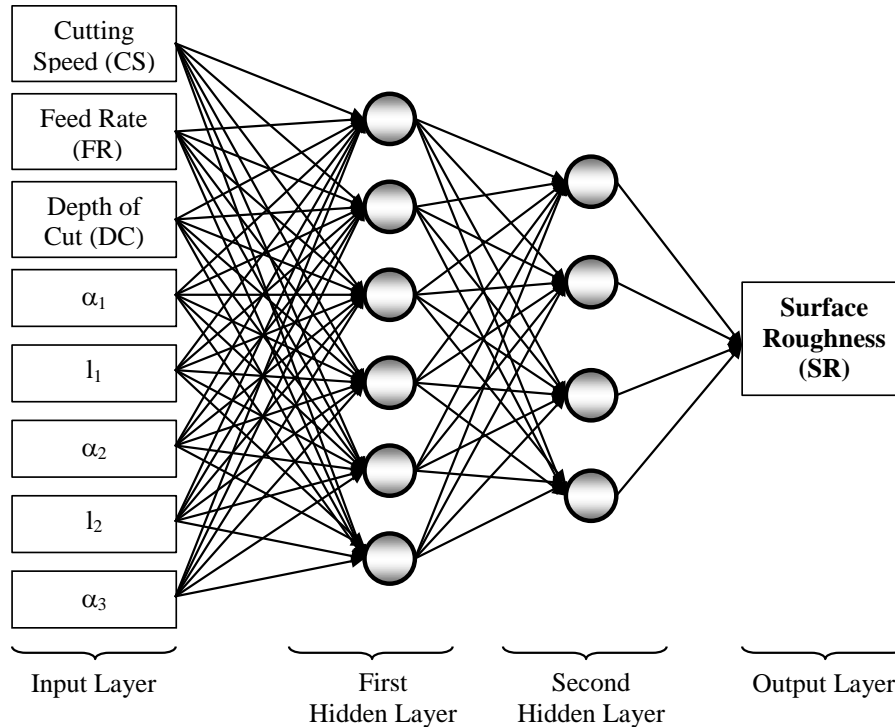
In Figure 3. the ANN structure is shown. Variant of the algorithm utilized in the study is LM. Inputs and outputs are normalized in (0, 1) range. Neurons in input layer do not have any transfer function. Fermi transfer function has been utilized. In the simplest form, products and biases are simply outlined, after that it is transformed through a transfer function to produce a consequence, and ultimately the output value is obtained [35].

Five different chip breaker forms were used in the input

equations can be used for estimation of surface roughness using different main cutting parameters.

$$SR = \frac{1}{1 + e^{-4(1,055843F_1+1,13254F_2+1,20149F_3-1,78221F_4-0.5)}} \tag{5}$$

Where;  $F_i$  ( $i=1,2,\dots,4$ ) can be calculated by Fermi function as given Eq.6.



**Figure 3.** ANN architecture with input and output parameters (Girdi ve çıktı parametreleri ile YSA mimarisi)

layer of the network. The surface roughness was in the output layer. The basic parameters such as cutting speed, feed rate and depth of cut were considered as input for ANN. The neural network was designed with 8 input data and two hidden layers, the first of which had 6 neurons and second had 4 neurons, and the output layer with 1 neuron. This structure is shown in Figure 3.

The new formulations dependent on main cutting parameters for the outputs are given with Eqs.5-7. The

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-4(N_i-0.5)}} \tag{6}$$

Where;  $N_i$  ( $i=1,2,\dots,4$ ) can be calculated by Eq.7.

$$N_i = M_{i1} * L1 + M_{i2} * L2 + M_{i3} * L3 + M_{i4} * L4 + M_{i5} * L5 + M_{i6} * L6 \tag{7}$$

The constants ( $M_{ij}$ ) in Eq.7 are given in Table 5.

**Table 5.** Constants  $M_{ij}$  in Eq.7 (Eşitlik 7'deki  $M_{ij}$  sabitleri)

M	N1	N2	N3	N4
1	0,171891	-0,289214	-1,497433	1,073023
2	0,068703	-0,369862	-0,398348	0,306286
3	0,62627	0,571017	0,012783	-6,298365
4	-0,248395	0,482941	0,461106	-3,724602
5	-0,306341	-0,342500	-3,931813	-0,254916
6	0,333525	-0,405640	0,359195	-0,324608



Where;  $L_i$  ( $i=1,2,\dots,6$ ) can be calculated by Fermi function according to Eq.8.

$$L_i = \frac{1}{1 + e^{-4(K_i - 0.5)}} \quad (8)$$

Where;  $K_i$  ( $i=1,2,\dots,6$ ) can be calculated according to Eq.9.

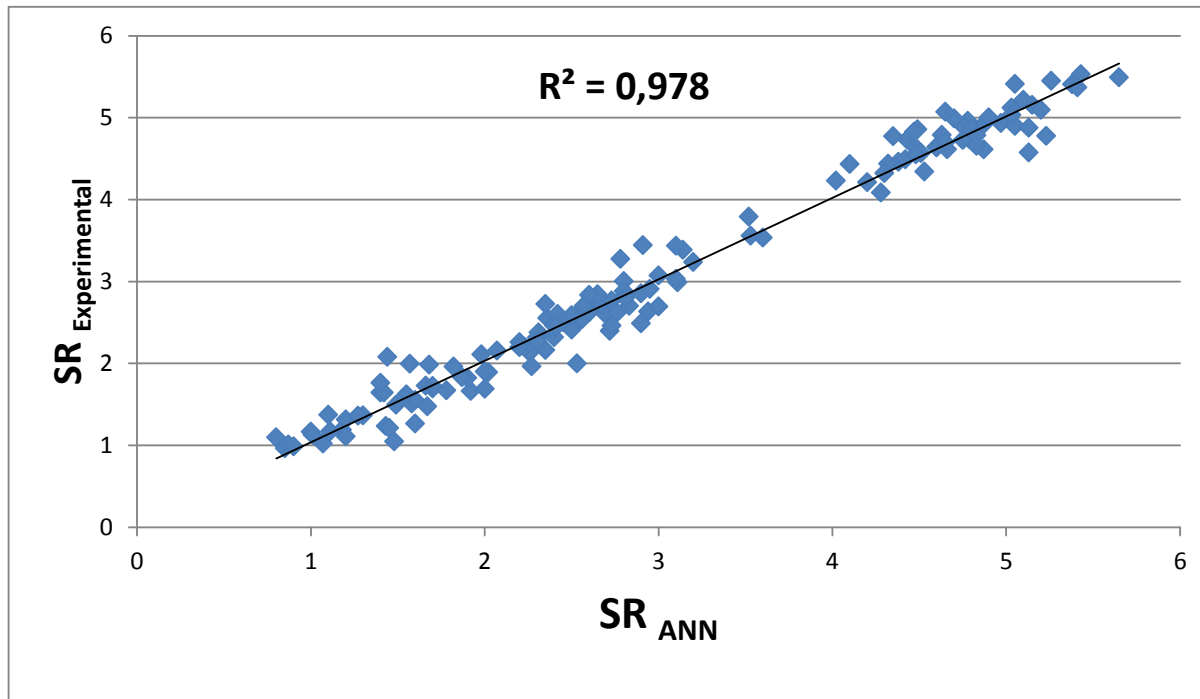
$$K_i = C_{1i} * \alpha_1 + C_{2i} * I_1 + C_{3i} * \alpha_2 + C_{4i} * I_2 + C_{5i} * \alpha_3 + C_{6i} * CS + C_{7i} * FR + C_{8i} * DC \quad (9)$$

The constants ( $C_{ij}$ ) in Eq.9 are given in Table 6.

To be used in training data, Figure 4. presents the ANN performances of determination of surface roughness. In general perspective, according to the results obtained, deviation of surface roughness between measurement and prediction of ANN is negligible in the range of  $\pm 0.1$  (Figs. 5-10) for different chip breaker forms.

**Table 6.** Constants  $C_{ij}$  in Eq.9 (Eşitlik. 9’deki  $C_{ij}$  sabitleri)

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$C_{1i}$	-1,288310	0,214114	-0,634474	1,515728	0,262504	-3,407598
$C_{2i}$	0,00001	0,000002	0,000015	0,0000012	0,0000023	0,000012
$C_{3i}$	1,403666	3,786108	1,074671	-1,983599	3,710879	1,346782
$C_{4i}$	-0,460162	0,839807	-0,530084	0,121980	-2,332993	-0,636907
$C_{5i}$	-0,394440	-6,378991	-1,114890	2,385003	0,952700	-0,661086
$C_{6i}$	0,637851	1,752643	0,269953	-0,960354	-2,880759	1,415238
$C_{7i}$	0,264350	-6,149504	-0,652018	-4,494210	-0,449337	0,439126
$C_{8i}$	-0,876865	-0,278050	1,267351	0,523114	-0,301040	1,364840



**Figure 4.** Comparison of the  $SR_{Experimental}$  data and  $SR_{ANN}$  ( $SR_{deneysel}$  veri and  $SR_{ANN}$  karşılaştırılması)

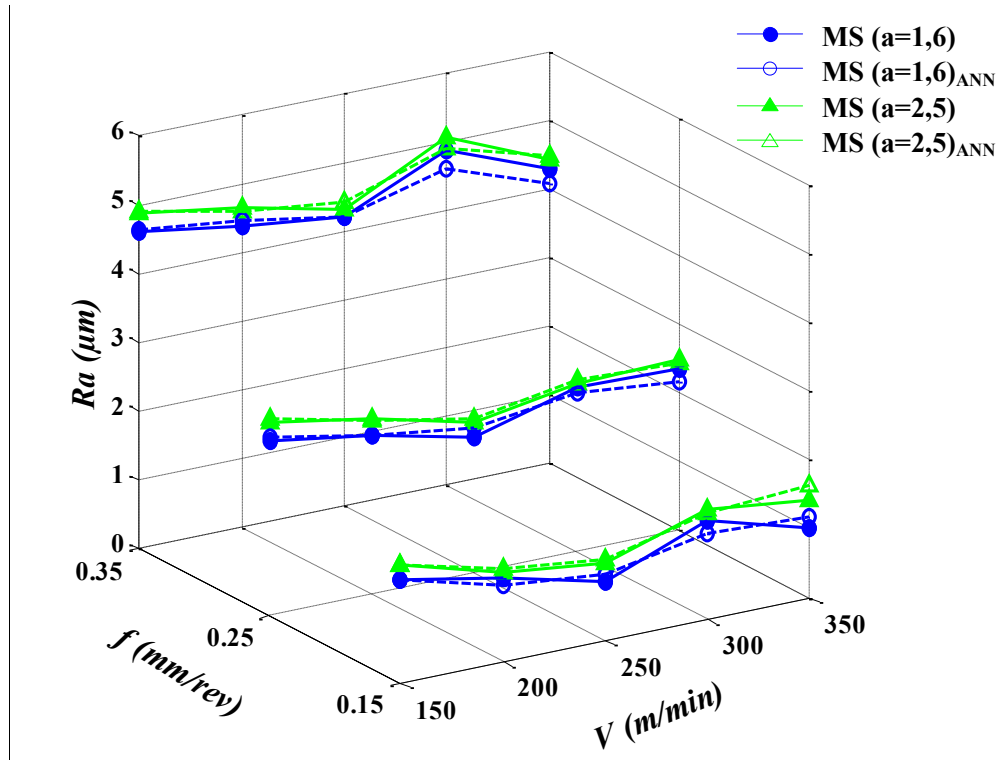


Figure 5. Performance of ANN for chip breaker forms MS (MS Talaş kırıcı formu için ANN performansı)

