



**SELÇUK  
ÜNİVERSİTESİ**

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

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

**EISSN 2147-9364**

**HAKEMLİ DERGİDİR**

OWNER/SAHİBİ

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

Chief Editor/Şef Editör

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ**

Editors/Editörler

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

Advisory Board/Danışma Kurulu

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

Language Editing/Yabancı Dil Editörü

**Prof. Dr. Ali BERKTAY**

Composition and Printing/Baskı ve Dizgi

**Dr. Lutfiye Karasaka**  
**Res. Assist. Ismail KOC**

Correspondance Address/Yazışma Adresi

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

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

## **Editorial Board (Yayın Kurulu)**

Ahmet Afsin Kulaksiz, Selcuk University, TURKEY

Alla Anohina-Naumeca, Riga Technical University, LATVIA

Ashok K. Mishra, Clemson University, USA

Baris Binici, Middle East Technical University, TURKEY

Coskun Bayrak, University of Arkansas, USA

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

Fahrettin Ozturk, The Petroleum Institute, UAE

Haci Murat Yilmaz, Aksaray University, TURKEY

Heinz Ruther University of Cape Town, SOUTH AFRICA

Homayoun Moghimi, Payame Noor University, IRAN

Ihsan Ozkan, Selcuk University, TURKEY

John Trinder, The University of New South Wales, AUSTRALIA

Kerim Kocak, Selcuk University, TURKEY

Loredana Judele, Technical University of Iasi, ROMANIA

Mohamed Bouabaz, Université 20 août 1955-Skikda, ALGERIA

Mohd Arif Wani, California State University, USA

Mortaza Yari, University of Tabriz, IRAN

Ömer Aydan, University of the Ryukyus, JAPAN

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

Selim Dogan, Selcuk University, TURKEY

Spase Shumka, Agricultural University of Tirana, ALBANIA

Tahira Geroeva, Baku State University, AZERBAIJAN

Vladimir Androkhonov, Novosibirsk Soil Research Institute, RUSSIA

Ali Kocak, Yildiz Technical University, TURKEY

Alpaslan Yazar, Selcuk University, TURKEY

Ataur Rahman, University of Western Sydney, AUSTRALIA

Cihan Varol Sam Houston State University, USA

Dan Stumbea, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, ROMANIA

Eva Burgetova, Czech Technical University, CZECH REPUBLIC

Georgieva Lilia, Heriot-Watt University, UNITED KINGDOM

Halil Kursad Ersoy, Selcuk University, TURKEY

Hi-Ryong Byun, Pukyong National University, SOUTH KOREA

Huseyin Deveci, Selcuk University, TURKEY

Iraida Samofalova, Perm University, RUSSIA

Juan Maria Menendez Aguado, University of de Oviedo, SPAIN

Laramie Vance Potts, New Jersey Institute of Technology, USA

Mila Koeva, University of Twente, NETHERLANDS

Mohamed Metwaly Abu Anbar, Tanta University, EGYPT

Moonis Ali Khan, King Saud University, KSA

Murat Karakus, University of Adelaide, AUSTRALIA

Saadettin Erhan Kesen, Selcuk University, TURKEY

Selcuk Kursat Isleyen, Gazi University, TURKEY

Shukri Maxhuni, Prizen University, KOSOVA REPUBLIC

Syed Tufail Hussain Sherazi, University of Sindh, PAKISTAN

Thomas Niedoba, AGH University of Science and Technology, POLAND

Zoran Sapuric, University American College Skopje, MACEDONIA

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

ISSN 2147 – 9364 (Elektronik)

Cilt	6	Eylül	2018	Sayı	3
Volume	6	September	2018	Number	3

**İÇİNDEKİLER (CONTENTS)**

**Araştırma Makalesi (Research Article)**

**AN AUTOMATED COMPUTER-AIDED DETECTION (CAD<sub>e</sub>) AND DIAGNOSIS (CAD<sub>x</sub>) SYSTEM FOR BREAST MICROCALCIFICATIONS IN MAMMOGRAMS**

An Automated Computer-Aided Detection (Cade) and Diagnosis (Cadx) System for Breast Microcalcifications in Mammograms

.....**Burçin KURT, Vasif V. NABİYEV, Kemal TURHAN (English) 355-376**

**USING CLASSIFICATION ALGORITHMS FOR TURKISH MUSIC MAKAM RECOGNITION**

Using Classification Algorithms for Turkish Music Makam Recognition

.....**Övünç ÖZTÜRK, Didem ABIDIN, Tuğba ÖZACAR (English) 377-393**

**MİSİNA İPİNİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

The Effect of Monofilament Fishing line on the Mechanical Properties of Concrete

.....**Emrah TURAN, Meral OLTULU 394-405**

**OVERHANGS IN STRUCTURAL SYSTEMS AND EARTHQUAKE BEHAVIOUR FROM TORSIONAL IRREGULARITY POINT OF VIEW**

Overhangs in Structural Systems and Earthquake Behaviour from Torsional Irregularity Point of View

.....**Hasan Hüsnü KORKMAZ (English) 406-416**

**BASİT MESNETLİ TEK AÇIKLIKLI ÇELİK DEMİRYOLU KÖPRÜSÜNÜN DEPREM DAVRANIŞININ KIRILGANLIK EĞRİLERİ YARDIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Evaluation of the Earthquake Behavior of Single Span Simply Supported Steel Railway Bridges by Fragility Curve

.....**Mehmet Fatih YILMAZ, Barlas Ozden CAGLAYAN 417-432**

**Zn0.4Cd0.4 COMPOSITE FABRICATION AND CHARACTERIZATION**

Zn0.4cd0.4 Composite Fabrication and Characterization

.....İskender ÖZKUL, Safiye Jameel BIRO (English) 433-444

**YAPILARIN CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİNDE HASAR OLUŞTURAN ETKİLERİN  
TESPİTİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ – KONYA PTT HİZMET BİNASI ÖRNEĞİ**

The Determination of the Effects Causing Damage in Buildings Facade Covering Materials and  
Solution Proposal- Konya PTT Service Building

.....Mustafa DERELİ, Mustafa TOSUN, Nazım KOÇU 445-460

**DETERMINATION OF SOUND TRANSMISSION LOSS IN LIGHTWEIGHT CONCRETE  
WALLS AND MODELING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Determination of Sound Transmission Loss in Lightweight Concrete Walls and Modeling Artificial  
Neural Network

.....Mustafa TOSUN, Kevser DİNCER (English) 461-477

**DISTRICT DESIGN AND ROUTE PLANNING FOR CUSTOMER-RELATED FIELD  
OPERATIONS OF NATURAL GAS DISTRIBUTION SYSTEMS: A CASE STUDY**

District Design and Route Planning for Customer-Related Field Operations of Natural Gas  
Distribution Systems: A Case Study

.....Gözde Can ATASAGUN, Emine AKHÜSEYİN, Yakup KARA, İsmail KARAOĞLAN  
(English) 478-489

**KÖMÜR MADENLERİNDE KULLANILAN SABANLARIN ÖNEMİ VE SEÇİM KRİTERLERİ**

Importance and Selection Criteria of Plows Used in Coal Mining

.....Niyazi BİLİM 490-503

**HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ KULLANARAK KARIŞIK AKIŞLI BİR KALP  
DESTEK POMPASININ TASARIMI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

A Mixed Flow Heart Assist Pump Design and Investigation of Its Performance Using  
Computational Fluid Dynamics

..... Fehmi MUTLU, Rafet YAPICI 504-518

**MINERALOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE AMPHIBOLE MINERALS  
FROM THE METAMORPHIC SOLE ROCKS OF THE LATE CRETACEOUS AGED HATIP  
OPHIOLITIC MÉLANGE IN THE KONYA AREA (CENTRAL SOUTHERN TURKEY)**

Mineralogical and Chemical Characteristics of the Amphibole Minerals from the Metamorphic Sole  
Rocks of the Late Cretaceous Aged Hatip Ophiolitic Mélange in the Konya Area (Central Southern  
Turkey)

.....Kerim KOÇAK, Raziye Merve KAYA, Adnan DÖYEN, Ali Rıza SÖĞÜT, Veysel ZEDEF  
(English) 519-528

## AN AUTOMATED COMPUTER-AIDED DETECTION (CADe) AND DIAGNOSIS (CADx) SYSTEM FOR BREAST MICROCALCIFICATIONS IN MAMMOGRAMS

<sup>1</sup>Burçin KURT, <sup>2</sup>Vasif V. NABIYEV, <sup>3</sup>Kemal TURHAN

<sup>1,3</sup> Karadeniz Technical University, Faculty of Medicine, Medical Informatics, Trabzon, Turkey

<sup>2</sup>Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Computer Engineering, Trabzon, TURKEY

<sup>1</sup>burcinnkurt@gmail.com, <sup>2</sup>vasif@ktu.edu.tr, <sup>3</sup>kturhan.tr@gmail.com

(Geliş/Received: 10.03.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 30.11.2017)

**ABSTRACT:** An automated computer aided diagnosis system has been proposed for detection of microcalcification (MC) clusters in mammograms. The proposed system is a whole system including suspicious regions identification, MCs detection, false positive reduction and benign/malign classification. For classification of suspicious microcalcification regions, a multilayer perceptron (MLP) neural network was used with grey level co-occurrence matrix (GLCM) and statistical features. Then to decrease the false positive classification ratio, we used cascade correlation neural network (CCNN) with grey level run length matrix (GLRLM) features. In the last step, hybrid form of discriminant analysis and support vector machine (SVM) methods were used with GLRLM features for benign/malign classification of detected MC clusters. The open access Mammographic Image Analysis Society (MIAS) database was used for the study. Experimental results show that the proposed algorithm obtained 86% sensitivity, 98.3% specificity and 1.163 FPP rates for detection and for diagnosis of breast cancer, the obtained sensitivity and specificity values are 100% and 100% respectively. Despite the vision difficulty of MC clusters, the novel system provides very satisfactory results. Furthermore, the developed system is fully automatic whole system which gives outputs as percentages and transformed assessment categories.

**Key Words:** Breast cancer, Computer aided diagnosis, Cascade correlation neural network (CCNN), Grey level co-occurrence matrix (GLCM), Grey level run length matrix (GLRLM), Mammograms.

### Mamografide Meme Mikrokalsifikasyonları için Otomatik Bilgisayar Destekli Tespit (CADe) ve Tanı (CADx) Sistemi

**ÖZ:** Mamografide mikrokalsifikasyon (MC) kümelerinin saptanması için otomatik bir bilgisayar destekli tanı sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem şüpheli bölgelerin tanımlanması, MC'lerin tespiti, yanlış pozitif indirgeme ve iyi huylu/kötü huylu sınıflamayı içeren bütün bir sistemdir. Şüpheli mikrokalsifikasyon bölgelerinin sınıflandırılması için, gri seviye eş-oluşum matrisi (GLCM) ve istatistiksel özellikler ile çok tabakalı bir perceptron (MLP) sinir ağı kullanıldı. Daha sonra, yanlış pozitif sınıflandırma oranını azaltmak için, gri seviye çalışma uzunluğu matrisi (GLRLM) özellikli kademeli korelasyon sinir ağı (CCNN) kullanılmıştır. Son adımda, tespit edilen MC kümelerinin iyi huylu/kötü huylu sınıflandırması için GLRLM özellikleri ile hibrid yapıda diskriminant analizi ve destek vektör makinesi (SVM) yöntemleri kullanıldı. Çalışma için açık erişimli Mamografik Görüntü Analizi Derneği (MIAS) veri tabanı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın meme kanseri tespiti için %86 duyarlılık, %98.3 özgüllük ve 1.163 FPP oranları elde ettiğini ve meme kanseri tanısı için elde edilen duyarlılık ve özgüllük değerlerinin sırasıyla %100 ve %100 olduğunu ortaya koymuştur. MC kümelenmelerinin görme zorluğu olsa da, önerilen sistem çok tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, gelişmiş sistem; çıktıları yüzdeler ve dönüştürülmüş değerlendirme kategorileri olarak veren tam otomatik bir bütün sistemdir.

**Anahtar Kelimeler:** Meme kanseri, Bilgisayar destekli tanı, Kademeli korelasyon sinir ağı (CCNN), Gri seviye eş-oluşu matrisi (GLCM), Gri seviye çalışma uzunluğu matrisi (GLRLM), Mamografi.

## INTRODUCTION

Breast cancer is the leading cancer in women, including 25% of all cancer cases (Stewart et al., 2014). Early diagnosis is very important for survival rate. Microcalcifications (MCs) are one of the most important abnormalities and can be defined as an early sign of breast cancer (Cheng et al., 2006). MCs are the calcium stores in the breast tissue and their sizes change between 0.1 mm and 1 mm. Detection of MCs is a complex work because they appear as thin and bright spots. However, about 10% - 40% of MC clusters are missed by radiologists because of their small sizes (Bird et al., 1992). Detection of them can increase the treatment options and survival rates. Therefore, computer-aided detection/diagnosis (CAD) systems are developed to assist radiologists to interpret and diagnose mammograms.

(Martins et al., 2006) extracted the grey level co-occurrence matrix (GLCM) features such as contrast, homogeneity, inverse difference moment, entropy and energy texture features for classification of suspicious MC regions. Then, these regions were classified as normal, benign and malignant using Bayesian neural network (BNN). But the success of benign classification result is low.

(Phadke et al., 2013) presented an approach for detection and classification of microcalcifications in digital mammograms. Region of interest (ROI) has been cropped from the original mammogram manually. Then the detection of microcalcifications has been achieved by wavelet transform. Classification of microcalcifications into benign and malignant classes has been implemented using wavelet features and two types of classifiers, support vector machine and artificial neural network classifier. A set of 52 images is used from MIAS database where in 26 images are normal, 26 images are microcalcified. Out of 26 abnormal images 15 are having benign microcalcifications and 11 are having malignant microcalcifications. 79.58% and 99.04% accuracy values have been obtained for SVM and ANN methods respectively to detect MCs. The accuracy of classification of benign and malignant microcalcification using SVM was 69% and that using ANN is 96%.

Association rule-based classification method with GLCM features were used in another approach for detection of MC clusters (Herwanto et al., 2013). Here; contrast, correlation, energy, homogeneity and mean, median, variance, skewness, kurtosis features were extracted as GLCM texture features and statistical features respectively. Then, the limit values of these features were defined by association rules for classification.

(Jelvehfard et al, 2013) used two-dimensional wavelet transform to extract features of suspicious MC regions in different sizes and then the classification process was implemented by the support vector machine (SVM) method, For detection of MC clusters, mathematical morphology and artificial neural network (ANN) methods were implemented by (Halkiotis et al., 2007). In the study (Jasmine et al., 2009), features were defined by wavelet transform for suspicious MC regions. However, the number of features was too much, and then energy values of wavelet coefficients were computed to reduce that number. For classification process ANN was implemented. (Pal et al., 2008) extracted 24 features which were mean, variance, average power, kurtosis, skewness, contrast, etc. and used ANN for the classification process. Consequently, due to the successful description of MC clusters, textural and statistical features are usually preferred for feature extraction. For classification of suspicious MC regions, ANN and SVM methods are widely used.

(Vivona et al., 2014) presented a clustering method for microcalcifications based on fuzzy logic which was called Fuzzy C-Mean with features (FCM-WF). They used shape and grey level based features. The FCM-WF method has been tested on 20 images belonging to MIAS database and obtained 82% sensitivity with 4% FP/Im. Another automatic microcalcification detection method based on type II fuzzy index was proposed by (Mohanalin et al., 2010). The thresholding was performed using the Tsallis entropy characterized by a parameter  $q$ . They proposed type II fuzzy index to find the optimal value of  $q$ . They obtained 93.75% sensitivity with 0.52 FppI on 23 abnormal (MC) and 18 normal mammograms

from MIAS database. (Diaz-Huerta et al., 2014) applied a morphological algorithm and extended maxima thresholding as a preprocessing step for detection of MCs. Then spatial, spectral and textural features were extracted and classified by SVM. The obtained performance results were 86.6% sensitivity, 84.36 specificity and 1.77 FppI on 22 MC abnormal mammograms from MIAS database. Furthermore, they tested their system on 45 normal mammograms and obtained 0.71 FppI rate.

(Dheeba et al., 2014) presented detection of breast cancer abnormalities such as masses and microcalcifications. They used laws texture energy measure and particle swarm optimized wavelet neural network (PSOWNN) methods for extracting features and classification respectively. The AUC value of the proposed algorithm is 0.969 with a sensitivity 94.167% of and specificity of 92.105% for 216 malign abnormal mammograms. 24 mammograms of 216 include malign microcalcifications while the remaining includes malign masses. In another study, to detect MC clusters cascade-based (CasCADE) approach was used (Bria et al., 2014). The proposed CasCADE system consists of a preprocessing stage, an initial detection stage and a classification stage in which the number of false positive detected clusters is reduced. The detection performance of CasCADE was compared with the one of the commercial CADe systems, the Hologic R2CAD ImageChecker. They have mentioned that the results are a bit better than R2CAD. (Rizzi et al., 2012) presented the various methods adopted for microcalcification cluster detection and compares their performance. They have defined that comparisons of CAD method performance are very difficult and even impossible due to the use of different databases for testing. In addition to these, a CAD system with a low specificity value leads to many false positives with subsequent psychological stress experienced by patients in clinical application. In contrast, a low sensitivity leads to false negatives, which produce false reassurance associated with cancer detection at a more advanced stage when more intensive treatments are required. Therefore, they have proposed that studies should take into account the integration of various classifiers for FP and FN reduction.