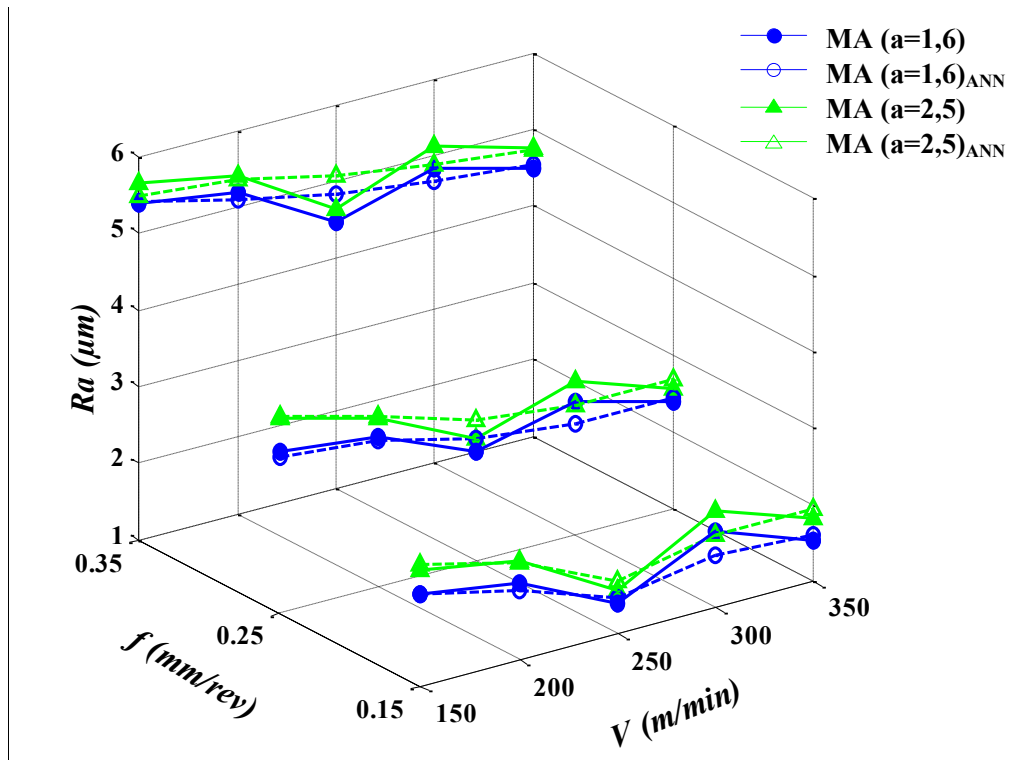


Figure 6. Performance of ANN for chip breaker forms MA (MA Talaş kırıcı formu için ANN performansı)

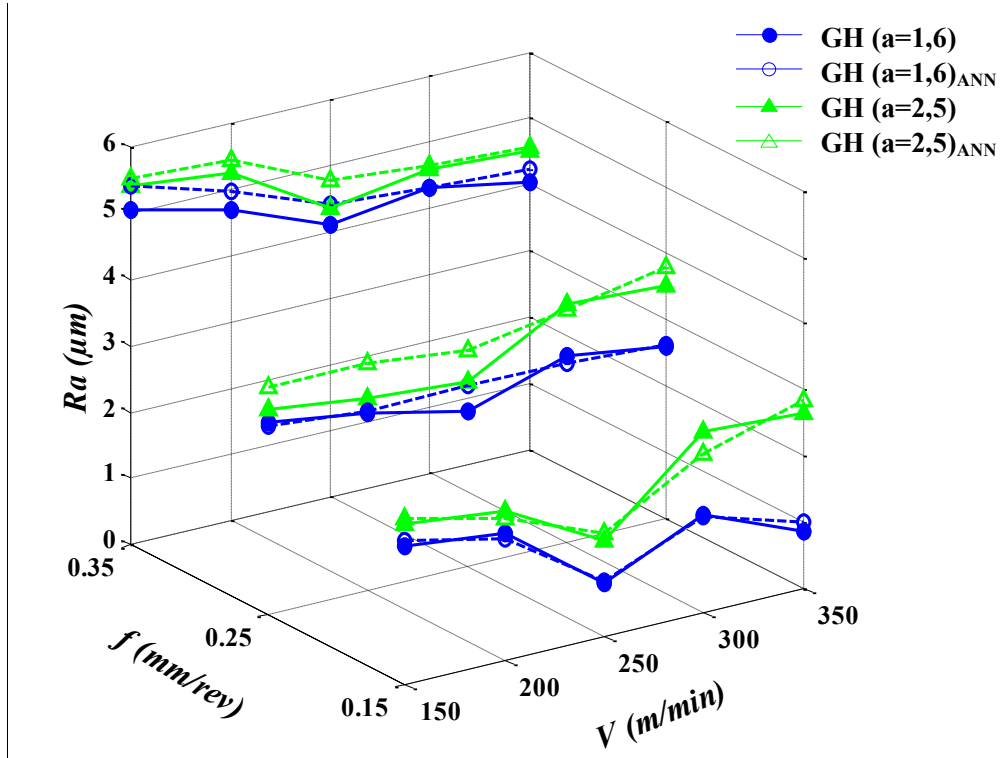


Figure 7. Performance of ANN for chip breaker forms GH (GH Talaş kırıcı formu için ANN performansı)

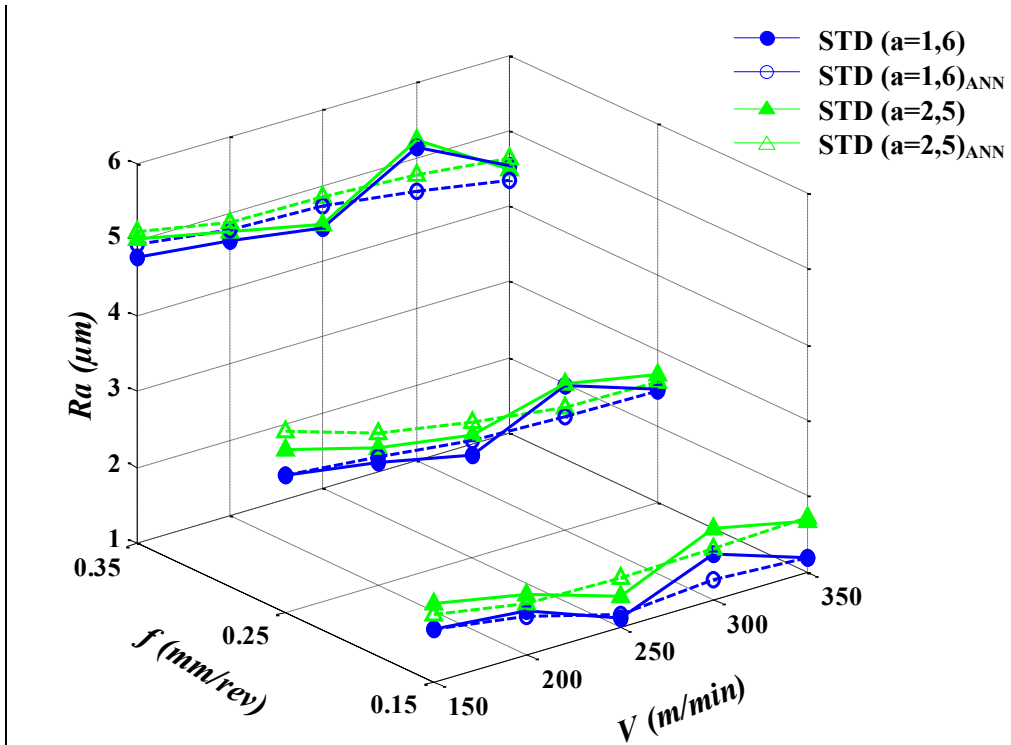


Figure 8. Performance of ANN for chip breaker forms STD (STD Talaş kırıcı formu için ANN performansı)

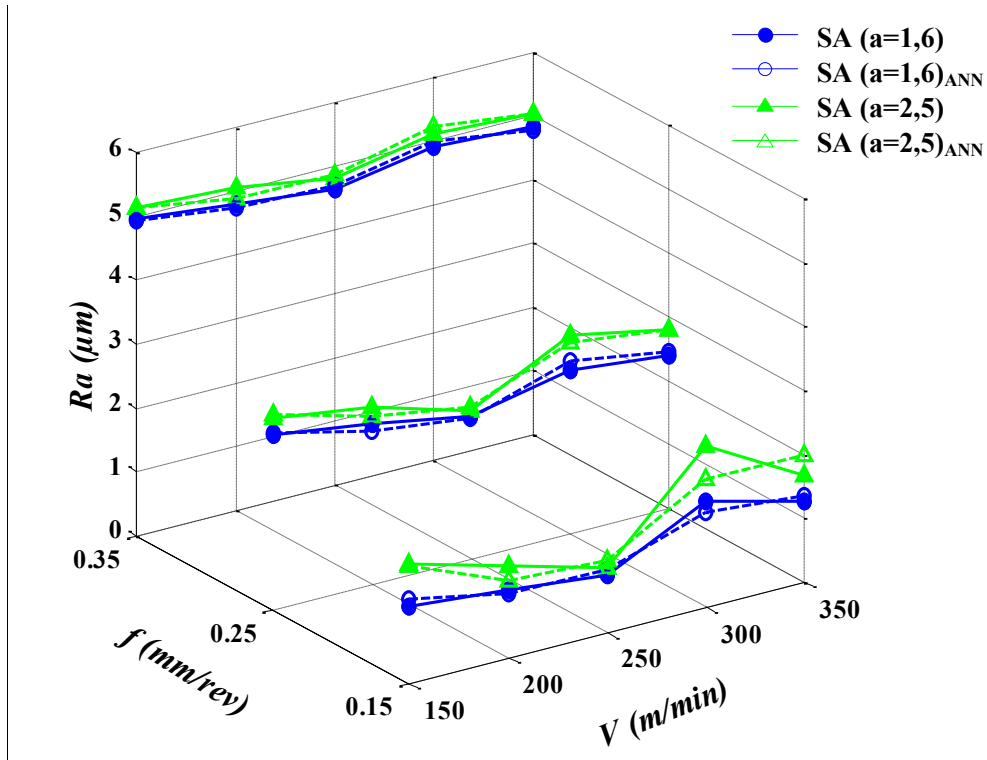


Figure 9. Performance of ANN for chip breaker forms SA (SA Talaş kırıcı formu için ANN performansı)

As the SR values attained by ANN are approximate to the actual values, they cannot be graphically shown together. Accordingly, the following Eq.(8) has been computed as deviation in values, and they have been shown graphically.

$$dSR = \frac{SR_{Measured} - SR_{ANN}}{SR_{Measured}} \tag{8}$$

In general perspective, according to the results obtained, dSR is in the range of ±10% for all experiments as shown with Figure 10.

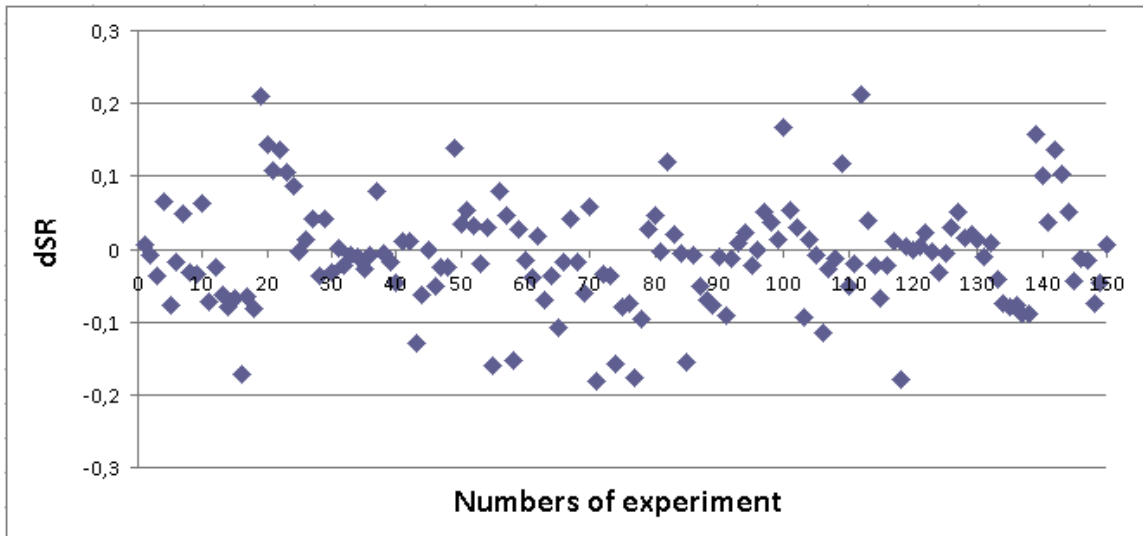


Figure 10. The deviations of surface roughness (Yüzey pürüzlülük sapmaları)

#### 4. CONCLUSIONS (SONUÇLAR)

The results of machining on the AISI 1050 workpiece using different chip breaker forms and the results of artificial neural network (ANN) model of the surface roughness are as follows:

- The surface roughness Ra ( $\mu\text{m}$ ) values increased with increasing depth of cut and feed rate for all the chip breaker types.
- While improved surface quality was observed by increased cutting speed up to 250 m/min, the surface quality was gotten worsen after 250 m/min.
- Generally, the highest surface roughness values on the chip breaker forms MA, the lowest surface roughness values on the chip breaker forms MS and SA were seen.
- In cutting conditions where cutting speed was 300 m/min, feed rate was 0,35 mm/rev and cutting depth was 2,5 mm, the highest surface roughness values and in cutting conditions where cutting speed was 250 m/min, feed rate was 0,15 mm/rev and cutting depth was 1,6 mm, and the lowest surface roughness values were measured for all chip breaker forms.
- The results of validation and comparative study indicate that the Artificial Neural Networks is based on estimation technique for the surface roughness values.
- A developed chip breaker forms tester with ANN was applied to a commercial cutting tool with different chip breaker forms and various cutting conditions to predict the surface roughness.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank to Gazi University for providing financial support for the project (Project Code: 07/2005–01).

#### 5. REFERENCES (KAYNAKLAR)

1. Palanikumara K., Mata F., Paulo Davim J., “Analysis of surface roughness parameters in turning of FRP tubes by PCD tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, 204: 469-474, (2008)
2. Cakir M.C., Ensarioglu C., Demirayak I., “Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 102-109, (2009)
3. Abouelatte O.B., Madl J., “Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 269-277, (2001)
4. Lin W.S., Lee B.Y., Wu C.L., “Modeling the surface roughness and cutting force for turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 108: 286-293, (2001)
5. Lalwani D.I., Mehta N.K., Jain P.K., “Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206: 167-179, (2008)
6. Karataş C., Sozen A., Dulek, E., “Modelling of residual stresses in the shot peened material C-1020 by artificial neural network”, *Expert Systems with Applications*, 36: 3514-3521, (2009)
7. Zuperl U., Cus F., Mursec B., and Ploj T., “A hybrid analytical-neural network approach to the determination of optimal cutting conditions”, *Journal of Materials Processing Technology*, 157(158): 82-90, (2004)
8. Özek C., Çelik Y.H., “Calculating molding parameters in plastic injection molds with ANN and developing software”, *Materials and Manufacturing Processes*, 27(2): 160-168, (2012)
9. Kurt A., “Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks”, *Expert Systems with Applications*, 36: 9645-9657, (2009)
10. Adam A.C., Hiram A.F., Matthew T.B., Steven Y.L., “Workpiece dynamic analysis and prediction during chatter of turning process”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22: 1481-1494, (2008)
11. Jamali A., Nariman-zadeh N., Darvizeh A., Masoumi A., Hamrang S., “Multi-objective evolutionary optimization of polynomial neural networks for modelling and prediction of explosive cutting process”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22: 676-687, (2009)
12. Kim H.G., Sim J.H., Kweon H.J., “Performance evaluation of chip breaker utilizing neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 647-656, (2009)
13. Karayel D., “Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 3125-3137, (2009)
14. Ezugwua E.O., Fadarea D.A., Bonney J., Da Silva R.B., Sales W.F., “Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1375-1385, (2005)
15. Ranganathan S., Senthilvelan T., Sriram G., “Evaluation of machining parameters of hot turning of stainless steel (Type 316) by applying ANN and RSM”, *Materials and Manufacturing Processes*, 25(10): 1131-1141, (2010)
16. Venkata Rao K., Murthy B.S.N., Mohan Rao N., “Prediction of cutting tool wear, surface roughness and vibration of work piece in boring of AISI 316 steel with artificial neural network”, *Measurement*, 51: 63–70, (2014)
17. Kumar R., Chauhan S., “Study on surface roughness measurement for turning of Al 7075/10/SiCp and Al 7075 hybrid composites by using response surface methodology (RSM) and artificial neural networking (ANN)”, *Measurement*, 65: 166–180, (2015)
18. Natarajan C., Muthu S., Karuppuswamy P., “Prediction and analysis of surface roughness characteristics of a non-ferrous material using ANN in CNC turning”, *Int J Adv Manuf Technol*, 57:1043–1051, (2011)

19. Nalbant M., Gökkaya H., Toktaş İ., Sur G., “The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD-and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural Networks”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25: 211-223, (2009)
20. Soleimanimehr H., Nategh M.J., Amini S., “Prediction of machining force and surface roughness in ultrasonic vibration-assisted turning using neural networks”, *Advanced Materials Research*, 83(86): 326-334, (2010)
21. Paulo Davim J., Gaitondeb V.N., Karnik S.R., “Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205: 16-23, (2008)
22. Gürbüz H., Şeker U., “The effects of chip breaker forms on the surface quality in turning operations”, *I. National Manufacturing Symposium*, October 2-3, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 198-206, (2009)
23. Gürbüz, H., “The Effect on The Cutting Tool Stresses of The Different Chip Breaker Form in Turning”, *MSc. Thesis* (in Turkish), Gazi University, Institute of Science and Technology, Ankara, Turkey, (2006)
24. Mitsubishi Carbide, “Turning tools, Rotating tools, Tooling solutions”, *General Catalogue*, A002-A005, (2005)
25. Mohandes M., Rehman S., Halawani T.O., “Estimation of global solar radiation using artificial neural networks”, *Renewable Energy*, 14(1-4): 179-84, (1998)
26. Jang J.S.R., Sun C.T., Mizutani E., “Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence”, *Prentice-Hall International*, (1997)
27. Sözen A., Özalp M., Arcaklıoğlu E., “Investigation of thermodynamic properties of refrigerant/absorbent couples using artificial neural networks”, *Chemical Engineering and Processing*, 43: 1253–1264, (2004)
28. Uluer O., Kırmacı V., Atas Ş., “Using the artificial neural network model for modeling the performance of the counter flow vortex tube”, *Expert Systems with Applications*, 36: 12256–12263, (2009)
29. Boothroyd G., “Fundamentals of metal machining and machine tools”, Second edition, *McGraw-Hill*, New York, 166-172, (1989)
30. Shaw M.C., “Metal cutting principles”, *Oxford University Press*, London, ISBN 0-19-859002-4, 594, (1984)
31. Çiftçi İ., “The influence of cutting tool coating and cutting Speed on cutting forces and surface roughness in machining of austenitic stainless steels”, *Gazi University Faculty of Engineering and Architecture Journal*, 20(2): 205-209, (2005)
32. Munoz–Escalona P., Cassier Z., “Influence of the critical cutting speed on the surface finish of turned steel”, *Wear*, 218: 103-109, (1998)
33. Thamizhmanii S., Kamarudin K., Rahim E.A., Saparudin A., Hassan S., “Tool wear and surface roughness in turning AISI 8620 using coated ceramic tool”. *Proceedings of the World Congress on Engineering* (July 2-4), Vol II WCE, London, U.K. (2007)
34. Javidi A., Rieger U., Eichlseder W., “The effect of machining on the surface integrity and fatigue life”, *International Journal of Fatigue*, 30: 2050-2055, (2008)
35. Sozen A., “Future projection of the energy dependency of Turkey using artificial neural network”. *Energy Policy*, 37(11): 4827-4833 (2009)



# Total Factor Productivity Changes of Turkey's Regional Air Transportation Using Dea With Malmquist Index

**Fatih ÇİPİL**

Turkish National Police, Elazığ, TURKEY

(Geliş / Received : 04.08.2015 ; Kabul / Accepted : 29.08.2015)

## ABSTRACT

In this study, the efficiency of the airline transportation, a fast growing sector in Turkey, was examined for 12 different regions of Turkey. The changes in the total factor productivity were evaluated by data envelope analysis (DEA) and Malmquist Index approach. Within scope of the study, 12 different regions were selected as decision maker. By collecting the necessary data of all airports in these regions, the variations in the total factor productivity values were calculated and discussed for both domestic and international lines. It is considered that the results are valuable as they offer numerical contribution to the future policies developed to make some progress in the airline transportation sector of the region.

**Keywords:** Airport, Efficiency, Productivity change, DEA

## 1. INTRODUCTION

Today, different cooperation, e.g., technical, economical, financial, commercial, administrative and institutional, are established between countries and cities regardless of how far the distances are. The safe and comfortable transportation of people and goods within a short period can be achieved by airline transportation. It is well-known that airline transportation accelerates the economic and technological developments in local, regional, national and international scales. Besides, it is thought that airline transportation allows different people to come together and lets them know each. Thus, it also makes social and cultural contributions to the communities.

Within the scope of this study, relative performance evaluation was performed by applying DEA approach so as to determine if 12 regions of Turkey were using their airline transportation effectively or not. Meanwhile, to monitor the variation of the performance with time, total factor change of the airline transportation was examined by Malmquist Index approach. During EU harmonization process of Turkey, these analysis will help Turkey to follow new developments and tendencies appearing under the "Transportation" headline and present some numerical data to the legislations developed for transportation policies.

In recent years, in all around the world, the share of the airline transportation, for people and freight, has increased nearly at the same levels with Gross Domestic Product (GDP). The same relation also holds for Turkey. However, it was observed that, in Turkey, increases and decreases in GDP affected the airline

transportation sector more strongly than the other countries. Turkey has been one of the countries with fastest growing airline transportation sector in the recent years. On the other hand, for people and freight, the share of the airline transportation was lower than share of the road transportation. Annually, almost 200 million passengers are transported in Turkey. It is known that nearly 10 % of them are transported by means of airline, while this value reaches to 30 % in European countries having well-developed airline transportation sectors.

Similar to the changes observed in the world, there was an increase in airline transportation of people and freight in Turkey between 2004 and 2010, see Fig. 1-3. As seen from the graphs, each region has an increasing trend. Especially, the annual variations of Marmara Region are notable, see Fig. 4 and 5. It is highly probable that rapid industrialization of this region was the primary reason for this. For the other 11 regions, while the airline transportation demonstrated a decrease in some years, increasing trend was maintained for the period of 2004-2010.

In order to have sustainable developments in airline transportation, regional plans should be made and applied correctly. In this study, it was aimed to contribute the development of domestic and international airline transportation in Turkey and to help the development of airline transportation-related strategies about alignment to the EU acquis.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: tcakir1071@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.1 85-99

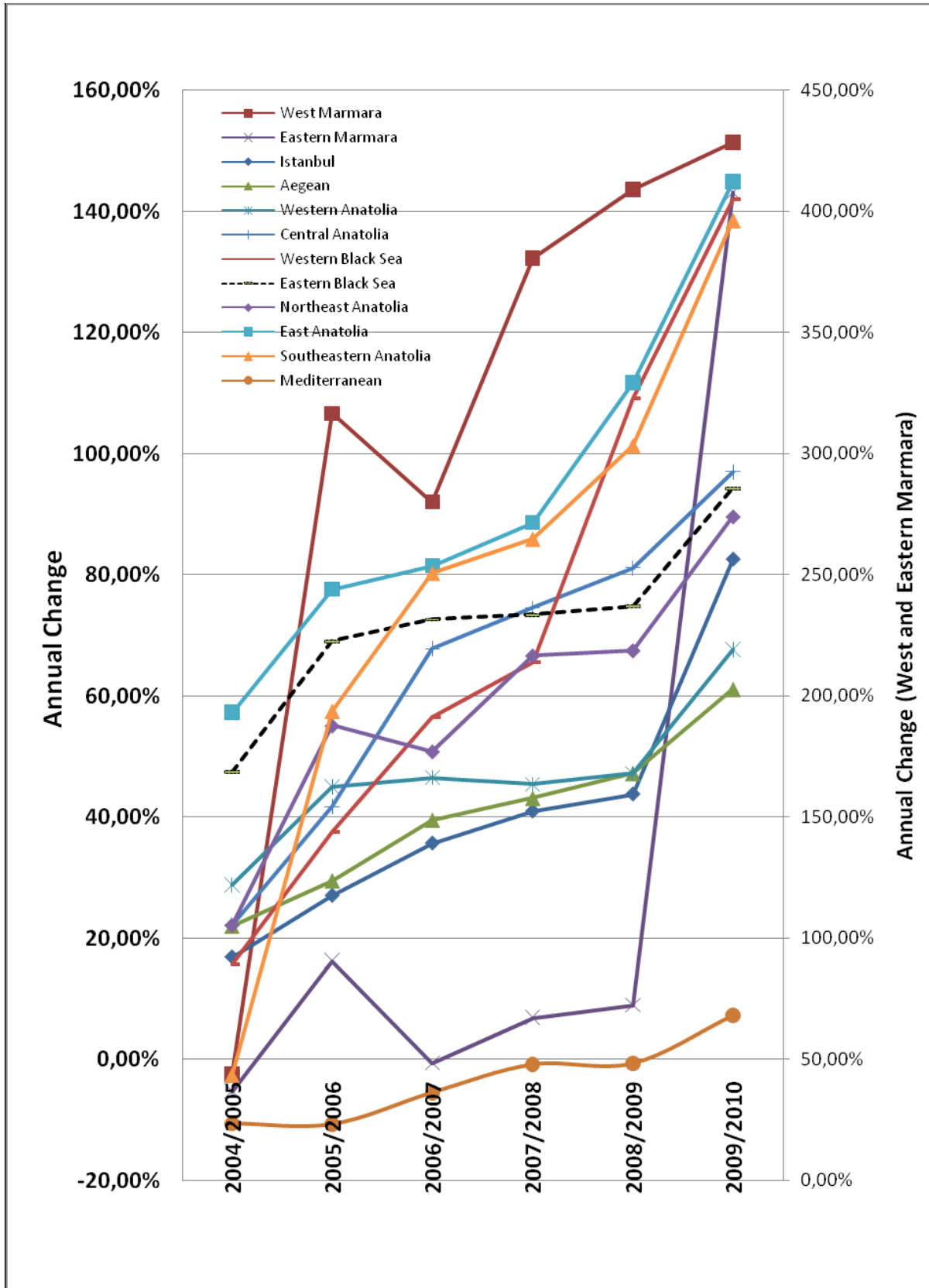


Figure 1. The annual change in the air traffic, for both arrivals and departures, between 2004-2010.