(Zyout et al., 2015) mentioned that the high number of false positives and the resulting number of avoidable breast biopsies are the major problems faced by current mammography computer aided detection (CAD) systems. Furthermore, they have emphasized that false positive reduction is not only a requirement for mass but also for calcification CAD systems which are currently deployed for clinical use. Therefore, they focused on reducing the number of false positives in the detection of all lesions and masses. With this aim, textural patterns of breast tissue have been analyzed using several multi-scale textural descriptors based on wavelet and gray level co-occurrence matrix. Then a model selection procedure based on particle swarm optimization (PSO) for selecting the most discriminative textural features and for strengthening the generalization capacity of the supervised learning stage based on a support vector machine (SVM) classifier have been implemented. As a result, they have mentioned that the proposed PSO based model selection is a versatile tool for solving false positive reduction problem adequately.

(Sabu et al., 2012) have discussed various methods of texture analysis for mass detection and micro calcification in mammography. They observed various texture analysis approaches such as GLCM, GLRLM etc. for the detection of masses and micro calcification in mammography and identified the texture features obtained from each texture descriptor. As a result, it has been proposed that texture analysis can help to identify the disease pattern of breast cancer in mammography.

(Thangavel et al., 2009) proposed a rule based system for classification of microcalcifications. Shape features were extracted and with these feature values association rules have been constructed. For rule construction, a novel multi-dimensional genetic association rule miner (MGARM) algorithm was used. The proposed approach reached the classification accuracy of 85.26% on MIAS database.

(Karahaliou et al., 2007) analysed a case sample of 100 biopsy-proved MC clusters (46 benign, 54 malignant) from 85 dense mammographic images, included in the Digital Database for Screening Mammography. MCs were segmented from original ROI images by local thresholding after wavelet based enhancement. Four categories of textural features (first order statistics, co-occurrence matrices features, run length matrices features and Laws' texture energy measures) were extracted from tissue area surrounding MCs. The ability of each feature category in discriminating malignant from benign



tissue was investigated using a k-nearest neighbour (KNN) classifier. The proposed approach had a sensitivity of 94.4% and specificity of 80.0%.

(Mohamed et al., 2014) have implemented Otsu's thresholding based segmentation after enhancement step for the identification of microcalcifications and mass lesions. After that, they classified these ROIs between normal and microcalcifications' patterns and then classified between benign and malignant microcalcifications. In classification stage; three methods were used, the voting K-nearest neighbor classifier (KNN) with prediction accuracy of 73%, SVM classifier with prediction accuracy of 83%, and ANN classifier with prediction accuracy of 77%. For the study, 97 normal and 84 abnormal (23 of them were MCs) mammograms were used from MIAS database.

(Strange et al., 2014) presented classification of microcalcification clusters by representing discrete mereotopological relations between the individual microcalcifications over a range of scales in the form of a mereotopological barcode. For this aim, manually selected ROI images were used and microcalcification clusters were segmented by binary image conversion. The mereotopological barcode was used to represent the persistent mereotopology of a microcalcification cluster. Classification these mereotopological barcodes have been performed by employing a nearest neighbour based strategy between a test barcode and the set of all training barcodes using the above metric as the distance metric. Classification accuracies of 95% and 80% were achieved on the MIAS and DDSM datasets, respectively. For the MIAS dataset, 9 malignant and 11 benign clusters were tested.

(Suba et al., 2015) used dual tree m-band wavelet transform (DTMBWT) to represent the digital mammogram in a multiresolution manner for feature extraction. After selecting ROI manually, DTMBWT transform has been applied and the extracted sub band energies from DTMBWT decomposed mammograms were used as distinguishable features for the classification of MCs into either malignant or benign by SVM classifier. The results show that the proposed DTMBWT based classification system achieved 91.83% accuracy on MIAS database images.

In the proposed system, firstly breast region segmentation and enhancement processes have been implemented as a preprocessing step. After that suspicious MC regions have been segmented by using Otsu's N thresholding method. For detection of MC clusters, some GLCM textural and statistical features have been extracted and classified with a multilayer perceptron (MLP) neural network. Then, to reduce the number of false positive regions, grey level run length matrix (GLRLM) features and cascade correlation neural network (CCNN) have been used.

In our previous study (Kurt et al., 2015), which is a pre study of this paper, enhancement and segmentation processes were implemented. Suspicious MC pixels have been segmented using Otsu's N thresholding and connected component labeling methods. In this paper, we have defined MC ROIs using segmented suspicious pixels from the previous study, then detected MC clusters and finally classified detected MC clusters into benign or malign automatically. Thus, an automatic CAD system for MCs has been developed for breast cancer.

As shown in Figure 1, an automated whole CAD system for MC clusters has been proposed. Enhancement and segmentation processes were implemented in our previous study (Kurt et al., 2015) as mentioned before. Identification of MC ROIs is given in the following section.

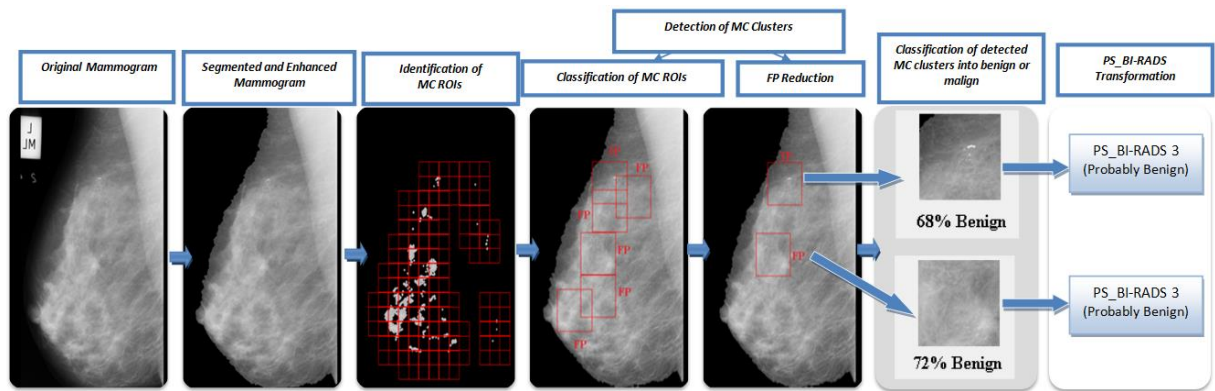


Figure 1. The scheme of the proposed system (Mdb219, biopsy result is benign)

### IDENTIFICATION OF MC ROIS

In this section, we have used the output results of our previous study (Kurt et al., 2015). The outputs of our previous study are given step by step in Figure 2.

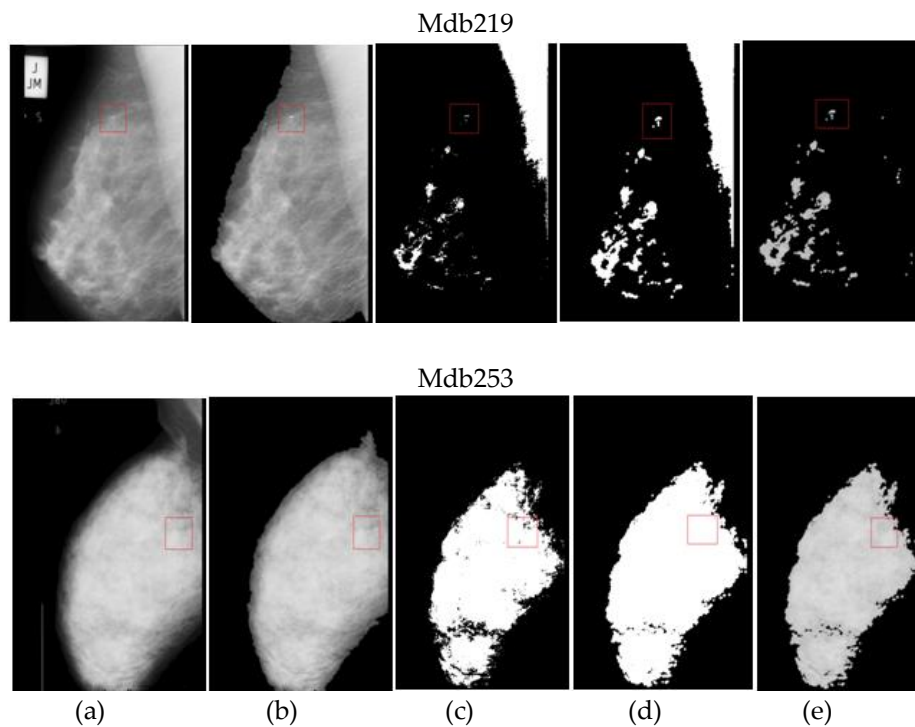


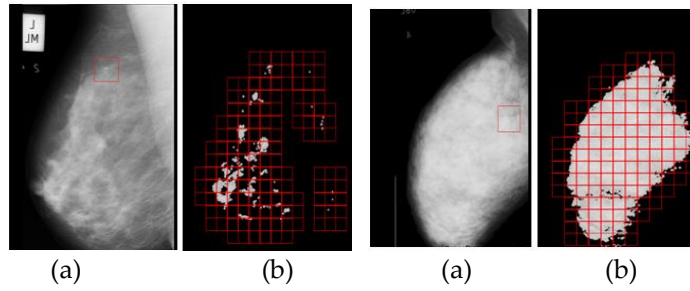
Figure 2. (a) Original mammogram (b) segmented and enhanced mammogram (c) Otsu's  $N=3$  thresholding (d) dilation (e) suspicious MC pixels

As shown in Figure 2, the pectoral muscle regions were extracted despite of their different sizes. However, for some mammograms segmentation process of suspicious MC pixels is not very efficient such as *Mdb253* due to their dense glandular breast tissue types. Despite this, for dense glandular mammograms, MC clusters can also be detected successfully by the proposed classification methods which are given in the next section.

After segmentation of suspicious MC pixels, we scanned these pixels by a 50x50 sized window with half of the window size intervals. Thus, we identified suspicious regions of MC clusters which were called MC ROIs as given in Figure 3.

Mdb219

Mdb253



**Figure 3.** (a) Original mammogram (b) identified MC ROIs

As shown in Figure 3, the segmentation result for *Mdb253* is not so efficient because of the quite dense breast tissue. Therefore, the number of ROIs for *Mdb253* is greater than the number of ROIs for *Mdb219*. Thus, we identified MC ROIs, and then analyzed each ROI to detect MC clusters.

### DETECTION OF MC CLUSTERS

In this section, we focused on MC ROIs for detection of MC clusters. The detection process was examined in two parts as classification of MC ROIs and FP reduction.

#### Classification of MC ROIs

In this study, to classify MC ROIs, we used some texture and statistical features with MLP neural network. Cluster prominence, energy, contrast, information measure of correlation and inverse difference moment normalized features were extracted as GLCM texture features. Mean, variance, skewness and kurtosis features were extracted as statistical features. As a result, we have obtained 9 features for each ROI.

The GLCM represents the second order statistical texture features and first presented by (Haralick et al., 1973). It can be computed in four directions ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ , and  $145^\circ$ ) and four distances (1, 2, 3, and 4). GLCM is a  $M \times N$  size matrix where  $M$  and  $N$  are equal to the number of gray levels,  $G$ , in the image (Albregsten, 2008).  $P(i, j | d, \theta)$  represents the matrix element which is simply the sum of the number of times that the pixel with value  $i$  occurred in the specified spatial relationship to a pixel with value  $j$  in the input image. Spatial relationship is defined with a displacement distance  $d$  and an angle ( $\theta$ ).

As an example of  $5 \times 5$  image with 4 gray levels and its corresponding gray level co-occurrence matrix  $P(i, j | \Delta d=1, \Delta \theta=0)$  is given in Figure 4.

IMAGE					$p(i,j:1,0)$				
0	1	1	2	3		<b>j=0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
0	0	2	3	3	<b>i=0</b>	1/20	2/20	1/20	0
0	1	2	2	3	<b>1</b>	0	1/20	3/20	0
1	2	3	2	2	<b>2</b>	0	0	3/20	5/20
2	2	3	3	2	<b>3</b>	0	0	2/20	2/20

**Figure 4.** GLCM matrix example for a  $5 \times 5$  image

In GLCM; each combination of  $(d, \theta)$  needs a lot of temporary data and memory (Albregsten, 2008). In this study, we have taken  $d=1$  and  $\theta=0^\circ$  to compute the co-occurrence matrix using consecutive pixels in zero direction to define the ROI texture and to reduce the computation complexity. To describe GLCM features some notations are used as in the following:

$$P_x(i) = \sum_{j=0}^{G-1} P(i, j) \quad P_y(j) = \sum_{i=0}^{G-1} P(i, j) \quad (1)$$

$$\mu = \sum_{i,j=0}^{G-1} i P(i, j) \tag{2}$$

$$\mu_x = \sum_{i=0}^{G-1} i p_x(i) \quad \mu_y = \sum_{j=0}^{G-1} j p_y(j) \tag{3}$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{G-1} (P_x(i) - \mu_x(i))^2 \tag{4}$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{j=0}^{G-1} (P_y(j) - \mu_y(j))^2 \tag{5}$$

$$P_{x+y}(k) = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i, j) \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, 2(G-1) \tag{6}$$

$$HXY = - \sum_{i,j=0}^{G-1} P(i, j) \log_2 P(i, j) \tag{7}$$

$$HXY1 = - \sum_{i,j=0}^{G-1} P(i, j) \log_2 (P_x(i)P_y(i)) \tag{8}$$

In mathematics, moment is a quantitative measure related with the shape of a series of dots. According to this; first, second, third and fourth moments give the mean, variance, skewness and kurtosis respectively.

For classification, we have developed a MLP neural network model with STATISTICA12 ©StatSoft which was trained using BFGS (Broyden, Fletcher, Goldfarb and Shanno) (Dennis et al., 1996) training algorithm. BFGS algorithm is a fast, efficient learning algorithm based on the second order Newton optimization methods and is an iterative method for solving unconstrained nonlinear optimization problems. BFGS methods do not need to converge unless the function has a quadratic Taylor expansion near an optimum and use both the first and second derivatives of the function. However, BFGS has proven to have good performance even for non-smooth optimizations (Nocedal et al., 2006). The network was trained by Statistica12©StatSoft and validated using 10 fold cross-validation.

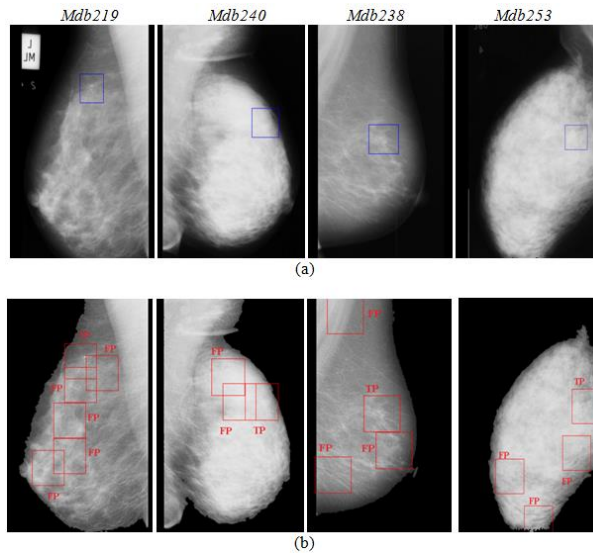
In this study for classification of Mc ROIs, the numbers of neurons of the developed ANN are 9, 21 and 2 for input, hidden and output layers respectively. Furthermore, the results of the training performance for the developed ANN are given in Table 1.

**Table 1.** Training performance of the developed ANN for classification of MC ROIs

	ANN		
	MC ROIs	Normal ROIs	All
<b>Total</b>	20	213	233
<b>Correct</b>	20	213	233
<b>Incorrect</b>	0	0	0
<b>Training Performance</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>

As seen in Table 1, we can say that the training process has been implemented successfully for classification of MC ROIs. Thus, we obtained regions of MC clusters. But some overlapped windows have been seen and to overcome this problem we have developed a box merge algorithm. According to

this algorithm, if the distance between two windows is equal or smaller than the half size of window then we decide that they are overlapped windows. From these overlapped windows, the window which has the maximum number of suspicious pixels is selected. By the proposed box merging algorithm, the overlapped detections are reduced. Furthermore, we enlarged the detected window, 15 pixels in four directions to enclose scattered MC clusters and we have obtained the new window size as 80x80. Thus, detection of MC clusters process is completed. The detection results of the proposed algorithm are given in Figure 5.



**Figure 5.** (a) Original mammograms (b) The detection results for the proposed algorithm

As seen in Figure 5, the number of FP regions is a bit much because of the difficulty of the problem such as structures of MC clusters and different tissue types. Therefore, we proposed a FP reduction algorithm to reduce the number of FP regions.

### False Positive Reduction

In this study, FP regions represent the regions that do not contain MC clusters but they are detected as regions of MC clusters. Thus, high FP rate is a problem for computer aided detection and diagnosis systems because of decreasing the accuracy. Therefore, we have implemented feature extraction and classification steps for FP reduction process. For this purpose, we have used statistical and GLRLM features with cascade correlation neural network (CCNN) method.

### Grey level run length matrix (GLRLM)

GLRLM is a matrix which extracts texture characteristics for texture analysis. Texture can be understood as gray level pixel pattern in a specific direction from the reference pixel. The array length is the number of neighboring pixels with the same gray level values in a specific direction (Mohanty et al., 2011).

Texture properties can be determined by using the neighbor pixels which have the same gray level. Neighboring pixels lengthily with the same grey level, represents thick line rough texture. On the other hand, fewer neighboring pixels with the same grey level, represents finer texture and rapid changes (Ergen et al., 2011). If GLRLM represented by  $P$ ,  $P(i, j)$  is the value of  $i$  the value of certain specified positional relationship with the  $j$  value indicates how many times combined. This can be explained as follows,  $P(i, j)$  indicates the number of times that the gray level  $i$  occurs in length  $j$ .

This definition angularly can be carried out for different aspects such as  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  and the most common use including descriptions made in the horizontal direction. GLRL method is based on the calculation of the number of gray levels of different lengths.

As an example of 6x6 image with 3 gray levels and its corresponding GLRL matrix  $P(i, j | \theta=0)$  is given in Figure 6.

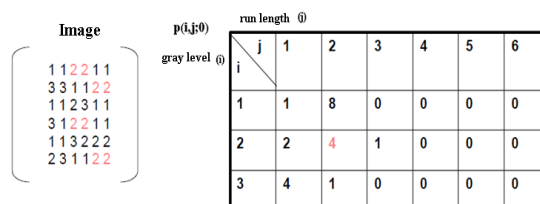


Figure 6. GLRL matrix example for a 6x6 image

A gray level length is a linear neighboring pixels' array having the same gray level value. Length is the number of pixels in the gray level array (Ergen et al., 2011).

For FP reduction we used some GLRLM features (Radhakrishnan et al., 2012; Xu et al., 2004) such as short run emphasis (SRE), long run emphasis (LRE), run length non-uniformity (RLNU) and run percentage (RPC). Furthermore, we extracted skewness, variance as statistical features and homogeneity as a GLCM feature. As a result, we have obtained 7 features for FP reduction process. After that, we used CCNN method for classification.

### Cascade correlation neural network (CCNN)

CCNN was first developed by Fahlman and Libiere (Fahlman et al., 1990) in 1990 and is characterized as a constructive learning rule. CC is a productive and supervised feedforward learning architecture. CC starts with a minimal network structure to consist of input and output layer, then train and automatically creates multi-layered network structure by adding individual elements of the hidden layer (Sharma et al., 2014). CCNN is first trained with appropriate learning data. The educational training procedure is terminated when a significant reduction occurs in the approximation error or a certain iteration number is reached. The obtained weights are frozen (Gao et al., 2009). The architecture of the CCNN is given in Appendices A1.

All inputs and outputs are connected to each other with an adjustable weight value  $w_{ij}$ . Also, there is a deviation input which is taken as a constant value +1 (Kovalishyn et al., 1998). Training algorithm starts without hidden neurons and hidden neurons are individually added to the network. Each added hidden neuron receives a connection from the original input and existing hidden neurons of the network. Input weights of each hidden neuron are frozen after being added to the network. So, each new neuron adds a new neuron layer to the network. Output connections are retrained after a new hidden neuron is added.

It can learn 10 times faster than the standard feedback algorithms (Sharma et al., 2014). Network, can decide its size and topology. It is an incremental learning and is useful for adding new information to already trained network.

#### CCNN Training Algorithm:

- Step 1. Starts the CCN network that consists of only input and output layers.
- Step 2. All input neurons are connected to the output neurons with adjustable weights. Each input neuron value is multiplied by its own weight and the sum of input weight value of all input neurons is calculated. Then the weighted input sum is sent to the output neurons with the deviation value (+1).
- Step 3. Candidate unit is formed which takes connections from each input unit and hidden units. Initially, there are no connection and weights between candidate and output units.

*Step 4.* Connections to the each candidate unit are trained with the selected standard learning algorithm to to maximize the network error (residual error) and the correlation between the activation of candidate units. The purpose of this setting is to maximize the  $S$  (the sum over all output units  $o$ ) (Chandra et al., 2007).  $S$  can be defined as follows:

$$S = \sum_o |\sum_p (V_p - \bar{V})(E_{p,o} - \bar{E}_o)| \quad (9)$$

Where  $o$ , output neuron;  $p$ , training sample;  $V_p$ , candidate output for training sample  $p$ ;  $E_{p,o}$ , error of the output neuron  $o$ . In addition to these,  $\bar{V}$  and  $\bar{E}_o$  show the averages of the all training samples of  $V_p$  and  $E_{p,o}$  respectively. Partial derivative of  $S$  can be calculated using the following formula to maximize  $S$ , according to the coming weights from each candidate neuron.

$$\frac{\partial S}{\partial w_i} = \sum \sigma_o (E_{p,o} - \bar{E}_o) f'_p I_{i,p} \quad (10)$$

Here  $\sigma_o$ , shows the correlation between candidate neuron  $o$ , and output neuron.  $f'_p$ , represents the derivative for  $p$  sample according to the sum of input values of activation function of candidate unit and  $I_{i,p}$  is the input where candidate unit takes from  $i$  unit for sample  $p$ . After calculating  $\partial S / \partial w_i$  for each incoming connection, gradient output is applied. Only one layer of weights is trained. If there is no improvement in  $S$  or a predefined number of iteration is reached, the process is stopped.

*Step 5.* Candidate unit joins to the network and the input weights are frozen.

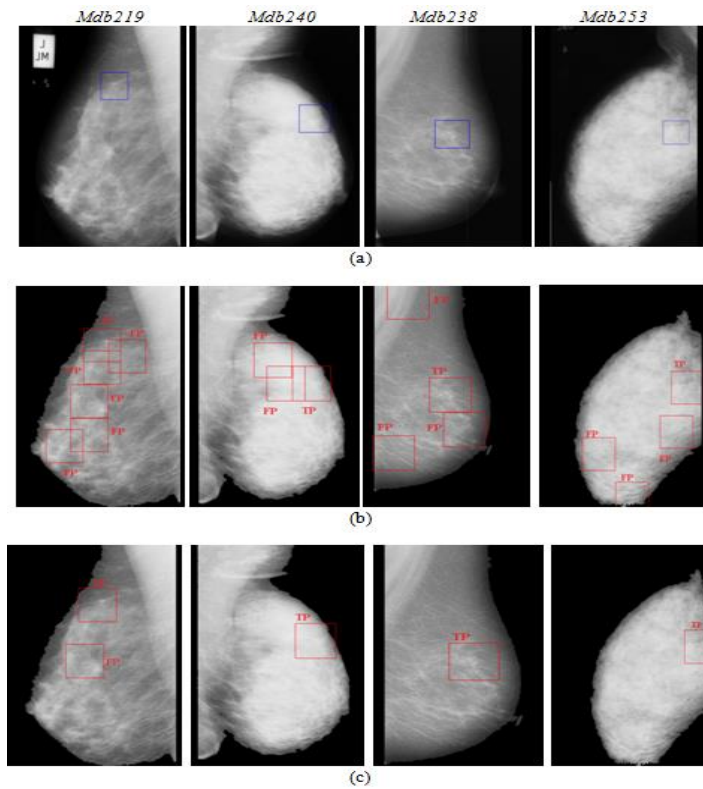
*Step 6.* To change the candidate unit as the hidden neuron, connection between candidate unit and all output units is formed.

*Step 7.* If the trained example is not learned by acceptable error value, then go to Step 2. Otherwise, the training process for that sample is completed.

The network was trained by DTREG software and validated using 10 fold cross-validation. The training performance results of the developed CCNN models are given in Appendices A1 and A2.

As seen in Appendix, CCNN\_1 gives the best performance result and it uses the Gauss kernel function. Therefore, we used the CCNN\_1 model for the classification process to reduce the FP regions. The results of some mammograms are given in Figure 7.

As seen in Figure 7, FP regions have been reduced successfully which provides quite satisfactory results for detection of MC clusters. Furthermore, despite the difficulty of dense breast types, the proposed detection algorithm gives successful results.



**Figure 7.** (a) Original mammograms (b) The detection results (c) FP reduction result

**CLASSIFICATION OF DETECTED MC CLUSTERS INTO BENIGN OR MALIGN**

Calcifications are defined as calcium deposits in breast tissue. Benign calcifications are usually larger and coarser with round and smooth contours. While malignant calcifications tend to be numerous, clustered, small, varying in size and shape, angular, irregularly shaped and branching in orientation.

In this section, we have focused on detected MC clusters in the previous part and tried to classify them into benign or malign. For this aim, feature extraction and classification processes have been implemented. To define MC clusters skewness, contrast, mean, homogeneity, LRE, LGRE, HGRE, SRHGE and RPC features were extracted. The formulas and explanations for these features are given in Appendices A2 and A3.

For classification, discriminant analysis (DA) and SVM methods have been implemented. The training processes for the proposed methods have been performed by DTREG software and validated using 10 fold cross-validation.

There are 13 benign and 15 malign MC clusters in MIAS database. The training performance results for the proposed methods are given in Table 2.

As seen in Table 2, the training performance results of DA and SVM\_RBF kernel models are same and better than SVM\_Sigmoid kernel model. Therefore, these models were selected and tested on the test samples.

For MC cluster, deciding as benign or malign absolutely is almost impossible without biopsy. Therefore, the classification results of benign or malign have been given as probabilistic values in this study. Thus, unlike similar studies in literature which have given definite results as benign or malign, the proposed system has given more reliable and accurate results by using probabilistic approach. The classification results of some test examples for the DA and SVM\_RBF kernel models are given in Table 3.



**Table 2.** Training performances of the developed models for benign/malign classification

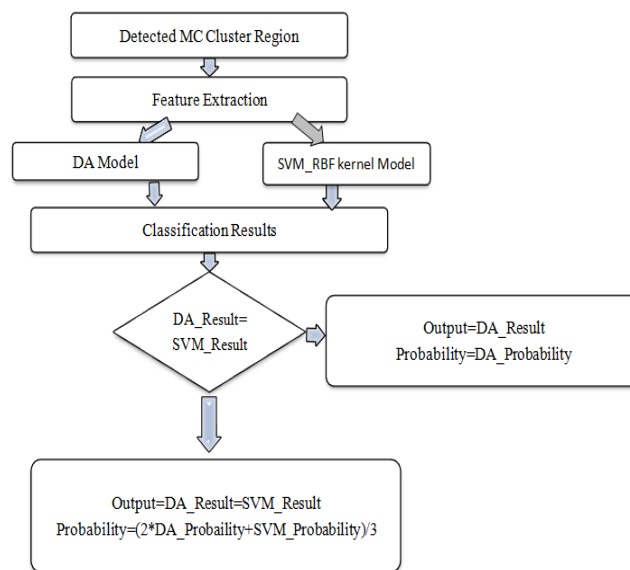
	DA			SVM_RBF Kernel			SVM_Sigmoid Kernel		
	Benign	Malign	All	Benign	Malign	All	Benign	Malign	All
<b>Total</b>	8	9	17	8	9	17	8	9	17
<b>Correct</b>	7	8	15	7	8	15	6	8	14
<b>Incorrect</b>	1	1	2	1	1	2	2	1	3
<b>Training Performance</b>	%87.5	%88.88	%88.23	%87.5	%88.88	%88.23	%75	%88.88	%82.35

**Table 3.** Classification results of some test examples for the DA and SVM\_RBF kernel models

MC Cluster Region	DA Model		SVM_RBF Kernel Model		Biopsy Result (from MIAS Database)
	Result	Probability	Result	Probability	
1	<b>Malign</b>	70%	<b>Benign</b>	68%	<b>Malign</b>
2	Benign	64%	Benign	75%	Benign
3	Benign	81%	Benign	70%	Benign
4	<b>Benign</b>	57%	<b>Malign</b>	56%	<b>Benign</b>
5	Malign	88%	Malign	84%	Malign
6	Malign	69%	Malign	94%	Malign

As shown in Table 3, if the results of proposed models are same, the results are correct but if not, the DA model result is correct based on the biopsy results. According to these results, a decision algorithm has been developed by using voting model as given in Figure 8.

As given in Figure 8, a weighted voting approach has been used for decision. If the outputs of the developed models are the same, the system output is equal to them and the probability of the output is  $(2 * \text{DA probability} + \text{SVM probability}) / 3$ . However, if the outputs are different, the system output is taken as the DA\_Result and the probability of the output is equal to the DA probability.



**Figure 8.** The developed algorithm for classification of MC Cluster into benign or malign

**TRANSFORMATION BASED ON BI-RADS ASSESSMENT CATEGORIES**

The American College of Radiology (ACR) came up with a standard way to describe mammogram findings and results (The American College of Radiology, 2013). In this system, the results are sorted into categories numbered 0 through 6. This system is called the Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS). The BI-RADS assessment is given in Appendices A4.

The probabilistic results of the proposed system have been transformed to categories based on BI-RADS assessment categories which are called proposed system BI-RADS categories (PS\_BI-RADS). For this aim, the distributions of probability values of benign and malign MCs have been used which are given with the following graphics in Appendices A5.

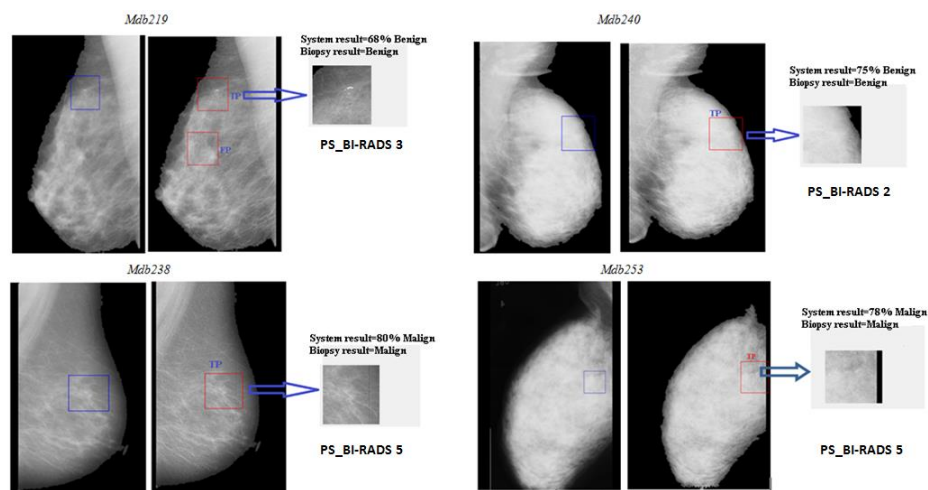
We have computed mean probabilities for both distributions and used them as thresholds between categories. The mean values of the distributions of benign and malign probabilities are 72% and 75% respectively. The transformation table for the proposed study based on the BI-RADS assessment categories is shown in Table 4.

**Table 4.** The PS\_BI-RADS transformation table based on BI-RADS assessment categories

PS_BI-RADS Assessment Category	PS_BI-RADS Numeric Code	The Proposed System Result	
Benign	2	72%<	Benign
Probably Benign	3	<=72%	Benign
Suspicious	4	<=75%	Malign
Highly Suggestive of Malignancy	5	75%< and <=95%	Malign
Known Biopsy-Proven Malignancy	6	95%<	Malign

As seen in Table 4, the transform categories started from numeric code 2 due to defining the benign or malign situation of the abnormality. The mean probability values have been used as thresholds for benign and malign categories. Furthermore, the probability for category 6 has been taken as greater than 95% (the top %5 part which is between 95% and 100%) based on the significance level probability value 5% in statistics. Thus, we have presented a novel approach by the proposed assessment category which has never been used in literature before.

The breast cancer diagnosis results for the detected MC clusters of some mammograms are given in Figure 9.



**Figure 9.** The proposed algorithm results of some mammograms for breast cancer diagnosis (*original mammogram, the proposed system detection result and the proposed system breast cancer diagnosis result*)

**EXPERIMENTAL RESULTS**

For the study, an open access Mammographic Image Analysis Society (MIAS) database (University of Essec, 2014) was used. It contains 321 digitized mammogram images of which 55, 23, 19, 15 include mass, microcalcification, architectural distortion, asymmetry abnormalities respectively and 209 are normal. In this study, we have focused on 23 MC and 209 normal mammograms to detect MC clusters. The images in the database are digitized at 50-micron pixel edge, which are then reduced 200-micron pixel edge and every image has 1024x1024 pixels. Furthermore, the details regarding the characters of background tissue, class, severity, coordinates of center of abnormality and approximate radius of the circle enclosing it, are given.