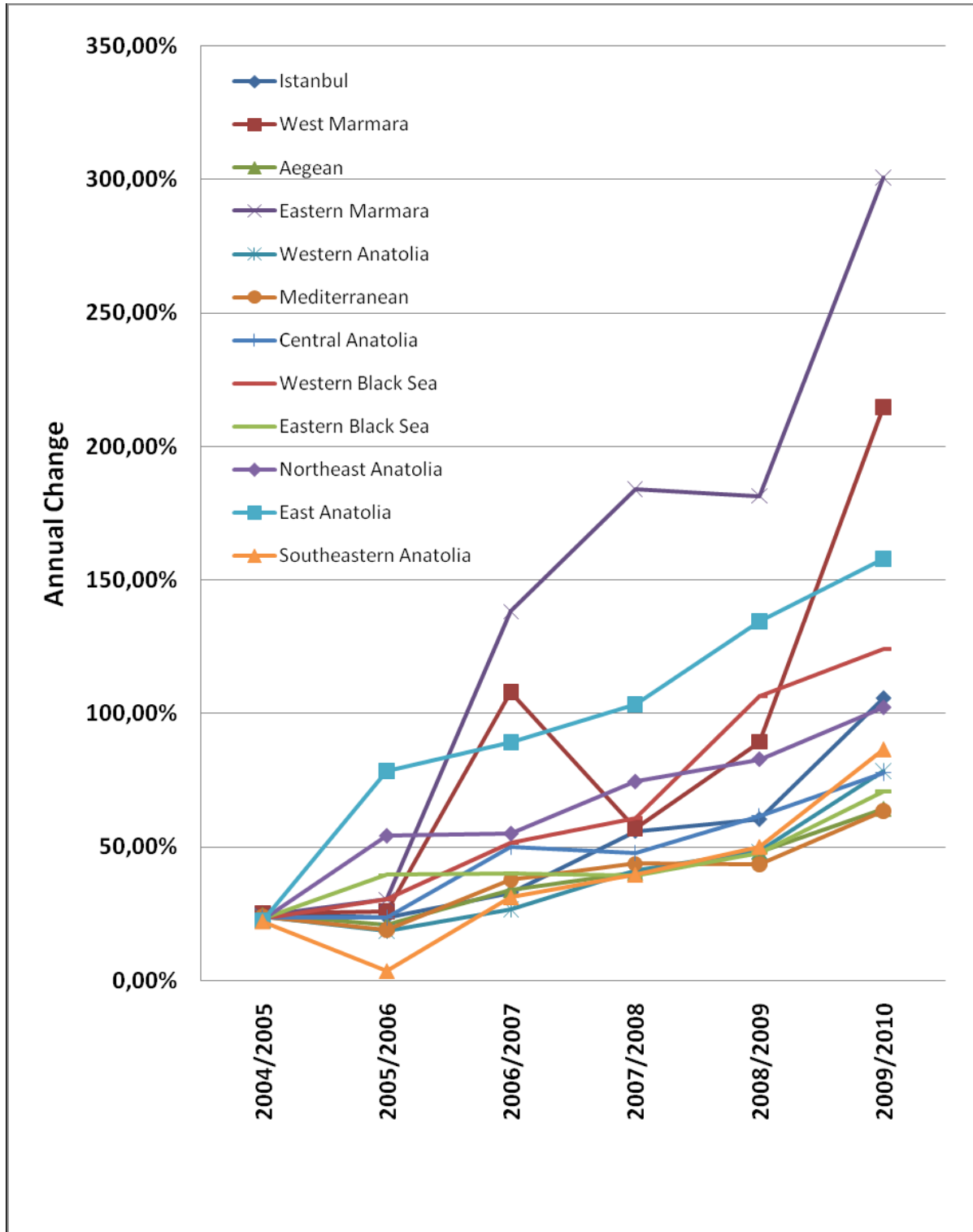


Figure 2. The annual change in the number of passengers between 2004-2010.

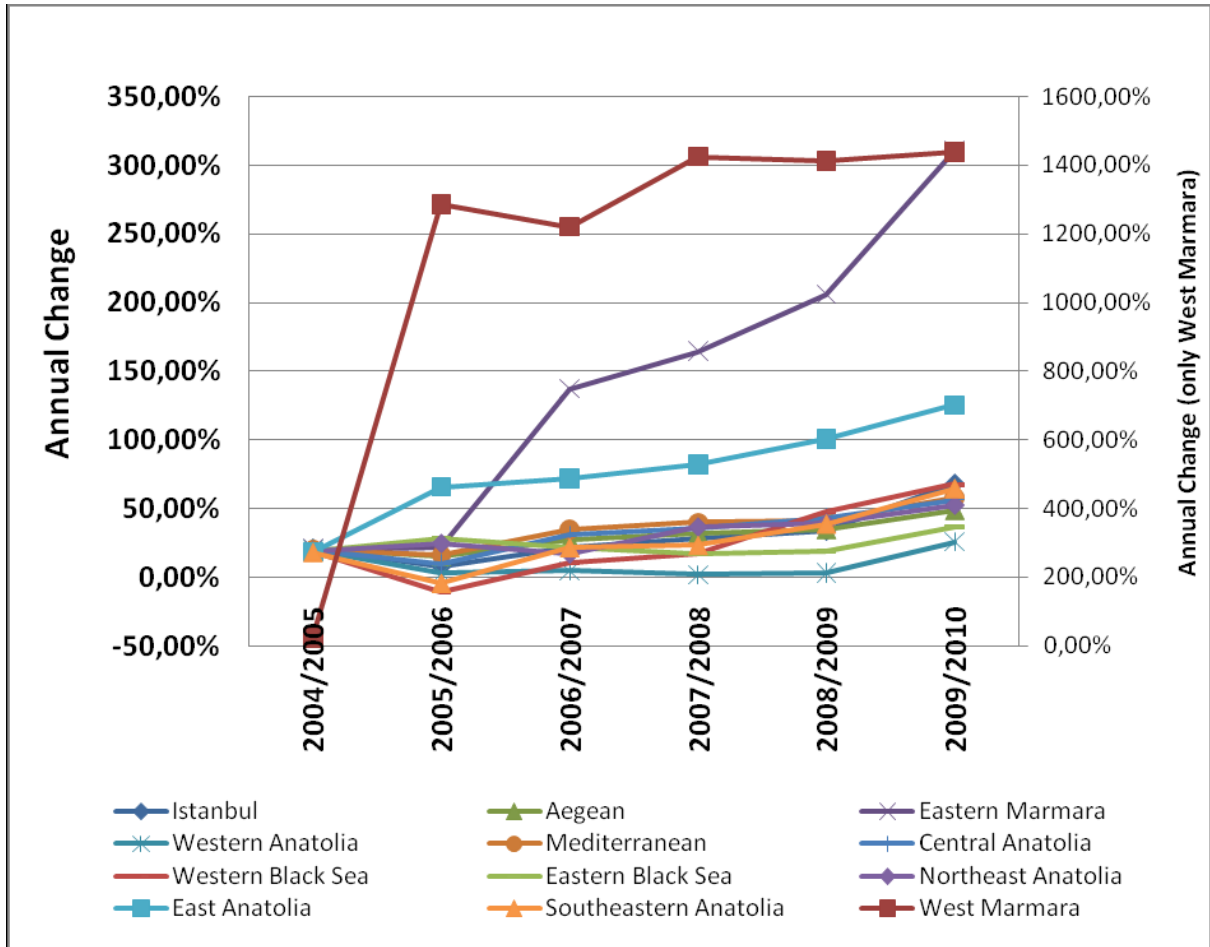


Figure 3. The annual change in the freight carried (tone) by airline in different regions of Turkey

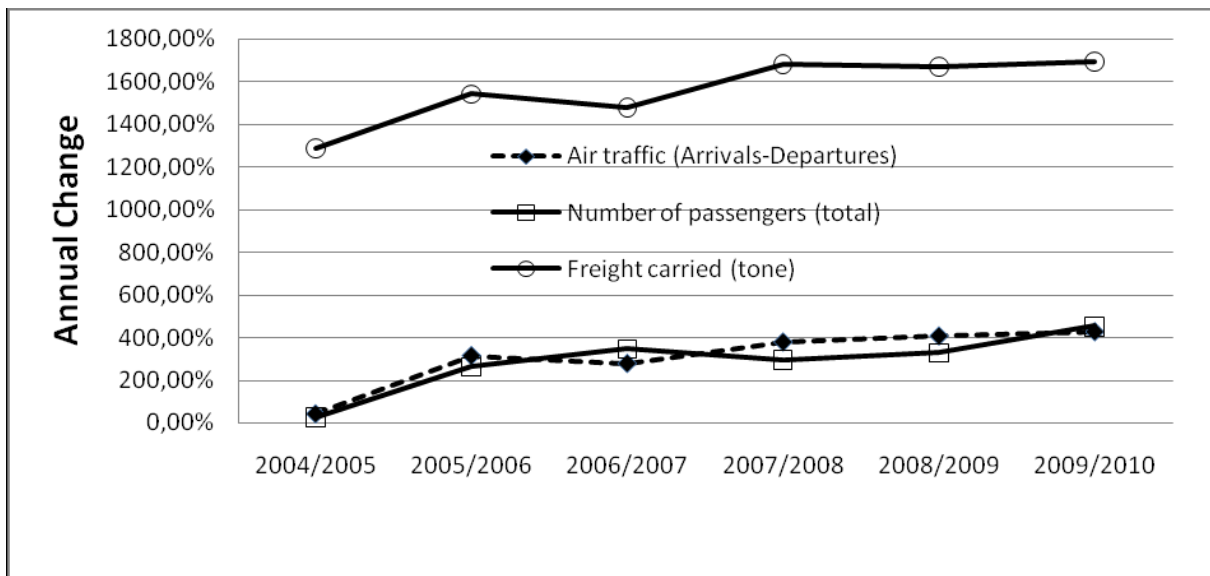


Figure 4. The annual change in the main airway indicators for Western Marmara Region

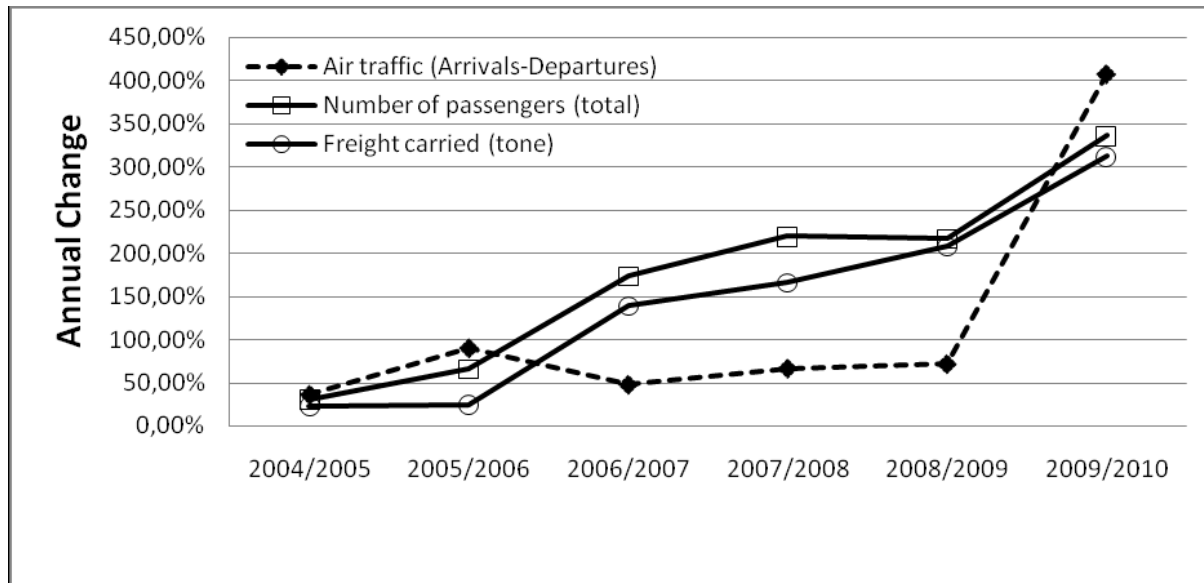


Figure 5. The annual change in the main airway indicators for Eastern Marmara Region

**2. METHODOLOGY**

**2.1. Material**

In this study, Data Envelopment Analysis (DEA), was employed to determine the air transportation performance of 12 regions of Turkey. Using the DEA models of CRS (CCR) and VRS (BCC), a section (cross-section) analysis was performed and subsequently efficiency scores were ranked. In calculations, the main air transport indicators were used as variables and regional areas were regarded as decision making units (DMU). In order to determine the efficiency, three different efficiency models were formulated taking into consideration nine input and various output variables. These models were analyzed according to their input and output values, as presented in Table 1. The aim of each model is;

domestic passengers and domestic freight carried as output,

Model 3: Determining the efficiency that uses the international air traffic as input and yields the number of international passengers and international freight carried as output

**2.2. Data Envelopment Analysis and Malmquist Index**

Data envelopment analysis (DEA) is a nonparametric technique to calculate productive efficiency of decision making units, comparable homogeneous organizations (Emrouznejad et al., 2008; Ray, 2004; Cook and Seiford, 2009; Charnes et al., 1978, Sozen et al., 2012, Sozen et al., 2011). DEA is commonly applied to estimate the relevant technology or production function

Table 1. Input and output variables used in the analysis <b>Indicators</b>	<b>MODEL 1 (Input/Output)</b>	<b>MODEL 2 (Input/Output)</b>	<b>MODEL 3 (Input/Output)</b>
Total Air traffic (arrivals-departures)		I	
Number of passengers (total)		O	
Freight carried (total)		O	
Domestic Air traffic (arrivals-departures)		I	
Number of passengers (domestic)		O	
Freight carried (domestic)		O	
International Air traffic (arrivals-departures)		I	
Number of passengers (international)		O	
Freight carried (international)		O	

Model 1: Determining the efficiency that uses the total air traffic as input and yields the number of total passengers and total freight carried as output,

Model 2: Determining the efficiency that uses the domestic air traffic as input and yields the number of

over the production possibility set defined as the feasible combinations of inputs and outputs. Here, the production function the maximum amount of output for a specified

set of inputs, given the existing technology. Since it affects decision-making, the efficiency score for the given decision-making unit can be calculated.

The Malmquist index (MI) is an index based on production function used to measure productivity change over time (Malmquist, 1953; Caves et al. 1982; Fare et al.1994). In the output-oriented MI, the production technology (P) shows the transformation of inputs x into output y in time t. The output possibility set is then;

$$P_t(x) = \{y_t, x_t \text{ can produce } y_t\} \tag{1}$$

Figure 6 illustrates production technology for period t and t+1. Technical efficiency of a DMU can be measured by an output distance function, which measures the distance of an economy from the production function. The output distance function can be related to production technology through the following equation:

$$d_t(x_t, y_t) = \min \{\theta: (x_t, y_t/\theta) \in P_t(x)\} \tag{2}$$

where,  $\theta$  defines a set of real numbers. The minimum of  $\theta$  needs to be found such that input/output combination is a part of the production technology. This is illustrated in Fig. 6 as one input and one output assumption exhibiting constant return scale (CRS). In the figure, points A and A' represent the input/output combinations of DMUo in periods t and t+1, respectively. The efficient frontier (EF) is determined by the best performing unit. When the economy is operating at point A, it produces output b. This shows that  $x_t, y_t$  is technically inefficient, since the efficiency is measured by  $O_c/O_b$  (CCR (CRS) DEA model, inefficient). If production was on the frontier, then the efficiency would be 1 (CRS DEA model, efficient). Assume that at time t+1, point A shifted to point A' and the efficient

frontier EF(t) shifted to EF(t+1). Then the efficiency change in DMUo is the ratio of the efficiency at t+1 to the efficiency at t. DEA CCR output-oriented Malmquist TFP index can be constructed based on t and t+1 technology as;

$$MI_o(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) = \sqrt{\frac{d_t^o(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_t^o(x_t, y_t)} \times \frac{d_{t+1}^o(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_{t+1}^o(x_t, y_t)}} \tag{3}$$

or graphically,

$$MI_o(t, t+1) = \sqrt{\frac{Of/Od}{Of/Og} \times \frac{Ob/Oc}{Ob/Oe}} \tag{4}$$

Fare et al. (1983) defined that  $MI > 1$  indicates productivity gain;  $MI < 1$  indicates productivity loss and  $MI = 1$  indicates the status quo from period t to t+1, i.e., no change in productivity. They showed that this index is equivalent to:

$$MI_o(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \frac{d_{t+1}^o(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_t^o(x_t, y_t)} \sqrt{\frac{d_t^o(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_{t+1}^o(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_{t+1}^o(x_t, y_t)}{d_{t+1}^o(x_t, y_t)}} \tag{5}$$

As seen from the equation, the index is composed of two parts. The first term on the right measures the change in technical efficiency, also called Catch-Up (CU) index, which is the distance function from time period t to t+1. The second term measures the technical change, also called Frontier Shift (FS) index, between time period t and t+1. In Fig.6, two components of the MI as in the last equation are represented by:

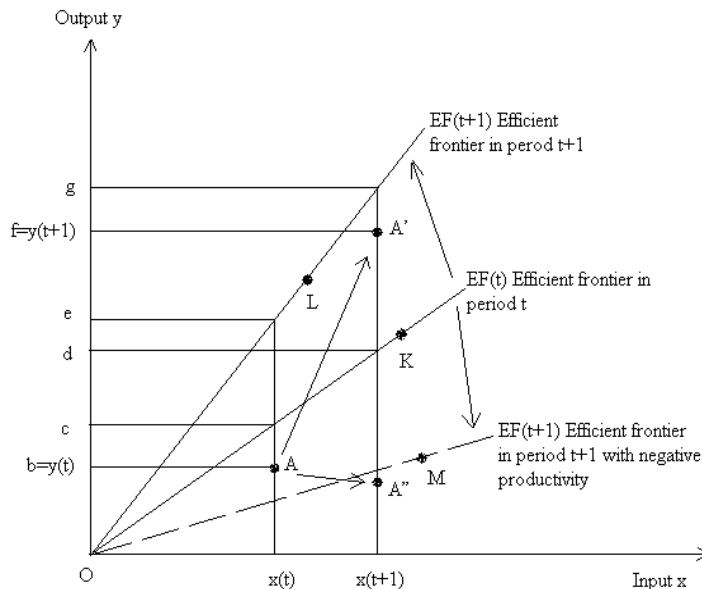


Figure 6. DEA and MI decomposition with the Efficient Frontier(EF) (Sozen et al. 2011)



$$\text{Efficiency change (EFFCH)} = \frac{Of / Od}{Ob / Oc} \quad (6)$$

$$\text{Technical change (TECCH)} = \sqrt{\frac{Of / Od}{Of / Og} \times \frac{Ob / Oc}{Ob / Oe}} \quad (7)$$

The condition  $CU > 1$  suggests that  $DMU_o$  has moved closer to the period  $EF (t+1)$  than to the period  $EF (t)$ .  $CU = 1$  and  $CU < 1$  indicate the same distance or more has been covered respectively. Referring to Fig. 6, the condition  $FS > 1$  shows that there is more output than input, indicating a positive shift in the frontier. A value of  $FS$  equal to one and less than 1 demonstrates no shift and negative shift, respectively (Hashimoto et al, 2008).

In CRS model, any radial increase in input vector, the increase of all input components at the same rate, creates a radial increase in the output vector. CCR DEA model cannot be applied globally in many economies, since it assumes that the output and input change by the same amount. Therefore, it is rather restrictive. As an extension of this approach, production technology may exhibit increasing, constant and diminishing returns to scale on the production frontiers, which are reflected in variable returns to scale (VRS) assumption, see Fig. 7. In decreasing return to scale (DRS) model, any radial increase in the input vector creates a radial increase in the output vector at a lower rate. In increasing return to scale (IRS) model, any radial increase in the input vector creates a radial increase in the output vector at a higher rate.

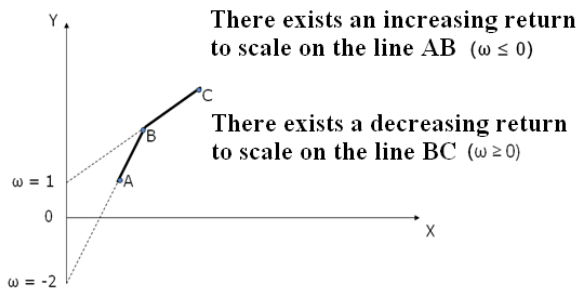


Figure 7. Variable Returns to Scale (VRS) model

Suppose that, in an economic situation where production frontier moved to  $OM$  from  $OL$  at time  $t+1$ , see Fig. 6. In this case,  $DMU$  has a positive change in technical efficiency but a negative progress. In VRS technology, efficiency change is described as the product of pure efficiency change (PECH) and scale efficiency change (SECH):

$$\text{EFFCH} = \text{PECH} \times \text{SECH} \quad (8)$$

$$\text{PECH} = \frac{d_{t+1}^c(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_t^o(x_t, y_t)} \quad (9)$$

$$\text{SECH} = \frac{d_{t+1}^c(x_{t+1}, y_{t+1}) / d_t^c(x_t, y_t)}{d_{t+1}^v(x_{t+1}, y_{t+1}) / d_t^v(x_t, y_t)} \quad (10)$$

where, the subscripts  $c$  and  $v$  represent CRS and VRS technologies, respectively (Chen et al. 2008).

Various DEA models have been proposed measuring efficiency in different ways. These models are basically categorized into two: input-oriented and output-oriented. In order to find out the input-oriented efficiency of a  $DMU$ , examination of possibilities to reduce the input(s) without reducing the output(s) should be evaluated. A model is configured to determine how much the input use of a  $DMU$  decrease in a 100% efficiency condition at a constant output level. The condition for pure to efficiency is realized when it is not possible to reduce the amount of any input without increasing some other input or reducing some output.

In contrast to input-oriented efficiency, to determine the output-oriented efficiency of a  $DMU$ , a model is configured to determine how much output increase in a 100% efficiency condition at a given input level. In this approach, pure to efficiency condition occurs when it is not possible to increase the amount of any output without decreasing some other output or increasing some input. See Fig. 8 for demonstration of the input- and output-oriented efficiencies of  $DMUs$ .

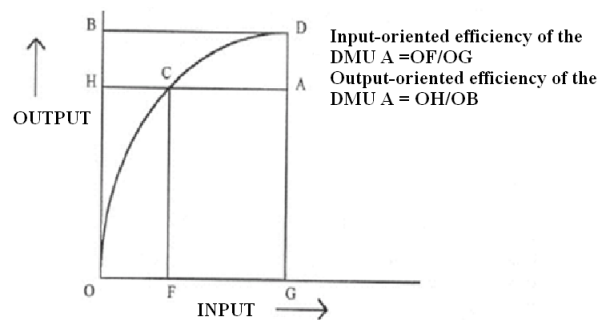


Figure 8. Input- and output-oriented efficiency

### 3. RESULTS

In this study, efficiency measurement system (EMS) and data envelopment analysis (DEA) (Coelli, 1996) were used for efficiency measurement. CRS and VRS output-oriented models were used to determine technical efficiency by maximizing outputs at a given input. The CRS efficiency scores of the regions for each model are given in Fig. 9. It should be noted that, in determination of the efficiencies, VRS efficiency analysis did not yield reliable results. For this reason, it was more reasonable to compare CRS efficiency scores. According to CRS efficiency scores of Model 1, the efficient region was the Eastern Marmara for the selected period. On the other hand, according to CRS efficiency scores of Model 2 and Model 3, the efficient region was the Western Marmara. Note that, year 2010 for Model 2 and year 2004 for Model 3 did not fit these results.

Within the scope of this study, scores of efficiency change (effch), technical change (techch) (innovation), pure technical efficiency change (pech), scale efficiency change (sech) and total factor productivity change (tfpch) were calculated. The overall efficiency of the airline transportation for 12 regions was performed through the evaluation of tfpch. It was considered that different values of tfpch indicate different conditions. For example, if the value is equal to 1 for a region, this implies that productivity of the region was the same with respect to its inputs and outputs. The value of tfpch greater than 1 indicates an increase in productivity while, values lower than 1 implies a regression in productivity.

Malmquist Index results of the Model 1 are given in Fig. 10-14 for each efficiency change. Note that, the year 2005 was considered as the base year in these diagrams. According to effch given in Fig. 10, the

region with most apparent efficiency change was the Western Marmara. While this highly industrialized region demonstrated a decrease in 2006-2007, a nearly constant efficiency change was calculated for it for the rest of the period. This can be considered as the effect of the economical crises occurred in 2007. The region, whose efficiency change altered in the positive direction with respect to the other years, was the Western Black Sea.

The variation of Techch for Model 1 is given in Fig. 11. As seen from the figure, the most significant changes in the techch were observed in the Western and Eastern Marmara Regions. In contrast to decreases in 2007 and 2009, these regions showed an increase in 2010. The other regions were in a decreasing trend between 2008 and 2010.