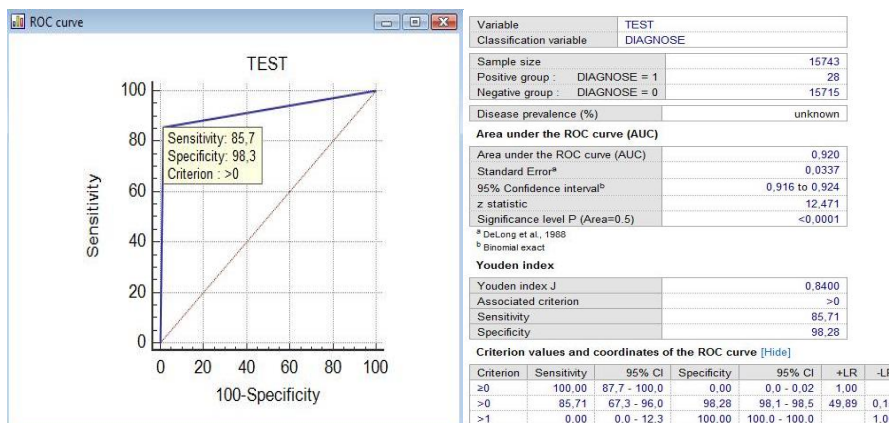
The database includes 209 normal images, 23 images of CIRC (Circumscribed masses), 19 images of SPIC (Speculated masses), 19 original images of MISC (Ill-defined masses), 23 images of CALC (Calcification). Thus, we have used 23 CALC and 209 normal images in the study. As a result of suspicious regions identification, we have obtained 28 MC and 15715 normal ROI regions.

**Performance Evaluation for Automatic Detection of MC Clusters**

For statistical analysis of the proposed detection system, we have computed TP, FP, FN and TN values and compared the results in Appendices A6.

In this study, the success of the detection system has increased by two step classification. In the first step, we classified ROIs using ANN and reduced the searched area as detected MCs by ANN. Then, the detection results of ANN were classified by CCNN in the second step and thus, the final MC regions have been obtained. As a result, we can say that the system was strengthened by FP reduction. The FP rates are 0.07 and 0.017 without FP reduction and with FP reduction respectively.

The area under the ROC curve (AUC) is the most commonly used metric in CAD studies and the AUC index for useful classifiers is constrained between 0.5 (representing chance behaviour) and 1.0 (representing perfect classification performance) (Mazurowskia et al., 2008). ROC curve and AUC index of the proposed system have been obtained using MedCalc software program (Medcalc statistical software, 2014) which are given in Figure 10.



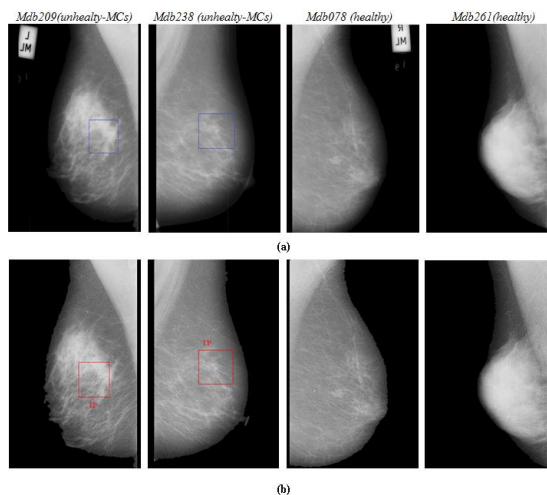
**Figure 10.** ROC curve and AUC index for the proposed MCs detection system

As shown in Figure 10; sensitivity, specificity and AUC index values were obtained as 85.7%, 98.3% and 0.92 respectively. Furthermore, the graphics of TPR (true positive rate) with FPR (false positive rate) and TNR (true negative rate) with FNR (false negative rate) have been plotted using Rstudio as seen in Appendices A7.

The computed TPR, FPR, TNR and FNR values are 0.857, 0.017, 0.983 and 0.143 respectively. In addition to these, the obtained LR+ and LR- values are 50.412, and 0.145. The positive and negative likelihood ratios (LR+ and LR-, respectively) quantify the change in the certainty of the “diagnosis”

conferred by test results. If a given test has very good ability to predict the “true disease status,” its positive likelihood ratio will be high (i.e., will greatly increase the odds of a positive diagnosis) and its negative likelihood ratio will be low (i.e., will diminish substantially the likelihood of the positive diagnosis). Typically, a positive likelihood ratio of 10 or more and a negative likelihood ratio of 0.1 or less are considered to represent informative tests.

Consequently, we can say that the results are quite satisfactory and indicate the success of the system. The program results of some mammograms for the developed detection system can be observed in Figure 11.



**Figure 11.** (a) Original mammograms (b) Detection results of the proposed system

Where windows, in original mammograms, show the regions of MC clusters which are defined in the database. Furthermore, as shown in Figure 11, the proposed system gives 0 FP for healthy mammogram examples. In addition to these, we have compared our performance results with the performance results of studies in the literature for detection of MC clusters which are given in Appendices A8.

As observed in Appendices A8, we have the highest number of mammograms used for the study according to the other studies in literature and this increases the reliability of the system. Furthermore, we have obtained quite satisfactory performance results despite of the highest image number.

According to the program outputs and statistical evaluation results, we can say that an effective system has been developed for automatic detection of MC clusters.

### Performance Evaluation for Breast Cancer Diagnosis of Detected MC Clusters

The developed system for breast cancer diagnosis has been tested on test samples (apart from training samples) and all samples have been classified truly. Thus, the performance evaluation results on MC clusters which have been detected automatically in the previous step (24 MC clusters of 28 are truly detected) are given in Appendices A9.

ROC curve and AUC index of the proposed breast cancer diagnosis system on the detected MC clusters using MedCalc software program are given in Figure 12.

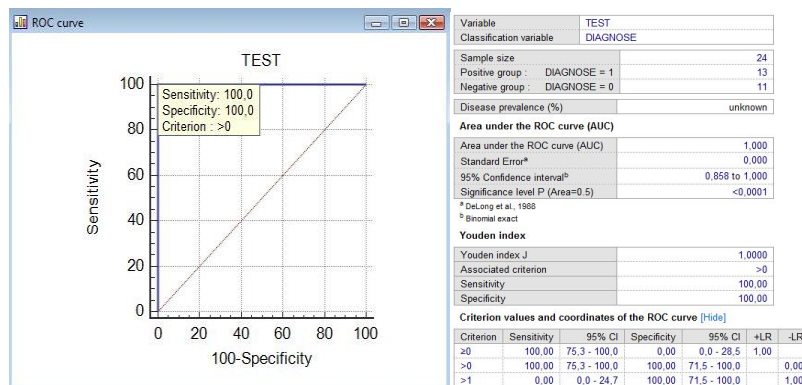


Figure 12. ROC curve and AUC index for the proposed breast cancer diagnosis system

In addition to these, we have compared proposed system with studies in the literature for breast cancer classification of MC clusters which is given in Appendices A10.

As seen in Appendices A10, there are two types of breast cancer diagnosis system for MC clusters. One of them is a whole system which includes detection of MC clusters and benign/malign classification of them (Phadke et al., 2013; Jasmine et al., 2013; Rajesh et al., 2014), and the other one is just includes benign/malign classification of cropped MC region (Strange et al., 2014; Suba et al., 2015). Furthermore, whole systems can be divided into two groups as fully automatic and semi-automatic. In semi-automatic systems, detection process is implemented on manually cropped ROIs. On the other hand, ROI extraction is also automatic in fully automatic systems. Therefore, developing a fully automatic whole system is a very challenging work. In this study, a fully automatic whole system has been developed for MC clusters and obtained very satisfactory results.

## CONCLUSION

In this study, we have developed a novel automatic CAD system for MC clusters. The proposed system produces 98.25% accuracy and 1.16 *FPPI* ratio for 23 abnormal (28 MC clusters) and 209 normal images in the MIAS database for detection of MC clusters and 100% accuracy on 24 detected MC clusters for breast cancer diagnosis. Despite the vision difficulty of MC clusters, the novel system provides very satisfactory results. Furthermore, the developed system is fully automatic whole system which gives outputs as percentages and transformed an assessment categories called PS\_BI-RADS inspired from BI-RADS approach which has never been used in literature before.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The proposed algorithm was used in a developing breast cancer diagnosis system study and supported as a SANTEZ project by the Republic Of Turkey Science, Technology and Industry Ministry and AKGÜN Computer Programs and Services Industry Tic. Ltd. Şti.

## REFERENCES

- Albregsten, F., 2008, "Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices", Technical Note, Department of Informatics, University of Oslo.
- Bird, R.G., Wallace, T.W., Yankaskas, B.C., 1992, "Analysis of Cancers Missed at Screening Mammography", *Radiology*, Vol. 184, pp. 613-617.
- Bria, A., Karssemeijer, N., Tortorella, F., 2014, "Learning from Unbalanced Data: A Cascade-Based Approach for Detecting Clustered Microcalcifications", *Medical Image Analysis*, Vol. 18, pp. 241-252.

- Chandra, B., Varghese, P.P., 2007, "Applications of Cascade Correlation Neural Networks for Cipher System Identification", *International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 343-346.
- Cheng, H.D., Shi, X.J., Min, R., Hu, L.M., Cai, X.P., Du, H.N., 2006, "Approaches for Automated Detection and Classification of Masses in Mammograms", *Pattern Recognition*, Vol. 39, pp. 646 – 668.
- Dennis, J.E., Schnabel, R.B., 1996, *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*, Siam Press, Philadelphia, A.B.D.
- Dheeba, S., Singh, N.A., Selvi, S.T., 2014, "Computer-Aided Detection of Breast Cancer on Mammograms: A Swarm Intelligence Optimized Wavelet Neural Network Approach", *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 49, pp. 45-52.
- Diaz-Huerta, C.C., Felipe-Riveron, E.M., Montañó-Zetina, L.M., 2014, "Quantitative Analysis of Morphological Techniques for Automatic Classification of Micro-Calcifications in Digitized Mammograms", *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, pp. 7361–7369.
- Ergen, B., Baykara, M., 2011, "İstatistiksel Uzaysal Alan Metotlarının İçerik Tabanlı Tıbbi Görüntü Erişimi için Bir Uygulama", *Fırat University Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol. 23, No. 2, pp. 87-93.
- Fahlman, S.E., Lebiere, C., "The Cascade-Correlation Learning Architecture", *Advances in Neural Information Processing Systems 2*, San Francisco, 1990.
- Gao, X.Z., Wang, X., Ovaska, S.J., 2009, "Fusion of Clonal Selection Algorithm and Differential Evolution Method in Training Cascade–Correlation Neural Network", *Neurocomputing*, Vol. 72, pp. 2483–2490.
- Halkiotis, S., Botsis, T., Rangoussi, M., 2007, "Automatic Detection of Clustered Microcalcifications in Digital Mammograms Using Mathematical Morphology and Neural Networks", *Signal Processing*, Vol. 87, pp. 1559–1568.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973, "Texture Feature for Image Classification", *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics*, Vol. 3, No. 6, pp. 610-621.
- Herwanto, D., Arymurthy, A.M., 2013, "Association Technique Based on Classification for Classifying Microcalcification and Mass in Mammogram", *International Journal of Computer Science*, Vol. 10, No. 2, pp. 252-259.
- Jasmine, J.S.L., Baskaran, S., Govardhan, A.A., 2013, "Robust Approach to Classify Microcalcification in Digital Mammograms Using Contourlet Transform and Support Vector Machine", *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 6, No. 1, pp. 57-68.
- Jasmine, J.S.L., Govardhan, A., Baskaran, S., "Microcalcification Detection in Digital Mammograms Based on Wavelet Analysis and Neural Networks", *International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation*, Perundurai, 1-6, 4-6 June 2009.
- Jelvehfard, E., Faez, K., Laluie, A., 2013, "Microcalcification Detection in Mamography Images Using 2D Wavelet Coefficients Histogram", *Computer Science and Information Technology*, Vol. 1, No. 3, pp. 178-184.
- Karahaliou, A., Skiadopoulos, S., Boniatis, I., Sakellaropoulos, P., Likaki, E., Panayiotakis, G., Costaridou, L., 2007, "Texture Analysis of Tissue Surrounding Microcalcifications on Mammograms for Breast Cancer Diagnosis", *The British Journal of Radiology*, Vol. 80, pp. 648-656.
- Kovalishyn, V.V., Tetko, I.V., Luik, A.I., Kholodovych, V.V., Villa, A.E.P., Livingstone, D.J., 1998, "Neural Network Studies. 3. Variable Selection in The Cascade–Correlation Learning Architecture", *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, Vol. 38, pp. 651-659.
- Kurt, B., Nabiyeve, V.V., Turhan, K., 2015, "A Novel Algorithm for Segmentation of Suspicious Microcalcification Regions on Mammograms", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9043, pp. 222-230.

- Martins, L.O., Santos, A.M., Silva, A.C., Paiva, A.C., "Classification of Normal, Benign And Malignant Tissues Using Co-Occurrence Matrix and Bayesian Neural Network in Mammographic Images", *Proceedings of the 9th Brazilian Symposium on Neural Networks*, Ribeirao Preto, 24-29, 23-27 October 2006,.
- Mazurowskia, M.A., Habasa, P.A., Zuradaa, J.M., Lob, J.Y., Bakerb, J.A., Tourassib, G.D., 2008, "Training Neural Network Classifiers for Medical Decision Making: The Effects of Imbalanced Datasets on Classification Performance", *Neural Networks*, Vol. 21, pp. 427-436.
- Medcalc Statistical Software, <http://www.medcalc.org/> ( last modified 2013), last accessed 22 April 2014.
- Mohamed, H., Mabrouk, M.S., Sharawy, A., 2014, "Computer Aided Detection System for Micro Calcifications in Digital Mammograms", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 116, pp. 226-235.
- Mohanalin, J., Beenamol, M., Kalra, P.K., Kumar, N., 2010, "A Novel Automatic Microcalcification Detection Technique Using Tsallis Entropy & Type II Fuzzy Index", *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 60, pp. 2426–2432.
- Mohanty, A.K., Beberta, S., Lenka, S.K., 2011, "Classifying Benign and Malignant Mass Using GLCM and GLRLM Based Texture Features From Mammogram", *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 1, pp. 687-693.
- Nocedal, G., Wright, S., 2006, *Numerical Optimization*, Springer, New York, A.B.D.
- Pal, N.R., Bhowmick, B., Patel, S.K., Pal, S., Das, J., 2008, "A Multi-Stage Neural Network Aided System for Detection of Microcalcifications in Digitized Mammograms", *Neurocomputing*, Vol. 71, pp. 2625– 2634.
- Phadke, A.C., Rege, P.P., 2013, "Detection and Classification of Microcalcifications Using Discrete Wavelet Transform", *International Journal of Emerging Trends&Technology in Computer Science*, Vol. 2, No. 4, pp. 130-134.
- Radhakrishnan, M., Kuttiannan, T., 2012, "Comparative Analysis of Feature Extraction Methods for The Classification of Prostate Cancer From TRUS Medical Images", *International Journal of Computer Science*, Vol. 9, No. 2, pp. 171-179.
- Rajesh, A., Ellappan, M., 2014, "Classification of Microcalcification Based on Wave Atom Transform", *Journal of Computer Science*, Vol. 10, No. 8, pp. 1543-1547.
- Rizzi, M., D'Aloia, M., Castagnolo, B., 2012, "Review: Health Care CAD Systems for Breast Microcalcification Cluster Detection", *Journal of Medical and Biological Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 147-156.
- Sabu, M.A., Ponraj, D.N., Poongodi, R., 2012, "Textural Features Based Breast Cancer Detection: A Survey", *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, Vol. 3, No. 9, pp. 1329-1334.
- Sharma, N., Om, H., 2014, "Cascade Correlation Neural Network Model for Classification of Oral Cancer", *Wseas Transactions on Biology And Biomedicine*, Vol. 11, pp. 45-51.
- Stewart, B.W., Wild, C.P., 2014, *World Cancer Report 2014*, World Health Organization Press, Swiss.
- Strange, H., Chen, Z., Denton, E.R.E., Zwiggelaar, R., 2014, "Modelling Mammographic Microcalcification Clusters Using Persistent Mereotopology", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 47, pp. 157–163.
- Suba, C., Nirmala, K., 2015, "An Automated Classification of Microcalcification Clusters in Mammograms Using Dual Tree M-Band Wavelet Transform and Support Vector Machine", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 115, No. 20, pp. 24-29.
- Thangavel, K., Mohideen, A.K., 2009, "Classification of Microcalcifications Using Multi-Dimensional Genetic Association Rule Miner", *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 233-235.
- The American College of Radiology (ACR), *ACR BI-RADS® Atlas – Mammography, Frequently Asked Questions*, <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/BI-RADS/Mammography-FAQ.pdf>, last accessed 22 October 2015.

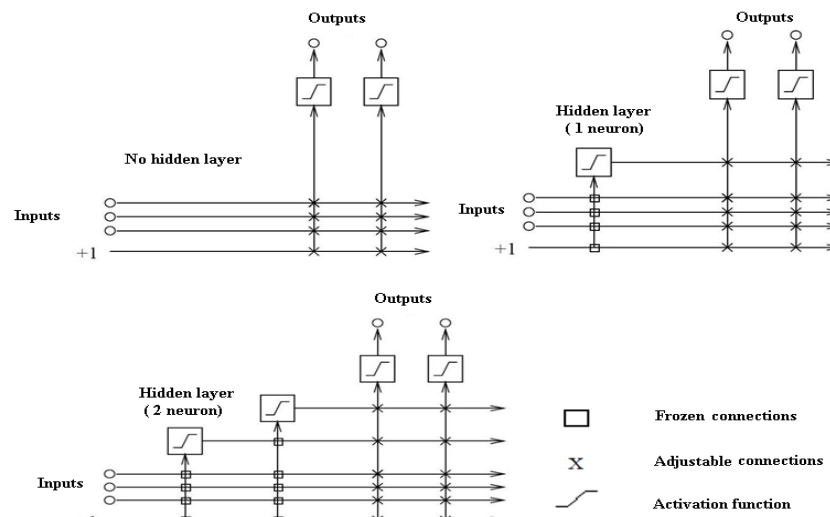
University of Essec, *Mamographic Image Analysis Society*, <http://peipa.essex.ac.uk/info/mias.html>, last accessed 22 December 2014.