While in Model 1 changes in pech and techch were similar to each other, the efficiency change of West

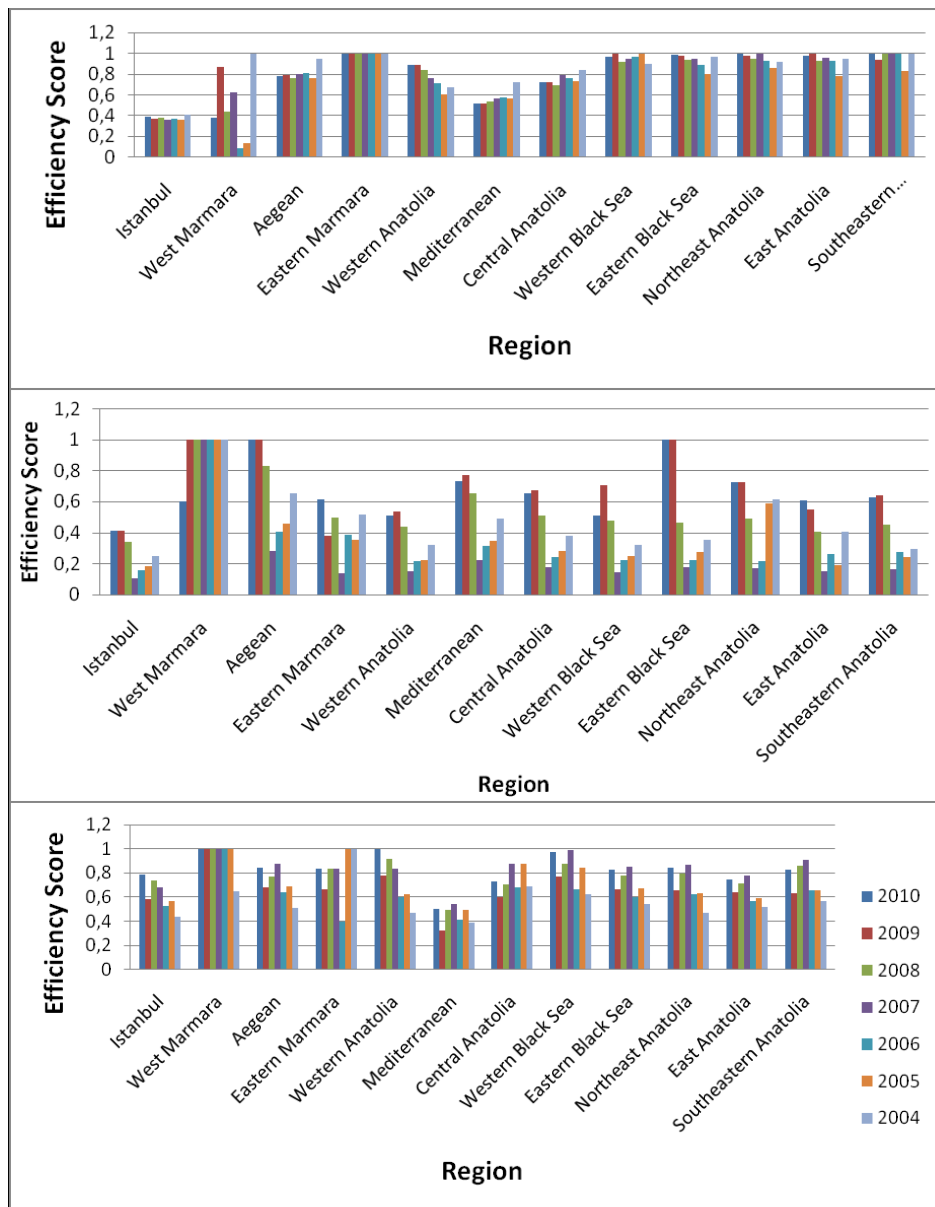


Fig.9. Efficiency scores for CRS output-oriented Model 1

Marmara Region was in the positive direction for 2009-2010 period, see Fig. 12. The efficiency change values of Mediterranean and Eastern Marmara Regions were 0 for all years. This shows that these regions maintained their efficiencies in the whole selected period.

According to scale efficiency change values of Model 1, the efficient region was the Eastern Marmara Region and the efficiency changes were 0, see Fig. 13. As the scale efficiency of the Eastern Marmara region was 1 for all years, it was taken as the reference region for

Efficiency changes obtained for Model 2 and Model 3 are given in Table 3 and Table 4, respectively. Meanwhile, total factor productivity change values for both model are given in Fig. 15 and Fig. 16, respectively. It can be revealed from Table 3 that regions with efficiency change values were smaller than 1 demonstrated decreasing trend in their efficiencies. Detailed analysis of Fig. 15, obtained by taking 2005 as the base year, shows that efficiency value were fluctuating for Western Marmara Region with a

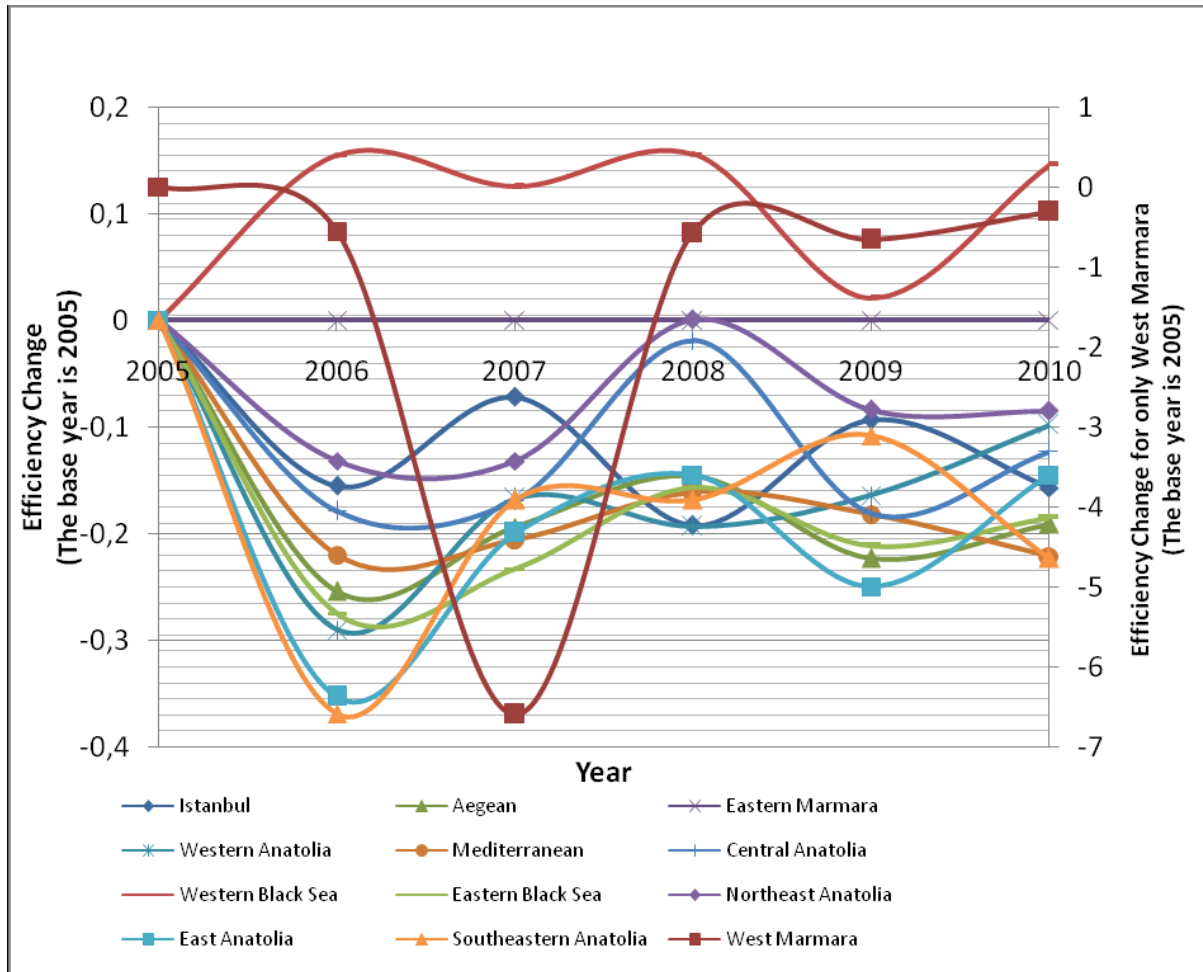


Figure 10. The results of the annual efficiency change for Model 1.

others. All other regions increased their efficiency changes in 2010.

When the total productivity change values of the Model 1 are examined, see Fig. 14, it can be seen that tfpch values of the Mediterranean Region was positive for all years examined. Total productivity changes values of both Marmara Regions were more variable than others. In Model 1, the average tfpch values of Western and Eastern Marmara Regions for the selected period were found to be smaller than 1, i.e., there was a decreasing trend, see Table 2.

decreasing trend. While the efficiency results were fluctuating for Eastern Region, an increasing trend was maintained. A similar result was also obtained for Model 3 (domestic efficiency), see Fig. 16

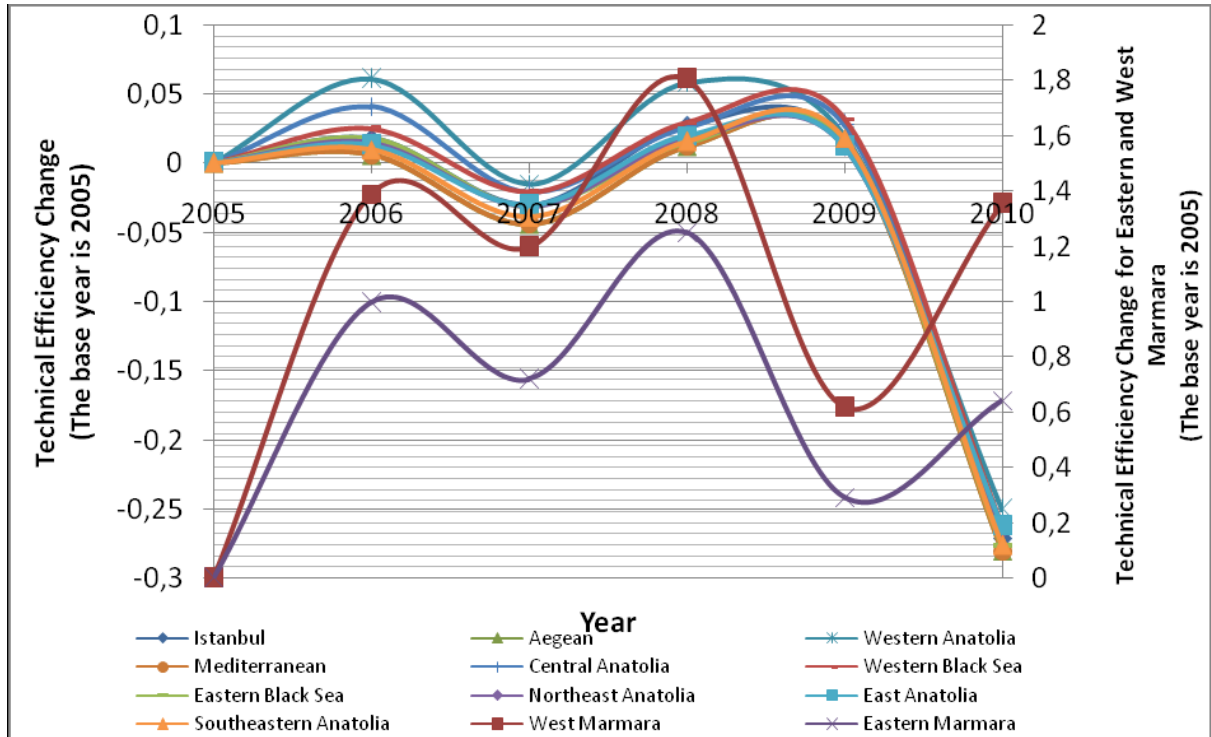


Figure 11. The annual techch results for Model 1.