Vivona, L., Cascio, D., Fauci, F., Raso, G., 2014, "Fuzzy Technique for Microcalcifications Clustering in Digital Mammograms", *BMC Medical Imaging*, Vol. 14, No.23, pp. 1-18.

Xu, D., Kurani, A.S., Furst, J.D., Raicu, D.S., "Run-Length Encoding for Volumetric Texture", *The IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing*, Marbella, Spain, 131-136, 6-8 September 2004.

Zyout, I., Czajkowska, J., Grzegorzec, M., 2015, "Multi-Scale Textural Feature Extraction and Particle Swarm Optimization Based Model Selection for False Positive Reduction in Mammography", *Computirized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 46, No. 2, pp. 95-107.

**Appendix**



**Figure A.1.** CCNN architecture

**Table A.2.** Training performances of the developed CCNN models for FP reduction

	CCNN_1			CCNN_2			CCNN_3		
	MC ROIs	FP ROIs	All	MC ROIs	FP ROIs	All	MC ROIs	FP ROIs	All
<b>Total</b>	14	30	44	14	30	44	14	30	44
<b>Correct</b>	12	27	39	9	27	36	10	27	37
<b>Incorrect</b>	2	3	5	5	3	8	4	3	7
<b>Training Performance</b>	<b>%85.7</b>	<b>%90</b>	<b>%88.63</b>	<b>%64.28</b>	<b>%90</b>	<b>%81.8</b>	<b>%71.42</b>	<b>%90</b>	<b>%84.09</b>

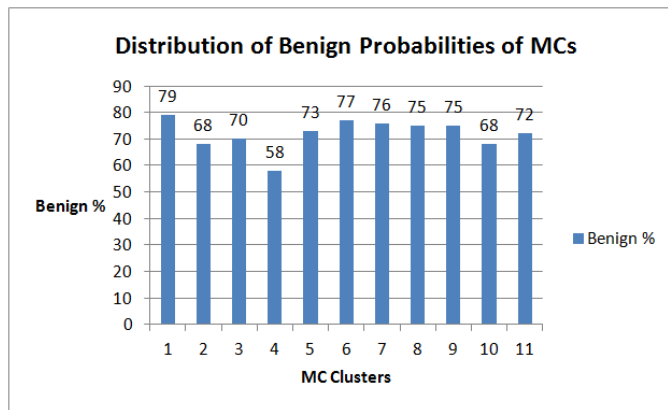
**Table A.3.** The parameters of CCNN models

Model	Kernel function for hidden layer	Parameters					
		Hidden layer neuron number	Weights for the hidden layer		Weights for the output layer		
			Min.	Max.	Min.	Max.	
CCNN_1	Gauss	3	-7.156	34.722	-6.687	5.822	
CCNN_2	Sigmoid	1	-105.541	93.643	-7.227	8.602	
CCNN_3	Sigmoid&Gauss	2	-9.066	13.08	-10.471	11.628	

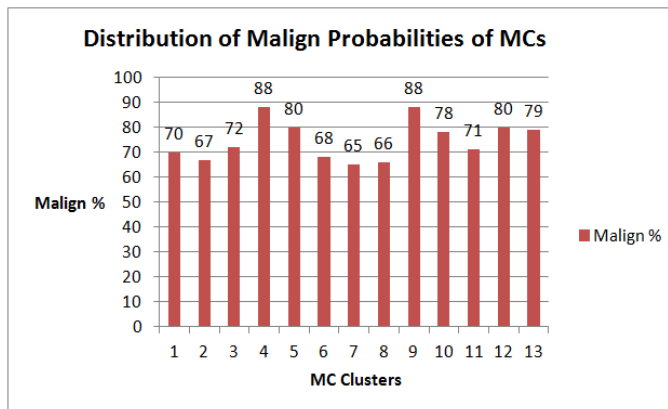


**Table A.4.** BI-RADS assessment categories

BI-RADS® Assessment Category	BI-RADS® Numeric Code	FDA-Approved Equivalent Wording
Incomplete	0	Incomplete Mammogram: Need Additional Imaging Evaluation
Negative	1	Negative Mammogram
Benign	2	Benign Abnormality
Probably Benign	3	Probably Benign Abnormality
Suspicious	4	Suspicious Abnormality — Biopsy Should Be Considered
Highly Suggestive of Malignancy	5	Highly Suggestive for Malignancy
Known Biopsy-Proven Malignancy	6	Known Biopsy-Proven Cancer Known Malignancy



(a)

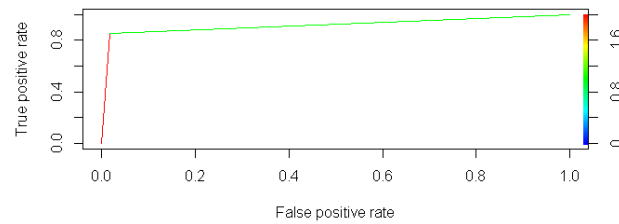


(b)

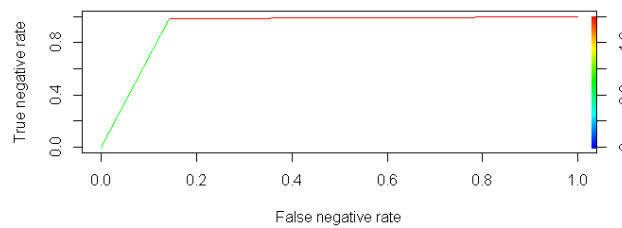
**Figure A.5.** The distributions of (a) benign and (b) malign probabilities of MC clusters

**Table A.6.** Comparison results of the developed detection system

ROIs	Normal		MCs	
	TP	FP	TN	FN
	209		23	
Classification with ANN	28	15715	-	0
Classification with ANN and FP reduction with CCNN	24	1107	14608	4
Classification with ANN and FP reduction with CCNN	24	270	15445	4



(a)



(b)

**Figure A.7.** The graphics of (a) *TPR* with *FPR* and (b) *TNR* with *FNR*

**Table A.8.** Comparison results of the proposed algorithm with studies in the literature for detection of MC clusters

<i>Methods</i>	<i>Database</i>	<i>Sensitivity (%)</i>	<i>Specificity (%)</i>	<i>Accuracy (%)</i>	<i>FPPI</i>
<b>Anuradha et al., 2013</b>	MIAS				
<i>Wavelet transform based features</i>	<b>49 Mammograms</b>				-
<i>SVM</i>	(23 MC -26 normal)	75.6	81.25	79.58	
<i>ANN</i>		98.08	100	99.04	
<b>Jelvehfard et al., 2013</b>	MIAS				
<i>Wavelet transform based features</i>	<b>49 Mammograms</b>	88.11	92	-	-
<i>SVM</i>	(23 MC -26 normal)				
<b>Halkiotis et al., 2007</b>	MIAS				
<i>Mathematical morphology based features ANN</i>	<b>53 Mammograms</b>	94.70	-	-	0.27
	(23 MC -30 normal)				
<b>Vivona et al., 2014</b>	MIAS				
<i>Shape and grey level based features</i>	<b>20 Mammograms</b>	82	-	94	4
<i>Fuzzy clustering</i>	(20 MC)				
<b>Mohanalin et al., 2010</b>	MIAS				
<i>Tsallis entropy &amp; fuzzy based enhancement with iterative thresholding</i>	<b>41 Mammograms</b>	93.75	-	-	0.52
	(23 MC -18 normal)				
<b>Diaz-Huerta et al., 2014</b>	MIAS				
<i>Spatial, spectral and textural features SVM</i>	<b>22 Mammograms</b>	86.6	84.36	-	1.77
	(22 MC)				
<b>Proposed Algorithm</b>	MIAS				
<b>GLCM &amp; ANN (Classification of MC ROIs)</b>	<b>232 Mammograms</b>	<b>85.7</b>	<b>98.3</b>	<b>98.25</b>	<b>1.163</b>
<b>GLRLM &amp; CCNN (FP reduction)</b>	(23 MC -209 normal)				

**Table A.9.** Classification results of the proposed benign/malign classification algorithm

	Detected MC Clusters	Benign/Malign True Classification Result	%
<b>Benign</b>	11	11	100
<b>Malign</b>	13	13	100
<b>Total</b>	24	24	100

**Table A.10.** Comparison results of the proposed system with studies in the literature for breast cancer diagnosis of MC clusters

Methods	Database	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy	System Information
<b>Phadke et al., 2013</b>					Whole system (detection&classification)
<i>Wavelet transform based features</i>	MIAS				Semi-automatic detection
<i>SVM</i>	15 Benign -11 Malign MCs	65.16	76.67	69.30	(detection from manually cropped ROI image)
<i>ANN</i>		95.45	96.66	96.15	
<b>Strange et al., 2014</b>					Classification system (benign/malign classification from manually cropped MC ROI)
<i>A multi-scale topological approach</i>	MIAS				
<i>A nearest neighbour based strategy</i>	11 Benign -10 Malign MCs	100	91	95	
<b>Suba et al., 2015</b>					Classification system (benign/malign classification from manually cropped MC ROI)
<i>Dual Tree M-Band Wavelet Transform (DTMBWT)</i>	MIAS				
<i>SVM</i>	12 Benign -13 Malign MCs	89.33	94.33	91.83	
<b>Jasmine et al., 2013</b>					Whole system (detection&classification)
<i>Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT)</i>	MIAS				Semi-automatic detection
<i>SVM</i>	12 Benign -13 Malign MCs	92.3	100	96.15	(detection from manually cropped ROI image)
<b>Rajesh et al., 2014</b>					Whole system (detection&classification)
<i>Wave Atom Transform (WAT)</i>	MIAS				Semi-automatic detection
<i>SVM</i>	12 Benign -13 Malign MCs	100	100	100	(detection from manually cropped ROI image)
<b>Proposed Algorithm</b>					Whole system (detection&classification)
<b>GLCM, Statistical, GLRLM based features DA&amp;SVM</b>	MIAS				Fully Automatic detection
	11 Benign -13 Malign MCs	100	100	100	

## USING CLASSIFICATION ALGORITHMS FOR TURKISH MUSIC MAKAM RECOGNITION

<sup>1</sup>Övünç ÖZTÜRK, <sup>2</sup>Didem ABIDIN, <sup>3</sup>Tuğba ÖZACAR

<sup>1,2,3</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Şehit Prof. Dr. İlhan Varank Kampüsü 45140 - Yunusemre - MANİSA

<sup>1</sup>ovunc.ozturk@cbu.edu.tr, <sup>2</sup>didem.abidin@cbu.edu.tr, <sup>3</sup>tugba.ozacar@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 09.05.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.12.2017)

**ABSTRACT:** Turkish Music pieces are used in various studies including makam recognition in computational music domain. Turkish Music pieces offer a rich content to the researchers because of their different makam properties. SymbTr is one of the most referred Turkish Music data sets in this area. In this study, the pieces from SymbTr data set belonging to 13 makams are used to execute 10 different machine learning algorithms for makam recognition and the performances of these algorithms are evaluated. These algorithms were executed on WEKA application environment and the performances in makam recognition were obtained with F-measure and recall metrics. The machine learning algorithms performed between 82% and 88%.

**Key Words:** Machine learning algorithms, Makam recognition, SymbTr, WEKA

### Klasik Türk Müziğinde Makam Tanıma İçin Veri Madenciliği Kullanımı

**ÖZ:** Türk Müziği eserleri veri kümeleri hesaplamalı müzik alanında başta makam tanıma çalışmaları olmak üzere çeşitli araştırmalarda kullanılmaktadır. Türk Müziği eserleri, farklı makamsal özellikler göstermeleri bakımından araştırmacılara zengin bir içerik sunmaktadır. Bu alanda en çok referans gösterilen Türk Müziği veri setlerinden biri SymbTr veri setidir. Bu çalışmada, SymbTr veri kümesinden 13 makama ait eserler üzerinde 10 farklı makine öğrenmesi algoritması çalıştırılmış ve bu algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Bu algoritmalar WEKA uygulama ortamı üzerinde çalıştırılarak makam tanımadaki başarımlar yüzdeleri f-ölçütü ve duyarlılık metrikleri üzerinden hesaplanmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları, %82-%88 arası performans göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenmesi algoritmaları, Makam tanıma, SymbTr, WEKA

## INTRODUCTION

The studies on computational music using Music pieces as data are evolving rapidly. Although most of the studies focus on Western Music, Turkish Music is subject to some studies in literature. Makam system, which is the basis of Turkish Music, attracted attention of computer scientists and became a subject of research in data mining, machine learning and classification.

A study, done in 2012, about pairing sections of a score to the corresponding fragments of 44 audio recording performances in Turkish Music (Şentürk et al., 2012) has recognized final resolution pitches with a success ratio of 89%. The first study about classification of Turkish Music pieces according to their makams in the literature was done by (Gedik and Bozkurt, 2008). The authors then worked on makam recognition by automatic tone detection using frequency histograms (Gedik and Bozkurt, 2010). Another study (Şentürk et

al., 2013) used the final resolution pitch of the piece to recognize the makam. In this study, authors used 57 different recordings of 14 songs, 116 different recordings of 24 *peşrevs*, 84 different recordings of 19 *saz semais* and they detected the makams with a success ratio of 94.9%.

(Ünal et al., 2012) is one of the most fundamental studies on makam recognition in the literature. In this study, N-gram based statistical analysis (Jurafsky and Martin, 2014) has been applied to 847 pieces from 13 different makams. The success ratio on makam recognition is 86% - 88%. A deficit of using N-gram based statistical analysis is the performance of the model remains constant with changing sizes of data. On the other hand, it is likely that the performances of the machine learning algorithms rise with increasing sizes of data. There are also studies on Dastgah recognition (Darabi et al., 2006) and Dastgah classification (Abdoli, 2011) in Iranian Music. Dastgah is a model which is similar to the makam system of Turkish Music.

In our previous work (Abidin et al., 2016), we used Random Forest algorithm for the classification of 1261 Turkish Music pieces according to their makams. We chose the following makams, which have the highest number of pieces in TRT (Turkish Radio and Television) repertoire (Bozkurt et al., 2014); Hicaz, Nihavend, Hüzam, Rast, Kürdilihicazkar, Uşşak, Hüseyini, Mahur, Muhayyerkürdi and Hicazkar. In this study, in order to compare our work with similar studies in literature properly, we used the same makam set with these studies. The set is updated as follows: Beyati, Hicazkar, Hüseyini, Hüzam, Kürdilihicazkar, Mahur, Muhayyer, Nihavend, Rast, Saba, Segah, Uşşak and Hicaz. We also analyzed the performances of 10 different and popular machine learning algorithms on our data set. Finally, we used feature scaling method to increase the performance of the algorithms. Table 1 shows the studies in literature about makam recognition, the final resolution pitch detection and tone detection. The data format used and algorithms applied are also given in the table.

**Table 1.** Studies in literature

Reference	Aim	Algorithm	Format
<b>(Our Study)</b>	Makam recognition	J48, MLP, Random Forest, Logistic, Bagging, SMO, NaiveBayes, BayesNet, JRip, LMT	MusicXML
<b>(Ünal et al., 2012)</b>	Makam recognition	N-gram model	MusicXML
<b>(Gedik and Bozkurt, 2010)</b>	Makam recognition	Pitch-frequency histogram	Audio files
<b>(Darabi et al., 2006)</b>	Dastgah and makam recognition	Pattern recognition	Audio files
<b>(Abdoli, 2011)</b>	Dastgah classification	Fuzzy logic	Audio files
<b>(Şentürk et al., 2012)</b>	Final resolution pitch detection	Hierarchical linking	Audio files
<b>(Şentürk et al., 2013)</b>	Tone detection	Distribution matching	MusicXML
<b>(Abidin et al., 2016)</b>	Makam recognition	Random Forest	MusicXML

In the next section, we describe the machine learning algorithms we used in the study. Chapter 3 explains our data set and the derived variables that we produced to increase the performance of machine learning. Chapter 4 analyzes the performance of 10 machine learning algorithms. Finally, Section 5 concludes the paper with some potential future work.

## MATERIAL AND METHOD

Classification is one of the most common used machine learning algorithms. Classification is a supervised method that classifies the items into several groups. The data set is divided into two groups as

training set and test set, one for building a learning model on it and the other one to test it. In this study, ten classification algorithms are applied on SymbTr data set of Turkish Music Repository (Karaosmanoğlu, 2012). The chosen classification algorithms are applied using WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) environment (Frank, 2000). The following subsections describe these algorithms in detail.

## J48

J48 (Witten and Frank, 2005) is the Java implementation of C4.5 algorithm (Quinlan, 1993). C4.5 is an extension of Quinlan's earlier ID3 algorithm (Quinlan, 1986) and a classifier which accepts nominal classifiers only. C4.5 generates a decision tree from a set of labeled training data using the information entropy. C4.5 can use both discrete and continuous attributes and training data with missing attribute values. C4.5 classifiers are expressed as decision trees, but they can also construct classifiers in a more comprehensible rule set form (Salama, et. al., 2015). Given a set of cases, C4.5 first grows an initial tree. The initial tree is then pruned to avoid overfitting.

## MLP

Artificial Neural Networks (ANN) is a computing system made up of a number of simple, highly interconnected processing elements, which process information by their dynamic state response to external inputs (Caudill, 1989). An ANN combines artificial neurons in order to process information. An artificial neuron consists of inputs, which are multiplied by weights, and then computed by a mathematical function which determines the activation of the neuron (Figure 1). Another function computes the logical (Boolean) output of the artificial neuron.

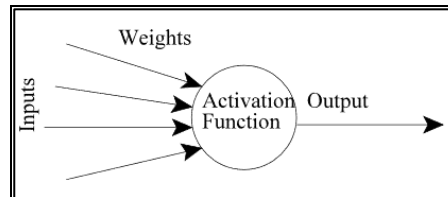


Figure 1. An artificial neuron

Figure 2 shows a typical multilayer NN (MLP) which is used to compute more complex functions than a single-layer NN. MLPs are structured in three layers: An input layer, hidden layer(s) and an output layer. The information passes through the nodes in a forward direction and the final outputs are computed (Karray and Silva, 2004). Then for each of the outputs, error values are computed and propagated to each neuron in the backward direction. In the second phase, the weights are updated to get better results. This forward-backward propagation continues until reaching minimal error values (Rojas, 1996).

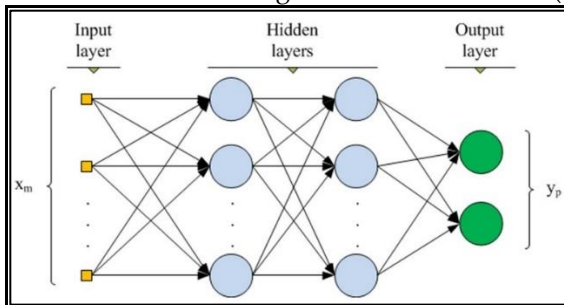


Figure 2. A multilayer neural network (MLP)

## Random Forest

Random Forest is a classifier that builds many classification trees as a forest of random decision trees, each constructed using a random subset of the features (Ho, 1995). Each tree gives a classification (vote) and the algorithm chooses the classification having most votes among all the trees in the forest (Fontana et al., 2016). The generalization error for forests converges to a limit as the number of trees in the forest becomes large. The generalization error of a forest of tree classifiers depends on the strength of the individual trees in the forest and the correlation between them (Breiman, 2001).

## Logistic

Logistic in WEKA builds and uses a multinomial logistic regression model (Greene, 2012). The linear regression model gets the inputs ( $x_i$ ) and predicts the output by estimating initial weight values ( $\Theta_j$ ) for each input. This model uses the hypothesis function ( $h_{\Theta}(x)$ ) (Equation 1) to compute the output.

$$h_{\Theta}(x) = \Theta_0 + \Theta_1 x_1 + \Theta_2 x_2 + \dots + \Theta_n x_n \quad (1)$$

Then the cost function, which is the sum of squared difference between the actual output value and the predicted value, is computed. The algorithm tries to minimize the cost function iteratively using the Gradient Descent algorithm (Snyman, 2005). Logistic regression modifies linear regression model by generating hypothesis function ( $h_{\Theta}(x)$ ) value between 0 and 1.

## Bagging

Bagging is an algorithm that is designed to improve the performance of machine learning algorithms. It combines bootstrapping and aggregating (Alfaro, et. al, 2013). With a training set ( $T_n$ ),  $B$  bootstrap samples ( $T_b$ ) are obtained, where  $b = 1, 2, \dots, B$ . In these bootstrap samples, noisy observations may be eliminated or reduced, so the classifiers built in these sets will have a better behavior than the classifier built in the original set. Therefore, bagging can be really useful to build a better classifier when there are noisy observations in the training set. It also helps to reduce overfitting in the algorithm. Given a standard training set, the  $m$  versions of this set are formed by making bootstrap replicates of the learning set (Breiman, 1996). The  $m$  models are fitted using the above  $m$  bootstrap samples and combined by averaging the output for regression or voting for classification.

## Sequential Minimal Optimization (SMO)

In machine learning, support vector machines (SVMs, also support vector networks) are supervised learning models with associated learning algorithms that analyze data used for classification and regression analysis. SVMs divide the data into two classes. Therefore, they assign the data to the values 0 and 1 (Cortes and Vapnik, 1995). From this perspective they look like the Logistic Regression Model but in SVM problems, data cannot be classified linearly. The instances of two classes can be separated with a non-linear boundary. In this case, the hypothesis function ( $h_{\Theta}(x)$ ) will be calculated from complex polynomial features. An example hypothesis function is shown in Equation 2.

$$Predict \begin{cases} y = 1 & \text{if } \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_1 x_2 + \theta_4 x_1^2 + \theta_5 x_2^2 + \dots \geq 0 \\ y = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

SMO is used to solve the Support Vector Machine (SVM) training problem. In our case, SMO is an application of multi-class SVM. In practice, multi-class classification problems are decomposed into a series of binary problems that the standard SVM can be applied (Wang and Xue, 2014). SMO uses heuristics to partition the training problem into smaller subproblems. Typically, it speeds up the training process (Platt, 1998). These small QP problems are solved analytically, which avoids using a time-consuming numerical QP optimization as an inner loop. The amount of memory required for SMO is linear in the training set size, which allows SMO to handle very large training sets. Because matrix computation is avoided, SMO scales somewhere between linear and quadratic in the training set size for various test problems, while the standard chunking SVM algorithm scales somewhere between linear and cubic in the training set size. SMO's computation time is dominated by SVM evaluation; hence SMO is fastest for linear SVMs and sparse data sets. On real-world sparse data sets, SMO can be more than 1000 times faster than the chunking algorithm.

### Naïve Bayes

Naïve Bayes (NB) is a set of supervised learning algorithms based on Bayes theorem (Bayes and Price, 1763). This algorithm is one of the most important classification algorithms because it is very easy to construct, not needing any complicated iterative parameter estimation schemes, easy to interpret, robust, fast and space efficient (Wu et al., 2008). Naïve Bayes uses Equation 3 and Equation 4 to classify instances with single and multiple attributes (Bishop, 2006; Duda et al., 2000).

$$p((c_j|d) = \frac{p(d|c_j)p(c_j)}{p(d)} \quad (3)$$

$$p(d|c_j) = p(d_1|c_j) p(d_2|c_j) \dots p(d_n|c_j) \quad (4)$$

In order to classify instances with only one attribute, the algorithm uses Bayes theorem given in Equation 3, where  $p(c_j | d)$  is the probability of instance  $d$  being in class  $c_j$ ,  $p(d | c_j)$  is the probability of generating instance  $d$  given class  $c_j$ ,  $p(c_j)$  is the probability of occurrence of class  $c_j$  and  $p(d)$  is the probability of instance  $d$  occurring. This equation is used in datasets with one attribute and in the case of having multiple attributes (Equation 4), naive Bayesian classifiers assume that these attributes have independent distributions.

### BayesNet

BayesNets improves the performance of naive Bayesian classifiers by avoiding unwarranted assumptions about independence (Friedman et al., 1997). In order to tackle this problem effectively, we need an appropriate language and efficient machinery to represent and manipulate independence assertions. Both are provided by Bayesian networks (Pearl, 1988). These networks express relationships among variables by directed acyclic graphs with probability tables stored at the nodes. Each vertex in the graph represents a random variable, and edges represent direct correlations between the variables.

Figure 3 shows a typical Bayesian network, which is taken from (Russell and Norving, 2010). In this figure, the letters B, E, A, J and M stand for *Burglary*, *Earthquake*, *Alarm*, *JohnCalls* and *MarryCalls* respectively. This example depicts an alarm which is fairly reliable at detecting a burglary, but also responds on occasion to minor earthquakes. We have also two neighbors in the example; John and Mary, who calls us when they hear the alarm. John always calls when he hears the alarm, but sometimes confuses the telephone ringing with the alarm and calls then, too. Mary, on the other hand, sometimes misses the alarm. Given the evidence of who has or has not called, we would like to estimate the probability of a burglary.



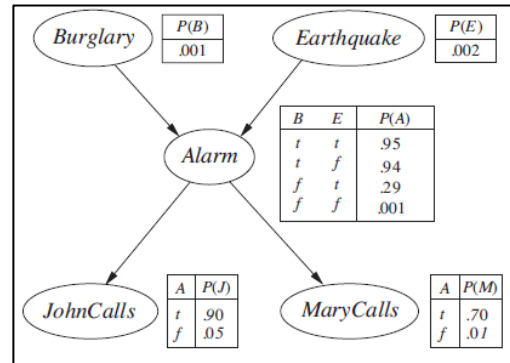


Figure 3. A Bayesian Network showing the topology and conditional probability tables

## JRip

Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction (RIPPER) (Cohen, 1995), is a propositional rule learner. The main idea of RIPPER approach is for seeking an initial set of rules and iteratively improving it by applying an optimization algorithm (Mehdiyev et al., 2015). To build a rule, algorithm uses the following strategy: (a) First the training data is split into a growing set and a pruning set. (b) Next a rule is grown using the growing set. In this phase, a rule is grown by greedily adding antecedents to the rule. The procedure tries every possible value of each attribute and selects the condition with highest information gain. (c) After growing a rule, the rule is immediately pruned. The instances from the pruning data set are applied to advance the performance of the obtained set by pruning it.

## Logistic Model Tree (LMT)

LMT is a supervised training algorithm that combines logistic regression and decision trees. A logistic model tree basically consists of a standard decision tree structure with logistic regression functions at the leaves, much like a model tree is a regression tree with regression functions at the leaves, and the tree is pruned using a CART algorithm (Breiman et al., 1984). As in ordinary decision trees, a test on one of the attributes is associated with every inner node (Landwehr et al., 2005).

The LogitBoost algorithm uses additive logistic regression of least-squares fits for each class  $M_i$  (Doetsch et al., 2009) as in Equation 5, where  $\beta_i$  is the coefficient of the  $i^{\text{th}}$  component of the vector  $x$  and  $n$  is the number of factors.

$$L_M(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \beta_0 \quad (5)$$

The linear logistic regression method is used to compute the posterior probabilities of leaf nodes in the LMT model (Landwehr et al., 2005; Tien Bui et al., 2016) as in Equation 6, where  $D$  is the number of classes.

$$P(M|x) = \frac{\exp(L_M(x))}{\sum_{M=1}^D \exp(L_M(x))} \quad (6)$$

## TURKISH MAKAM MUSIC DATA SET

In this study, we use most popular machine learning algorithms (Wu et al., 2008; Meenakshi and Geetika, 2014) for makam recognition on Turkish Music pieces from the SymbTr data set. The data is prepared according to previous studies, in which N-gram algorithm was used by the authors to recognize makams (Ünal et al., 2012). In that study, authors chose 13 different makams to apply the selected algorithm. In our study, we also chose the same 13 makams and 1246 pieces from SymbTr data set in order to compare the performances of algorithms properly. The chosen makams and the number of pieces of each makam are as follows: Beyati (62), Hicazkar (80), Hüseyini (97), Hüzam (97), Kürdilihicazkar (70), Mahur (89), Muhayyer (67), Nihavend (128), Rast (112), Saba (70), Segah (97), Uşşak (119) and Hicaz (158).

The chosen songs in SymbTr can be found in XML format in the original data set of SymbTr. With our Java application parsing the XML files, symbolic note representations of the songs are obtained. This symbolic representation only contains the chords in letters (A, B, C, D, E, F, G) and flat (bemol) or sharp (diyez) signs of chords. The Java application also performs note transformations and adds derived variables automatically. The derived variables are determined as follows: scale frequencies, mainly emphasized note and final resolution pitch. These two processes of the application and the derived variables are described in the following subsections.

### Note Transformation

In Turkish Music, the Arel – Ezgi - Uzdilek (AEU) makam system (Can, 2002) is used. This system is built on 25 tones on 24 non-equally-tempered intervals (Özkan, 1994). Unlike Western Music, the interval between two tones is divided into 9 equal pieces. Each of these 9 pieces is called "koma" and the makam characteristics are determined according to the *komas* of notes. Since existing note writing software are designed according to Western Music standards, note representation of Turkish Music pieces must be transformed properly before the process. The corresponding letters for accidental tones of the notes are given in Table 2. In this table, seven notes (A (la), B (si), C (do), D (re), E (mi), F (Fa) and G (sol)) and 28 pitches are represented with the corresponding letter or letter groups. In the first step of our Java application, the automatic transformation of the note sequences of 1246 pieces is done according to Table 2.

**Table 2.** Legend for tones in Turkish Music

A		B		C		D		E		F		G	
<b>A1b</b>	H	<b>B1b</b>	J	<b>C1#</b>	L	<b>D1b</b>	U	<b>E1b</b>	O	<b>F4#</b>	Fd	<b>G4b</b>	Gb
<b>A4b</b>	Ab	<b>B4b</b>	Bb	<b>C4#</b>	Cd	<b>D4b</b>	Db	<b>E4b</b>	Eb	<b>F5#</b>	Q	<b>G5b</b>	R
<b>A5b</b>	I	<b>B5b</b>	K	<b>C5#</b>	M	<b>D5b</b>	T	<b>E5b</b>	P			<b>G4#</b>	Gd
<b>A4#</b>	Ad	<b>B4#</b>	Bd			<b>D4#</b>	Dd	<b>E4#</b>	Ed			<b>G5#</b>	S
						<b>D5#</b>	N						

### Adding Derived Variables

To perform makam recognition in WEKA on the transformed note sequences and increase machine learning performance, some derived variables are calculated in the second step of the Java application. These derived variables increase the performance of machine learning by about 40%. Each derived variable is explained in the following subsections.

### Scale frequencies

In Turkish Makam Music, two scales are used for distinguishing makams: one tetra-chord (Scale1) and one penta-chord (Scale2). For each makam, these tetra-chords and penta-chords differ. For example, the scale of Hicaz makam include one Hicaz tetra chord *la - sib - do# - re* and one Rast penta-chord *re - mi - fa# - sol - la*. Since we have 13 makams in this study, the .arff file includes 13 different frequency values. The final frequency value of each makam *m* is the summation of the frequency of tetra-chord of *m* and the frequency of penta-chord of *m* in the piece. Makam attributes used in the calculation process are given in Table 3.

**Table 3.** Attribute Values of Makams.

Makam	Scale1	Scale2	Makam	Scale1	Scale2
Hicaz	AKCdD	DEFdGA	Kürdilihicazkar	GFEbDC	CBbAbG
Kürdi	ABbCD	DEFGA	Hüseyni	AJCDE	EFdGA
Hüzzam	JCDPFd	FdGAdJ	Acemaşiran	FGABbC	CDEF
Nihavend	GABbCD	DEbFG	Mahur	GQED	DCBAG
Rast	GAJCD	DEFdG	Muhayyerkürdi	AGFED	DCBbA
Uşşak	AJCD	DEFGA	Segah	JCDOFd	FdGAdJ
Hicazkar	GFdPD	DCJAbG			

### Mainly emphasized note

For each makam, the end of the first scale and the beginning of the second scale is the same note. This note is called the mainly emphasized (*güçlü*) note of the makam. We derived a variable for this note as follows; for each mainly emphasized note, the frequency of that note in all note sequences are calculated and added to the .arff file. Mainly emphasized notes for thirteen makams are given in Table 4.

**Table 4.** Mainly emphasized notes for makams

	Hicaz	Kürdi	Hüzzam	Nihavend	Rast	Uşşak	Hicazkar	Kürdilihicazkar	Hüseyni	Acemaşiran	Mahur	Muhayyerkürdi	Segah
Note	D	D	Fd	D	D	D	D	D	E	C	D	E	Fd

### Final Resolution Pitch

Every piece in Turkish Makam Music ends with a final resolution pitch, which identifies the makam of that piece. The final resolution pitch for each makam is given in Table 5. Java application writes this note to the .arff file using the note sequence automatically.

Table 5. Final resolution pitch notes for makams.

	Hicaz	Kürdi	Hüzzam	Nihavend	Rast	Uşşak	Hicazkar	Kürdilihicazkar	Hüseyni	Acemaşiran	Mahur	Muhayyerkürdi	Segah
Note	A	A	J	G	G	A	G	G	A	F	G	A	J

Feature Scaling and the .arff File

To increase the performance, the feature scaling method is applied on the values of the derived variables as follows: (1) The maximum of the first thirteen values about the frequencies of the scales are found and each of these thirteen values is divided by this maximum value. (2) The maximum of the next five values about the mainly emphasized notes are found and each of these five values is divided by this maximum value.

Figure 4 shows the final status of the .arff file. The first thirteen fields of each entry (piece) show the frequencies of the scales that are used for distinguishing makams. The next five fields represent the five mainly emphasized notes that belong to these thirteen makams (Some makams have common mainly emphasized notes.). And the next field shows the final resolution pitch of the piece.