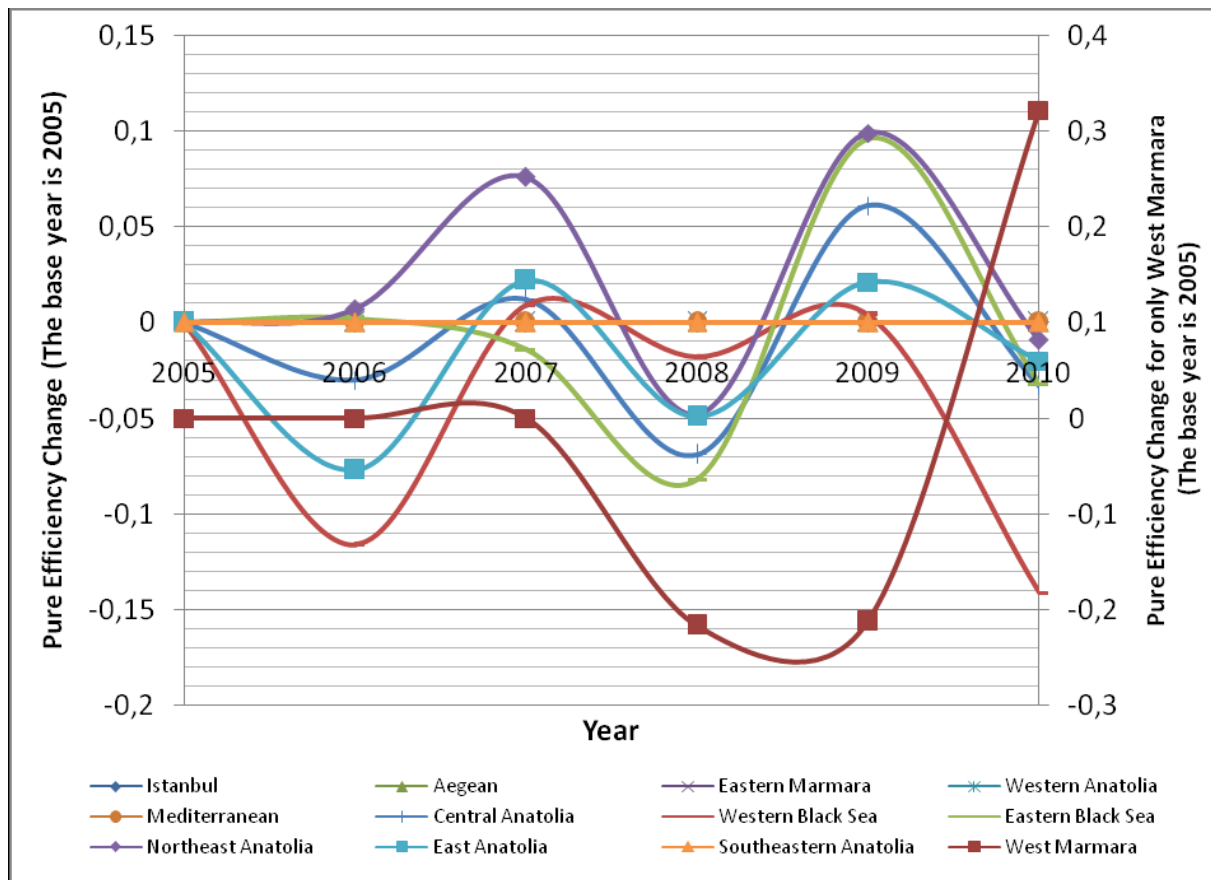


Figure 12. The annual pech results for Model 1.

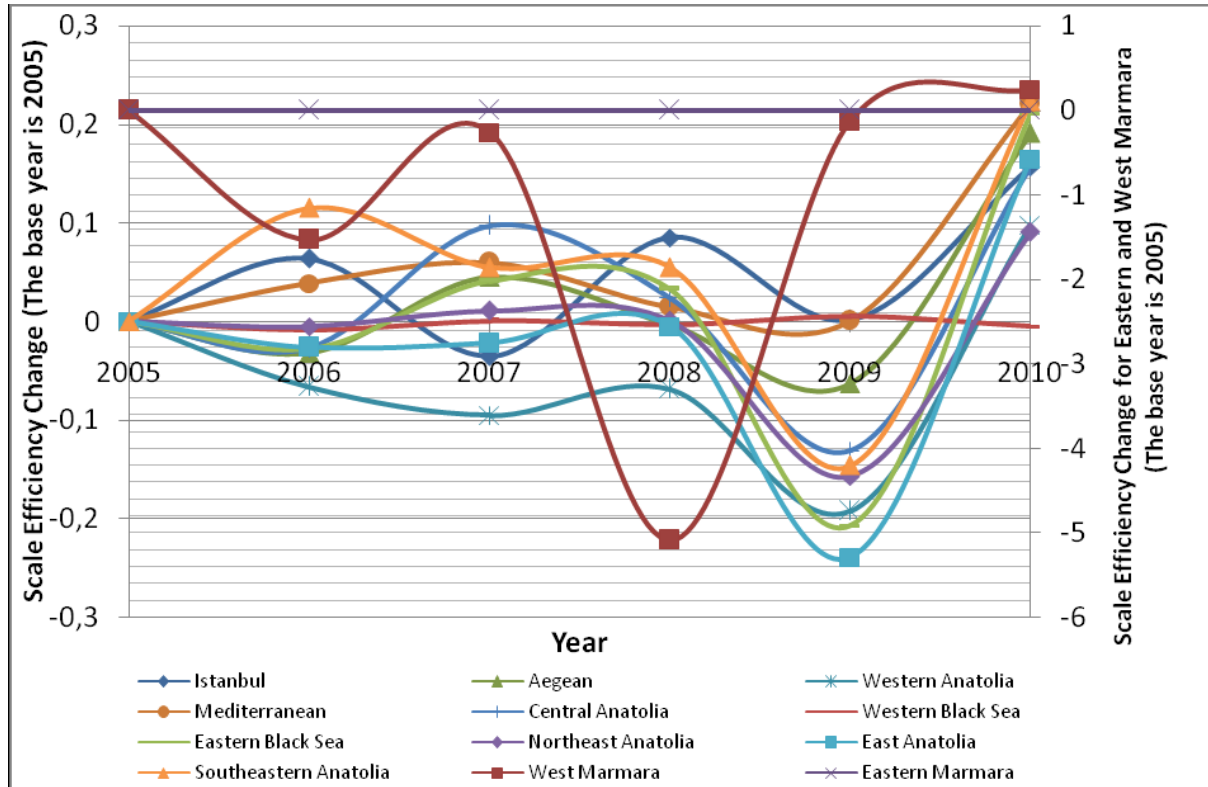


Figure 13. The annual sech results for Model 1.

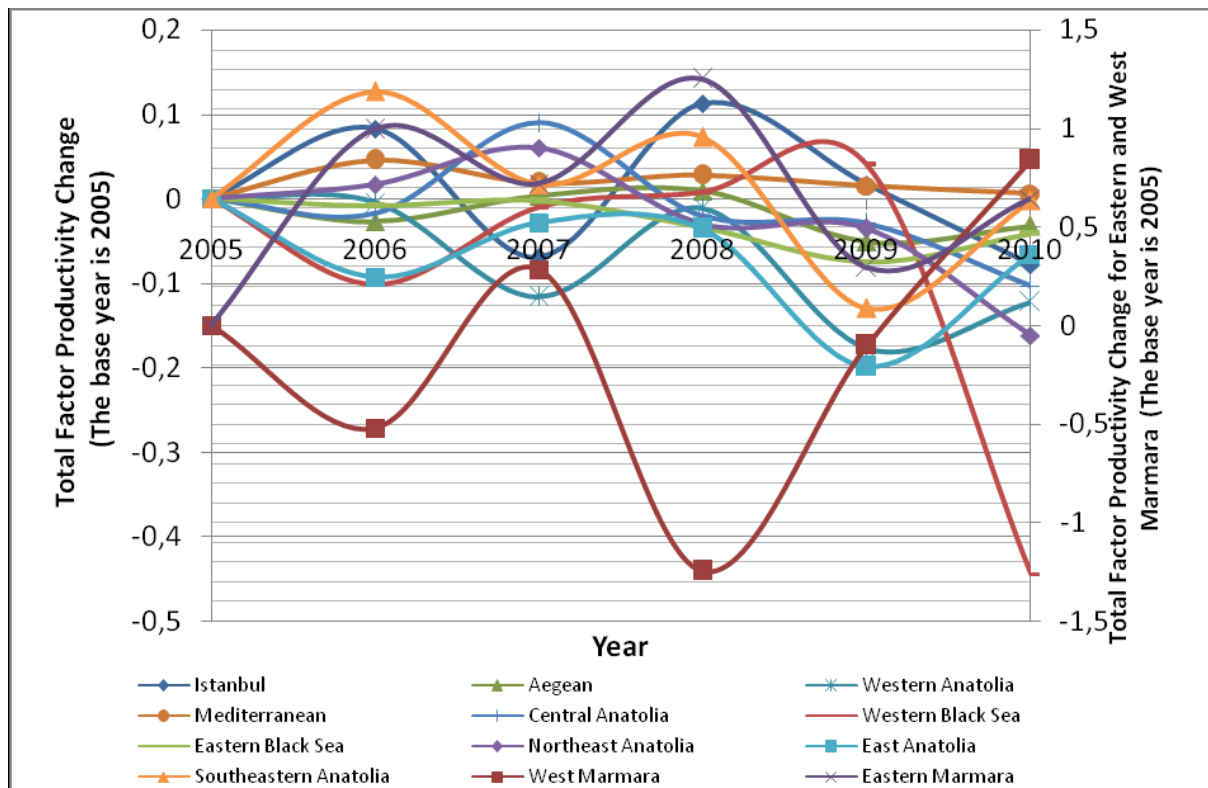


Figure 14. The annual tfpch results for Model 1.

Region	effch	techch	pech	sech	tfpch
Istanbul	0,993	1,064	1	0,993	1,056
West Marmara	0,853	0,909	1	0,853	0,775
Aegean	0,969	1,068	1	0,969	1,035
Eastern Marmara	1	0,989	1	1	0,989
Western Anatolia	1,048	1,06	1	1,048	1,111
Mediterranean	0,946	1,068	1	0,946	1,01
Central Anatolia	0,974	1,065	0,974	1	1,037
Western Black Sea	1,013	1,069	1,013	1	1,084
Eastern Black Sea	1,004	1,065	1,004	0,999	1,069
Northeast Anatolia	1,015	1,065	1,006	1,009	1,081
East Anatolia	1,005	1,066	0,997	1,008	1,071
Southeastern Anatolia	0,999	1,068	1	0,999	1,067
<b>MEAN</b>	<b>0,984</b>	<b>1,045</b>	<b>0,999</b>	<b>0,984</b>	<b>1,028</b>

**Table 3.** The efficiency change scores for Model 2

REGION		2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
Istanbul	effch	0,749	0,839	0,66	3,31	1,228	0,999
West Marmara		1	1	1	1	1	0,601
Aegean		0,702	0,886	0,695	2,94	1,208	1
Eastern Marmara		0,678	1,104	0,358	3,572	0,77	1,623
Western Anatolia		0,696	0,945	0,711	2,879	1,236	0,953
Mediterranean		0,713	0,905	0,697	2,969	1,181	0,952
Central Anatolia		0,743	0,858	0,727	2,92	1,321	0,97
Western Black Sea		0,784	0,898	0,645	3,288	1,475	0,719
Eastern Black Sea		0,784	0,809	0,779	2,682	2,154	1
Northeast Anatolia		0,957	0,362	0,792	2,897	1,471	1,004
East Anatolia		0,468	1,393	0,557	2,74	1,372	1,097
Southeastern Anatolia		0,812	1,133	0,605	2,753	1,408	0,983
Istanbul		techch	1,431	1,116	1,406	0,345	0,842
West Marmara	2,155		1,087	1,075	0,844	0,187	0,739
Aegean	1,431		1,116	1,406	0,345	0,842	1,017
Eastern Marmara	1,431		1,116	1,406	0,345	0,724	1,016
Western Anatolia	1,431		1,116	1,406	0,345	0,809	1,018
Mediterranean	1,431		1,116	1,406	0,345	0,842	1,016
Central Anatolia	1,431		1,116	1,406	0,345	0,832	1,017
Western Black Sea	1,431		1,116	1,406	0,345	0,798	1,017
Eastern Black Sea	1,733		1,116	1,406	0,391	0,513	1,007
Northeast Anatolia	1,431		1,116	1,406	0,345	0,753	1,015
East Anatolia	1,431		1,116	1,406	0,345	0,785	1,017
Southeastern Anatolia	1,431		1,116	1,406	0,345	0,835	1,017
Istanbul	pech		1	1	1	1	1
West Marmara		1	1	1	1	1	0,622
Aegean		1	1	1	1	1	1
Eastern Marmara		0,825	0,958	0,502	2,113	0,849	1,397
Western Anatolia		0,827	1,125	1,223	0,933	0,815	0,886
Mediterranean		1	1	1	1	1	1
Central Anatolia		1,045	0,94	1,043	1,046	1,116	0,973
Western Black Sea		1,078	0,92	0,946	1,279	1,302	0,701
Eastern Black Sea		1	0,66	1,515	1	1	1
Northeast Anatolia		1,135	0,391	1,076	1,487	1,739	1
East Anatolia		0,189	5,292	0,317	1,495	1,339	1,046
Southeastern Anatolia		1,038	1,016	1,131	1,036	1,224	0,987
Istanbul		sech	0,749	0,839	0,66	3,31	1,228
West Marmara	1		1	1	1	1	0,966
Aegean	0,702		0,886	0,695	2,94	1,208	1
Eastern Marmara	0,822		1,153	0,713	1,691	0,907	1,162
Western Anatolia	0,841		0,84	0,581	3,086	1,515	1,076
Mediterranean	0,713		0,905	0,697	2,969	1,181	0,952
Central Anatolia	0,711		0,912	0,697	2,79	1,183	0,996
Western Black Sea	0,727		0,975	0,682	2,571	1,132	1,026



Eastern Black Sea	tfpch	0,784	1,225	0,514	2,682	2,154	1
Northeast Anatolia		0,843	0,926	0,736	1,949	0,846	1,004
East Anatolia		2,477	0,263	1,754	1,833	1,025	1,049
Southeastern Anatolia		0,783	1,115	0,535	2,656	1,151	0,996
Istanbul		1,072	0,936	0,928	1,143	1,035	1,014
West Marmara		2,155	1,087	1,075	0,844	0,187	0,444
Aegean		1,004	0,988	0,978	1,015	1,018	1,017
Eastern Marmara		0,971	1,232	0,503	1,234	0,557	1,65
Western Anatolia		0,995	1,054	1	0,994	1	0,97
Mediterranean		1,021	1,01	0,98	1,025	0,994	0,967
Central Anatolia		1,064	0,957	1,021	1,008	1,1	0,986
Western Black Sea		1,122	1,002	0,907	1,135	1,177	0,731
Eastern Black Sea		1,358	0,902	1,095	1,048	1,105	1,007
Northeast Anatolia		1,37	0,404	1,113	1,001	1,109	1,019
East Anatolia		0,67	1,554	0,783	0,946	1,077	1,115
Southeastern Anatolia		1,163	1,265	0,851	0,951	1,176	1

**Table 4.** The efficiency change scores for Model 3

REGION		2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	
Istanbul	effch	1,315	0,921	1,301	1,074	0,79	1,354	
West Marmara		1,547	1	1	1	1	1	
Aegean		1,343	0,93	1,363	0,882	0,879	1,239	
Eastern Marmara		1	0,394	2,121	0,997	0,801	1,255	
Western Anatolia		1,319	0,971	1,387	1,099	0,845	1,286	
Mediterranean		1,259	0,829	1,324	0,916	0,66	1,537	
Central Anatolia		1,271	0,782	1,286	0,806	0,849	1,218	
Western Black Sea		1,344	0,79	1,486	0,887	0,876	1,263	
Eastern Black Sea		1,239	0,896	1,41	0,918	0,855	1,234	
Northeast Anatolia		1,35	0,98	1,393	0,915	0,831	1,287	
East Anatolia		1,147	0,962	1,37	0,92	0,901	1,164	
Southeastern Anatolia		1,159	1,002	1,374	0,949	0,741	1,302	
Istanbul		techch	0,899	1,249	0,774	1,134	1,239	0,829
West Marmara			2,564	0,309	0,3	2,105	1,213	0,551
Aegean			0,899	1,249	0,774	1,134	1,239	0,831
Eastern Marmara	0,892		1,249	0,524	1,134	1,239	0,816	
Western Anatolia	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Mediterranean	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,829	
Central Anatolia	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Western Black Sea	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Eastern Black Sea	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Northeast Anatolia	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
East Anatolia	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Southeastern Anatolia	0,899		1,249	0,774	1,134	1,239	0,831	
Istanbul	pech		1	1	1	1	1	1
West Marmara			1	1	1	1	1	1
Aegean			1	1	1	0,917	1,054	0,933
Eastern Marmara		1	0,482	2,074	0,871	0,852	1,348	
Western Anatolia		0,961	1,047	1	1,047	1	1	
Mediterranean		1	0,758	1,012	0,972	0,737	1,244	
Central Anatolia		1	1	0,926	0,827	0,998	0,959	
Western Black Sea		1,058	1,009	1,028	0,948	1,029	0,998	
Eastern Black Sea		0,978	0,994	1,018	0,91	1,009	0,965	
Northeast Anatolia		1,064	1,165	0,989	0,935	0,978	1,012	
East Anatolia		0,939	1,093	0,987	0,916	1,063	0,91	
Southeastern Anatolia		0,897	1,115	1	0,933	0,875	1,015	
Istanbul		sech	1,315	0,921	1,301	1,074	0,79	1,354
West Marmara			1,547	1	1	1	1	1
Aegean			1,343	0,93	1,363	0,962	0,834	1,328
Eastern Marmara	1		0,818	1,023	1,145	0,94	0,931	
Western Anatolia	1,373		0,928	1,387	1,05	0,845	1,286	
Mediterranean	1,259		1,094	1,308	0,942	0,895	1,236	
Central Anatolia	1,271		0,782	1,388	0,975	0,851	1,27	
Western Black Sea	1,271		0,783	1,445	0,936	0,851	1,266	
Eastern Black Sea	1,268		0,901	1,385	1,009	0,848	1,278	
Northeast Anatolia	1,27		0,842	1,409	0,979	0,85	1,272	
East Anatolia	1,221		0,88	1,387	1,005	0,847	1,28	
Southeastern Anatolia	1,292		0,899	1,374	1,018	0,846	1,282	

Istanbul	tfpch	1,182	1,15	1,007	1,218	0,979	1,123
West Marmara		3,967	0,309	0,3	2,105	1,213	0,551
Aegean		1,208	1,161	1,055	1	1,09	1,029
Eastern Marmara		0,892	0,493	1,111	1,13	0,993	1,024
Western Anatolia		1,187	1,213	1,074	1,247	1,048	1,069
Mediterranean		1,133	1,035	1,025	1,038	0,818	1,275
Central Anatolia		1,143	0,976	0,995	0,914	1,052	1,012
Western Black Sea		1,209	0,986	1,15	1,006	1,085	1,05
Eastern Black Sea		1,115	1,119	1,092	1,041	1,06	1,026
Northeast Anatolia		1,215	1,224	1,079	1,037	1,03	1,07
East Anatolia		1,031	1,201	1,06	1,043	1,116	0,968
Southeastern Anatolia		1,043	1,251	1,063	1,077	0,918	1,082

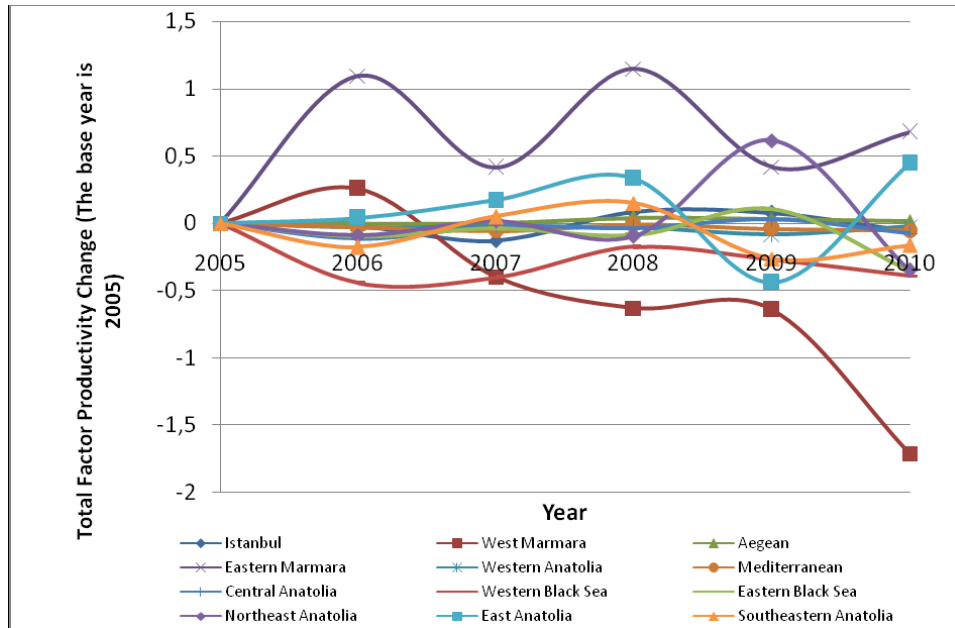


Figure 15. The results of the total factor productivity change for Model 2.

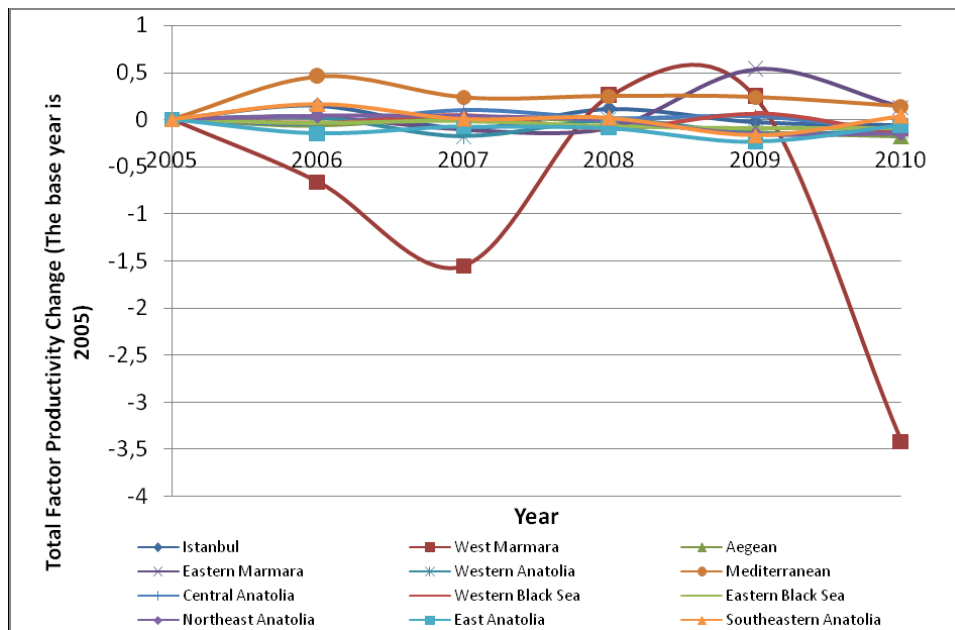


Figure 16. The results of the total factor productivity change for Model 3.

#### 4. CONCLUSIONS

In this study, airline transportation performance of 12 different regions of Turkey was examined by using Data Envelopment Analysis (DEA) with Malmquist Index (MI). By this way, it was aimed to identify performance of airline transportation and use the obtained results in preparation of different strategies and policies for harmonization of Turkey to EU. Meanwhile, it is expected that the subjective results presented in this study will be helpful to increase the level of performance of airline transportation sector in Turkey.

DEA is used to determine the management performance of many companies as well as to specify policies developed to improve them. In this study, it was aimed to ascertain the relative performance of the basic airline indicators and by this way the utilization efficiency of the airline transportation in Turkey was identified. Using subjective calculation results, it was aimed to inform reader about the strategies and targets to be followed so that the performances of the transportation indicators were maintained in their highest level.

By *Output Oriented Model*, inputs belonging to the measured decision making unit and those having the highest number of output were investigated. In order to calculate the efficiencies of the regions, three models were developed by varying the input and output variables. The changes in the efficiencies of the domestic, international and overall airline transportation were evaluated for the selected period.

#### REFERENCES

- 1) Caves, D. L., Christensen, L. and Diwert, W.E., The economic theory of Index Numbers and the measurement of input, output and productivity, *Econometrica*, 50, 1393-1414 (1982).
- 2) Charnes A, Cooper WW, Rhodes E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-44 (1978).
- 3) Chen, P.C., Yu, M.M., Chang C.C., Hsu, S.H., Total factor productivity growth in China's agricultural sector, *China Economic Review*, 19, 580-583 (2008).
- 4) Coelli, T.J., Data Envelopment Analysis Program, *CEPA working papers No:8/96*, Universty of New England, Armidale, A Guide to DEAP Version 2.1 (1996).
- 5) Cook W. D., Seiford L. M., Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on, *European Journal of Operational Research*, 192, 1-17 (2009).
- 6) Emrouznejad, A., Parker B. R., Tavares G., Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA, *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(3), 151-157 (2008).
- 7) Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z., Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries, *American Economic Review*, 84(1), 66-83 (1994).
- 8) Fare. R., Grosskopf. S. Lovell C., The Structure of Technical Efficiency, *Scandinavian Journal Of Economics*, 85(2),181-90, (1983).
- 9) Hashimoto A., Haneda S. Measuring the change in R&D efficiency of Japanese pharmaceutical industry", *Research Policy*, 37, 1829-1836, (2008).
- 10) Malmquist, S., Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística* 4, 209-242, (1953),
- 11) Ray S.C., Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research, Cambridge University Pres. (2004).
- 12) Sözen, A., Alp, İ., Kılınc, C., The Efficiency Assesment of the Hydro-Power Plants in Turkey by using Data Envelopment Analysis", *Renewable Energy*, 46, 192-202 (2012).
- 13) Sözen, A., Alp, İ., Özdemir, A., Assessment of Operational and Environmental Performance of Thermal Power Plants in Turkey by Using Data Envelopment Analysis, *Energy Policy*, 38(10), 6194-6203 (2010).