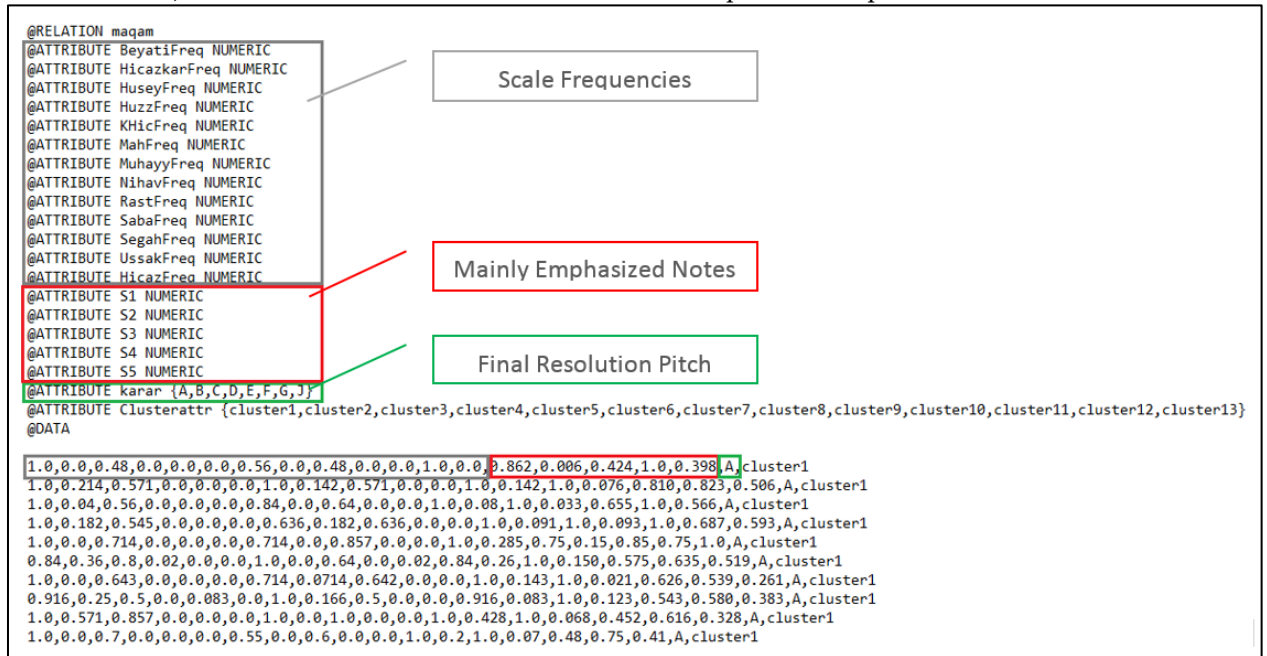


Figure 4. Definition of attributes in .arff file

EXPERIMENTS AND RESULTS

We analyzed the performance of the machine learning algorithms using WEKA. The classification operation is performed by choosing the proper algorithm under the “Classify” tab. As the test option, “Cross Validation” with 10 folds (k=10) is used. With this option, the data sets to be obtained can have different sizes and it does not need to divide the data into two sets as training and test sets. Instead, data set is divided into 10 groups. Then the algorithm uses k-1 folds for learning and the remaining one fold for the

test. For performance comparisons, recall and F-measure values are used (Powers, 2011). For further analysis, the confusion matrix of each algorithm can be downloaded from [https://figshare.com/articles/Appendix\\_docx/5484217](https://figshare.com/articles/Appendix_docx/5484217).

Recall value is the fraction of relevant instances that are successfully classified. It is calculated as in Equation 7.

$$recall = \frac{|{\{relevant\ pieces\}} \cap {\{retrieved\ pieces\}}|}{|{\{retrieved\ pieces\}}|} \quad (7)$$

F-measure is an evaluation technique, which is used to measure a test's accuracy and calculated as in Equation 8.

$$F = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall} \quad (8)$$

In the subsection 4.1, we define the parameters of algorithms we used in the experiments. Subsection 4.2 presents our experiment results using F-measure and recall metrics. This section also compares our results with the nearest study in the literature (Ünal et al., 2012, which also uses the same dataset with us. Finally, subsection 4.3 summarizes the performances of resembling works in the literature.

### Algorithm Parameters

Table 6 shows the parameters that we use with each machine learning algorithm. In J48 algorithm, post pruning is implemented on a fully induced decision tree and sifts through to remove statistically insignificant nodes. In Weka, the parameter altered to test the effectiveness of post pruning is the "confidenceFactor". In WEKA J48 classifier, lowering the confidence factor decreases the amount of post pruning. In our study, the confidence is held constant at 0.25 to minimize post pruning and cross validation folds for the testing set is held at 10.

**Table 6.** The parameters for the machine learning algorithms

Algorithm	Parameters	Algorithm	Parameters
<b>J48</b>	confidence factor = 0.25 cross validation folds = 10	SMO	c = 1.0 E = 1.0 (linear kernel)
<b>MLP</b>	#inputs =19 #outputs =13 #hidden layers =1	Naive Bayes	useSupervisedDiscretization = true useKernelEstimator = false
<b>Random Forest</b>	#trees = 100 #features = 0 (log M + 1)	BayesNet	estimator = Simple Estimator searchAlgorithm = Simulated Annealing useADTree = false
<b>Logistic</b>	maxIts = -1	JRIP	folds= 10 minNo = 2 optimizations = 2
<b>Bagging</b>	classifier = REPTree bagSizePercentage = 100% numIterations = 10	LMT	minNumInstances = 15 splitOnResiduals = false weightTrimBeta = 0.01

For MLP algorithm, the number of hidden layers is selected as 1. Since default settings will often give reasonable results, we use WEKA MLP on our data set with default settings. Default setting on neurons in the hidden layer is "a". This special character ("a") defines the number of nodes in the hidden layers. "a" calculates the number of nodes in the hidden layers as  $a = (\text{classes} + \text{attributes}) / 2$ . Therefore, in our case the nodes in the first layer is  $(13 + 19) / 2 = 16$ .

For the Random Forest algorithm, we pick a large number of trees (100) and according to the original paper of (Breiman) and we use  $1 + \log_2 M$  features. So, we set the number of features to consider as 0. If this parameter is a value smaller than 1, WEKA will use  $\log M + 1$ , where M is the number of inputs.

For Logistic algorithm, "maxIts" is set to -1, which means the number of cross validation iterations is not fixed but is continued till the feature-class weights are fully optimized. A key configuration parameter is the choice of "classifier". We choose the default classifier, namely REPTree, which is the WEKA implementation of a standard decision tree (CART). The "bagSizePercent" parameter specifies the size of each random sample. We choose 100%, which will create a new random sample with the same size as the training dataset. "numIterations" specifies the number of bags. We increase the value of this parameter until we no longer see an improvement. Then the optimum value is 10, which is also the default parameter value.

For SMO algorithm, we consider two parameters; (1) the value of c: controls the tradeoff between fitting the training data and maximizing the separating margin. We check the following values of c; 0.1, 1.0 and 10.0. The optimum value is 1.0. (2) The kernel parameters: for the polynomial kernel, the most important parameter is "exponent", which controls the degree of the polynomial. We try 1 for the linear kernel, 2 for the quadratic kernel and 3 for the cubic kernel. We get the maximum performance with the linear kernel.

NaiveBayes algorithm has two important parameters; "useKernelEstimator" and "useSupervisedDiscretization". We change the "useSupervisedDiscretization" parameter value as "True", so we automatically convert our numerical attributes to nominal attributes. The performance is changed from 78.01% to 82.99%. Then we change the "useKernelEstimator" argument that may better match the actual distribution of the attributes in our dataset. But this change has no effect on the performance.

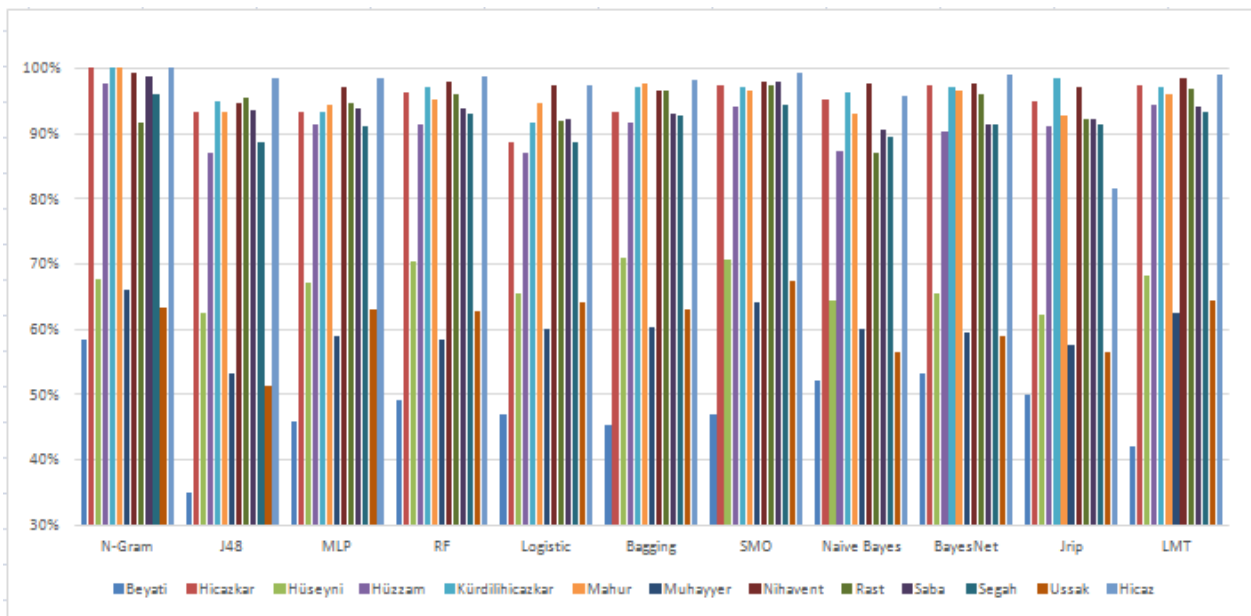
We have three important parameters for BayesNet algorithm; "estimator", "searchAlgorithm" and "useADTree". The "searchAlgorithm" option is used to select a structure learning algorithm. If we set "useADTree" option to "True", then counts are calculated using the ADTree algorithm (Moore, 1998). Changing these two parameters does not make an improvement for our dataset. Therefore, we use default values of parameters. Finally, the estimator option is used to select the method for estimating the conditional probability distributions. We get the maximum performance when we set this parameter to "SimulatedAnnealing"

The "folds" parameter in JRIP stands for the number of folds for reduced error pruning. We get the optimum result when this parameter is set to 10. The second important parameter is "minNo", which defines the minimal weights of instances within a split. We get the maximum performance with the default value 2. The third important parameter is the "optimizations", which sets the number of runs of optimizations. The default value 2 gives the maximum performance for our study.

For LMT algorithm, the "minNumInstances" parameter specifies the minimum number of instances at which a node is considered for splitting. For our dataset, changing the value of this parameter does not affect the performance. Therefore, we use the default value of this parameter. "weightTrimBeta" is the threshold for trimming weights. We get the best results, when we set this parameter to 0.01. "splitOnResiduals" sets splitting criterion based on the residuals of LogitBoost. There are two possible splitting criteria for LMT; the default is to use the C4.5 splitting criterion that uses information gain on the class variable. The other splitting criterion tries to improve the purity in the residuals produces when fitting the logistic regression functions. The choice of the splitting criterion does not affect our results.

## Results of Experiments

F-measure values for each machine learning algorithm and N-gram algorithm (Ünal et al., 2012) are given in Figure 5. In the original work (Ünal et al., 2012), authors used recall values for performance comparisons. Therefore, F-measure values were calculated for comparison in our study. Figure 6 shows recall values for each algorithm in this study and N-gram of (Ünal et al., 2012). Our results are close to the results of N-gram. But the performance of the N-gram based statistical analysis remains constant with changing sizes of data. On the other hand, it is likely that the performance of the machine learning algorithms rises with increasing sizes of data. In Table 7, the percentages of correctly classified instances for each makam are given. This table also gives the percentage of correctly classified instances of N-Gram in the grey column.



**Figure 5.** F-measure values for 10 machine learning algorithms and N-gram algorithm

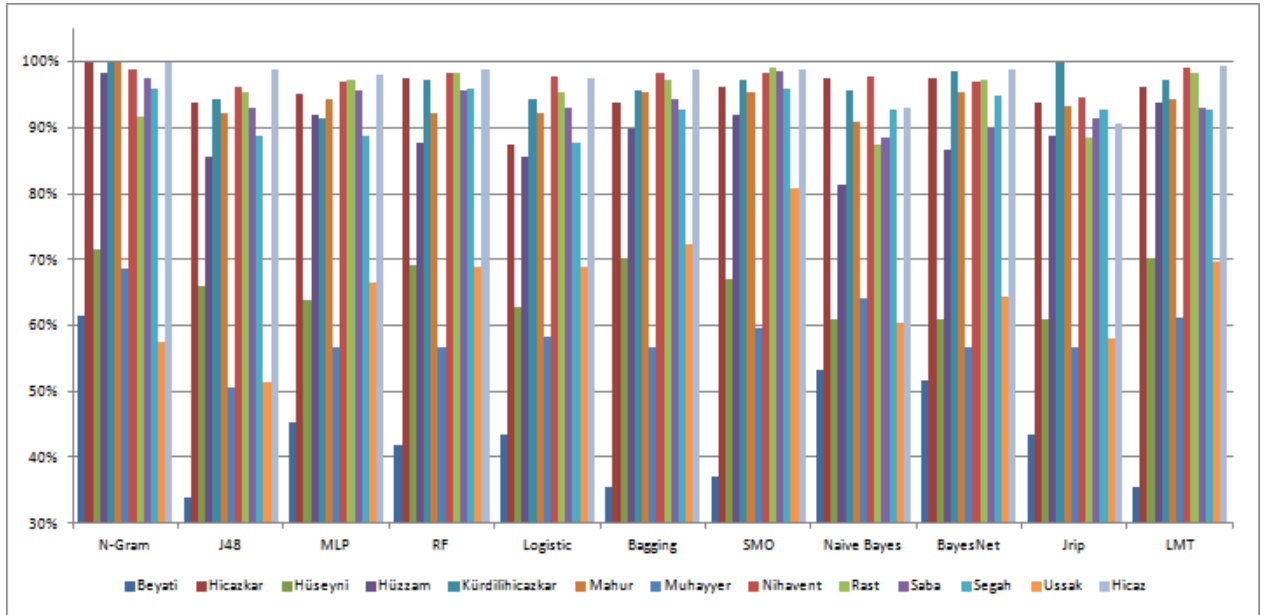


Figure 6. Recall values for 10 machine learning algorithms and N-gram algorithm

Table 7. Percentages of correctly classified instances for each machine learning algorithm

	N-Gram	J48	MLP	Random Forest	Logistic	Bagging	SMO	Naive Bayes	BayesNet	JRip	LMT
%	87.9574	82.1027	85.1525	86.5169	83.9486	86.2761	88.122	82.9856	85.634	82.183	86.9181

According to the results in the confusion matrices (download link: [https://figshare.com/articles/Appendix\\_docx/5484217](https://figshare.com/articles/Appendix_docx/5484217)) and F-measure graph, all machine learning algorithms are remarkably successful with a performance of 99.35% in distinguishing Hicaz makam when compared to other makams. Rast (97.37%), Nihavent (98.40%), Kürdilihiczakar (98.60%) and Saba (97.89%) makams are also recognized successfully in most of the algorithms. For these four makams, SMO algorithm gives the best performances. The biggest problem is recognizing Beyati, Hüseyini, Muhayyer and Uşşak makams. These four makams have the same mainly emphasized notes (A) and similar makam scales. Most of the machine learning algorithms classified more than half of the Beyati pieces as Uşşak, since these two makams are the most similar ones. The worst classification performance is obtained for Beyati makam (46.64%). When F-measure values are compared for four makams, Bagging algorithm is the most successful one with a performance of 70.84%. The misclassified makams are the ones that are also misclassified by domain experts. Therefore, these results show that machine learning algorithms can be applied to makam recognition effectively. When the overall results are examined, J48 algorithm has the worst performance in classifying makams with 82.10%. SMO algorithm has the highest classification percentage with 88.12%. SMO also does better in distinguishing some of the makams which are misclassified frequently including Hüseyini (%70.64) and Uşşak (%67.36).



### Performances of Other Studies

There are some important studies on the classification of Turkish music makams in the literature. Table 8 lists these studies and their performances (%). However, they differ in terms of the data set they use. For this reason, the comparison of performance results with our study is not appropriate.

**Table 8.** Percentages of correctly classified instances for each machine learning algorithm

Study	Technique	Dataset	Performance
(Kalender et al., 2012)	Combined Neural Networks	Selçuk University Dilek Sabancı State Conservatory Archives (50 pieces, 9 makams)	95.83
(Gedik and Bozkurt, 2008)	Pitch interval histogram	Monophonic instrumental recordings (9 makams)	92.00
(Kızrak et al., 2014)	Probabilistic Neural Networks	Recordings from commercial CDs and Internet (62 pieces, 6 makams)	89.40
(Kızrak and Bolat., 2014)	Neural Networks	Recordings from commercial CDs and Internet (62 pieces, 6 makams)	89.60
(Kızrak and Bolat, 2015)	Deep Belief Networks	Recordings from commercial CDs and Internet (62 pieces, 6 makams)	92.70
(Gedik and Bozkurt, 2010)	Pitch frequency histogram	Various recordings (172 pieces, 9 makams)	77.38
(Kalaycı and Korukoğlu, 2012)	K-means+ANN	Bir Şarkıdır Yaşamak - Turkish Art Music Selection Series (103 pieces, 7 makams)	70.00

### DISCUSSION AND FUTURE WORK

In this study, we used ten most popular machine learning algorithms for makam recognition in Turkish Music. We used thirteen makams, which were used in some of the studies in the literature and 1246 pieces from SymbTr data set that belong to these makams. Then we compared the performances of the algorithms with similar studies in the literature.

In the first step of the study, a letter-based transformation was applied to note sequences in order to represent the sequences in a shorter and more understandable format. In the second step, derived variables were added to the data set in order to increase the performances of machine learning algorithms. Feature scaling was also applied to numerical variables for performance gain. In the evaluation phase, the machine learning algorithms had performance values between 82% (J48) and 88% (SMO). These performance values are similar to the study (Ünal et al., 2012). But the N-gram algorithm used in (Ünal et al., 2012), shows a fixed performance, independent from the size of the data set. The machine learning algorithms used in this study are expected to have better performances with the increasing size of the data set. When the f-measure graph is examined, the misclassified makams are the ones that are also misclassified by domain experts. This result shows that machine learning algorithms can be applied to makam recognition effectively.

As a future work, we plan to derive and use more makam-specific features in order to improve the skills of machine learning algorithms on makam recognition.

## REFERENCES

- Abdoli, S., 2011, "Iranian Traditional Music Dastgah Classification", *12. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2011)*, Florida, USA, 275-280, 2011.
- Abidin, D., Öztürk, Ö., Özacar Öztürk, T., 2017, "Klasik Türk Müziğinde Makam Tanıma İçin Veri Madenciliği Kullanımı", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 32(4) , pp. 1221-1232.
- Alfaro, E., Gamez, M., Garcia, N., 2013, "adabag: An R Package for Classification with Boosting and Bagging", *Journal of Statistical Software*, Vol. 54 (2), pp. 1 - 35.
- Bayes, M., Price, M., 1763, "An Essay Towards Solving a Problem in The Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton, A. M. F. R. S.", *Philosophical Transactions*, Vol. 53, pp. 370–418.
- Bishop C.M., 2006, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer-Verlag.
- Bozkurt, B., Ayangil, R., Holzapfel, A., 2014, "Computational Analysis of Turkish Makam Music: Review of State-of-the-Art and Challenges", *Journal of New Music Research*, Vol. 43(1), pp. 3-23.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984, *Classification and Regression Trees*, Belmont Wadsworth International Group, CA.
- Breiman, L., 1996, "Bagging Predictors" *Machine Learning*, Vol. 24(2), pp. 123–140.
- Breiman, L., 2001, "Random Forests". *Machine Learning*, 5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324.
- Can, M.C., 2002, "Geleneksel Türk Sanat Müziğinde Arel - Ezgi - Uzdilek Ses Sistemi ve Uygulamada Kullanılmayan Bazı Perdeler", *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Vol. 22(1), pp. 175-181.
- Caudill, M., 1989, "Neural Network Primer: Part I", *AI Expert*.
- Cohen, W.W., 1995, "Fast Effective Rule Induction", *Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning*, 115–123.
- Cortes, C., Vapnik, V., 1995, "Support Vector Networks", *Machine Learning*, Vol. 20, pp. 273-297.
- Darabi, N., Azimi, N., Nojumi, H., 2006, "Recognition of Dastgah and Makam for Persian Music with Detecting Skeletal Melodic Models", *2. IEEE BENELUX/DSP Valley Signal Processing Symposium*,
- Doetsch, P., Buck, C., Golik, P., Hoppe, N., Kramp, M., Laudenberg, J., Oberdörfer, C., Steingrube, P., Forster, J., Mauser, A., "Logistic Model Trees with AUC Split Criterion for the KDD Cup 2009 Small Challenge", *ACM Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)*, France, 77-88, 28 June 2009.
- Duda, R.O., Hart, P.E., Stork, D., 2000, *Pattern Classification*, Wiley and Sons.
- Fontana, F.A., Mäntylä, M.V., Zanoni, M., Marino, A., 2016, "Comparing and Experimenting Machine Learning Techniques for Code Smell Detection", *Empirical Software Engineering*, Vol. 21, pp. 1143-1191.
- Frank, E., Witten, I.H., 2000, *Data Mining*, Morgan Kaufmann Publishers.
- Friedman, N., Geiger, D., Goldszmidt, M., 1997, "Bayesian Network Classifiers", *Machine Learning*, Vol. 29, pp. 131–163.
- Gedik, A.C., Bozkurt, B., 2008, "Automatic Classification of Turkish traditional Art Music Recordings by Arel Theory", *Conference on Interdisciplinary Musicology*, Thessaloniki, Greece.
- Gedik, A.C., Bozkurt, B., 2010, "Pitch-Frequency Histogram-Based Music Information Retrieval for Turkish Music", *Signal Processing*, Vol. 90, pp. 1049-1063, Elsevier.
- Greene, W.H., 2012, *Econometric Analysis* (Seventh ed.). Boston: Pearson Education, 803–806.
- Ho, T.K., 1995, "Random Decision Forests", *Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*, Montreal, QC, 278-282.
- Jurafsky, D., Martin, J.H., 2014, *N-Grams, Speech and Language Processing*, Pearson Education, pp. 93-136.

- Kalaycı, I., Korukoğlu, S., 2012, "Classification of Turkish Maqam Music using K-Means Algorithm and Artificial Neural Networks (in Turkish)", *Proc. 20th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Muğla, Türkiye.
- Kalender, N., Ceylan, M., Karakaya, O., 2012, "Türk Müziği Makamlarının Sınıflandırılması için Yeni Bir Yaklaşım: Kombine YSA", *ASYU 2012 Akıllı Sistemler Yenilikler ve Uygulamaları Symposium*, Trabzon, Türkiye.
- Karaosmanoğlu, M.K., 2012, "A Turkish Makam Music Symbolic Database for Music Information Retrieval: SymbTr", *13. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012)*, Porto, Portugal, 223-228.
- Karray, F.O., Silva, C.D., 2004, *Soft Computing and Intelligent Systems Design: Theory, Tools and Applications*, Addison Wesley Pearson Press, New York, USA.
- Kızrak, M.A., Bayram, K.S., Bolat, B., 2014, "Classification of Classic Turkish Music Makams", *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2014)*, Alberobello, Italy, 394-397, 23-25 June 2014.
- Kızrak, M.A., Bolat, B., 2014, "Klasik Türk Müziği Makamlarının Tanınması", *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU 2014)*, Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Kızrak, M.A., Bolat, B., 2015, "Classification of Turkish Music Makams bu Using Deep Belief Networks", *IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Malatya, Türkiye, 2015.
- Landwehr, N., Hall, M. & Frank, E., 2005, "Logistic Model Trees" *Machine Learning*, Vol. 59, pp. 161.
- Meenakshi, Geetika, 2014, "Survey on Classification Methods using WEKA", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 86(18), pp. 16-19.
- Mehdiyev, N., Krumeich, J., Enke, D., Werth, D., Loos, P., 2015, "Determination of Rule Patterns in Complex Event Processing Using Machine Learning Techniques", *Procedia Computer Science*, Vol. 61, pp. 395-401.
- Moore, A., Lee, M.S., 1998, "Cached Sufficient Statistics for Efficient Machine Learning with Large Datasets", *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)*, Vol. 8, pp. 67-91.
- Özkan, İ.H., 1994, *Türk Musikisi Nazariyatı ve Usulleri Kudüm Velveleleri*, Ötüken Neşriyat, İstanbul, 57-58.
- Pearl, J., 1988, *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*, San Francisco, CA, Morgan Kaufmann.
- Platt, J.C., 1998, "Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines", Technical Report MSR-TR-98-14, Microsoft Research.
- Powers, D.M.W., 2011, "Evaluation: From Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation", *Journal of Machine Learning Technologies*, Vol. 2, pp. 37-63.
- Quinlan, J.R., 1986, "Induction of Decision Trees", *Machine Learning* 1, 81-106.
- Quinlan, J.R., 1993, *C4.5 Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers.
- Rojas, R., 1996, *Neural Networks: A Systematic Introduction*, Springer-Verlag, Berlin.
- Russell, S., Norvig, P., 2010, *Artificial Intelligence, A Modern Approach*, 3rd Edition, Prentice Hall, 511-512.
- Salama, A.A., Eisa, M., Elhafeez, S.A., Lotfy, M.M., 2015, "Review of Recommender Systems Algorithms Utilized in Social Networks based e-Learning Systems & Neutrosophic System", *Neutrosophic Sets and Systems*, Vol. 8, pp. 33.
- Snyman, J., 2005, *Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms*, 97, XX-258.
- Şentürk, S., Gulati, S., Serra, X., 2013, "Score Informed Tonic Identification for Makam Music of Turkey", *14. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2013)*, Curitiba, Brasil.
- Şentürk, S., Holzapfel, A., Serra, X., 2012, "An Approach for Linking Score and Audio Recordings in Makam Music of Turkey", *2. CompMusic Workshop*, İstanbul, Turkey, 95-106.
- Tien Bui, D., Tuan, T.A., Klempe, H., Pradhan, B., Revhaug, I., 2016, "Spatial Prediction Models for Shallow Landslide Hazards: a Comparative Assessment of the Efficacy of Support Vector Machines,

- Artificial Neural Networks, Kernel Logistic Regression and Logistic Model Tree", *Landslides*, Vol. 13 (2), pp. 361–378.
- Ünal, E., Bozkurt, B., Karaosmanoğlu, M.K., 2012, "N-Gram Based Statistical Makam Detection on Makam Music in Turkey Using Symbolic Data", 13. *International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012)*, Porto, Portugal.
- Wang, Z., Xue, X., 2014, *Multi-class Support Vector Machine*, Chapter 2, Springer International Publishing, 23-24.
- Witten, I.H., Frank, E., 2005, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Morgan Kaufmann Press, San Francisco, USA.
- Wu, X., et al., 2008, "Top 10 Algorithms in Data Mining", *Knowledge and Information Systems*, Vol. 14, pp. 1-37.



## MİSİNA İPİNİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

<sup>1</sup>Emrah TURAN, <sup>2</sup>Meral OLTULU

<sup>1,2</sup>Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25090, ERZURUM

<sup>1</sup>turan.emrah16@gmail.com, <sup>2</sup>mroltulu@atauni.edu.tr

(Geliş/Received: 29.06.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 08.02.2018)

**ÖZ:** Dünyada inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan, kompozit malzemelerden birisi olan, betona; farklı birçok alanda kullanılabilen misina ipinin katılması sonucunda mekanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada misina ipinin yapı lifi olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceği incelenmiştir. Lifli betonun mekanik özelliklerini saptamak amacıyla yarmada çekme, basınç ve eğilme de çekme deneyleri yapılmıştır. Lif olarak polipropilen ve poliamid esaslı lifler ve piyasadan temin edilebilen naylon esaslı misina ipi hacimsel olarak %0,5; %1,0 ve %1,5 oranlarında eklenmiştir. Deney sonuçlarında misina ipinin yapı lifi olarak kullanımının mümkün olduğu saptanmış ve oransal olarak kısmen diğer yapı liflerine benzer etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lif katkısız betona göre %0,5 misina lifinin betonların basınç dayanımını yaklaşık %19 oranında, eğilme dayanımını %26 oranında; %1,0 oranındaki ise yarmada çekme dayanımını %23 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, doğada uzun yıllar bozulmadan kalabilen misina ipinin yapı lifi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Lif, Misina, Poliamid (PA) lif, Polipropilen (PP) lif

### The Effect of Monofilament Fishing line on the Mechanical Properties of Concrete

**ABSTRACT:** In this study, the mechanical properties of concrete, one of the composite materials widely used for the construction sector in the world, with adding monofilament fishing line that can be used in many different areas has been investigated. It was investigated whether or not the monofilament fishing line could be considered as the structural fiber. In order to determine the mechanical properties of fibrous concrete split tensile, compressive, and flexural strength tests were performed. As polypropylene fiber and polyamide-based fibers available from the market, nylon-based monofilament fishing line was added at 0.5%, 1.0% and 1.5% by volume. Experimental results showed that the use of monofilament fishing line as a structural fiber were possible and showed a similar effect as the other structural fibers. As a result of the experiments compared to the plain concrete, it was found that adding 0.5% monofilament fishing line increasing the compressive strength and flexural strength by 19% and 26% respectively. While adding 1.0% monofilament fishing line increased the split tensile strength by 23%. As a result, monofilament fishing line which can remain intact for many years in nature could be evaluated as structural fiber.

**Key Word:** Concrete, fiber, monofilament fishing line, polyamide-(PA) fiber, polypropylene (PP) fiber

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geniş bir kullanım alanına sahip olan betonun değişik alanlarda kullanımı ve üretim teknolojisi her geçen gün daha da gelişmektedir. Betonun kolaylıkla istenen boyut ve şekilde elemanlar üretmeye imkan sağlaması, yüksek basınç dayanımına sahip olarak üretilebilmesi, bakım işlemleri ve masraflarının diğer yapı malzemelerine kıyasla daha düşük olması gibi avantajları olmasına rağmen,

düşük çekme ve eğilme dayanımı gibi dezavantajları da mevcuttur.

Betonun olası dezavantajlarını ortadan kaldırmak adına birçok yöntem geliştirilmiştir. Örneğin, geçmişten günümüze kadar yapı malzemeleri içerisinde çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla birçok malzeme (örneğin; keçi kılı, saman, yün, at yelesi vs.) eklenmiştir (Akman, 2003; Alpaslan ve diğ., 2015; Yasa, 2016). Betona taze halde iken çeşitli yöntemlerle, değişik miktarlarda eklenen belirli bir (boy/çap) narinlik oranına sahip olan ve lif olarak tanımlanan malzemeler metal, polimer, mineral esaslı olabilmektedirler(Osman ve diğ., 2007).

Beton içerisinde homojen olarak dağılan lifler, oluşan çatlakları önlemekte ve bu çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı bir hale getirmektedir. İçerisinde lif bulunan betonların tokluk, yorulma, ilk çatlak dayanımı gibi özellikleri iyileşmektedir (Song ve Hwang, 2004; Nili ve Afroughsabet, 2010). Lifle güçlendirilmiş beton bileşenleri, endüstriyel yapılar, kaldırımlar, köprüler, tüneller, kanal kaplamaları, hidrolik yapılar, borular, patlamaya karşı dirençli yapılar, güvenlik odaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Xia ve diğ., 2001; Alyamaç ve İnce, 2016; Bozkurt ve Karakurt, 2016).

Lifli betonlar üzerinde günümüze kadar yapılan çalışmalarda çelik, polipropilen, poliamid, polietilen, bazalt lifler gibi farklı kimyasal ve fiziksel yapıya sahip liflerin etkileri, optimum kullanıma oranları araştırılmıştır.(Akkaş ve diğ., 2010; Nili ve Afroughsabet, 2010). Eklenen lif türü ve oranına bağlı olarak beton özellikleri de değişiklik göstermektedir. Literatürden hareketle betonun mekanik özellikleri açısından en çok kullanılan lif türleri olan çelik ve polipropilen lifleri değerlendirmek, kullanımı araştırılan misina ipinin yapı lifi olarak kullanımına ışık tutacaktır.

Mekanik özellikler açısından, çelik lif kullanılan çalışmalarda belirli bir orana kadar liflerin olumlu etki yaptığı daha yüksek oranlarda ise olumsuz etki oluşturduğu görülmüştür. Bu oranı Eren ve Celik, 1997 yaptıkları çalışmada %1,0; Song ve Hwang, 2004 yaptığı çalışmada ise %2,0 olduğunu belirlemişlerdir. Belli bir orandan sonraki dayanım düşüşlerinin nedeni olarak lif kullanım oranının artırılması ile temas yüzeylerinin artarak işlenebilirliği azaltması olarak açıklanmaktadır (Eren ve Celik, 1997). Yine çelik lif kullanımı ile betonların yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımlarında lif miktarının artışı ile doğru orantılı bir şekilde artış olduğu tespit edilmiştir (Eren ve Celik, 1997; Abdul-Ahad ve Aziz, 1999; Song ve Hwang, 2004; Baran ve diğ., 2012; Ma ve diğ., 2013; Pajak ve Ponikiewski, 2013; Khaloo ve diğ., 2014).

En çok kullanılan lif çeşitlerinden diğeri ise polimer esaslı olan polipropilen liflerdir. Polipropilen liflerin basınç dayanımları üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı normal betonlara kıyaslandığında az miktarda artış sağladığı bilinmektedir. %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarında polipropilen lif eklenen çalışmalarda ise lif miktarı artışı ile birlikte basınç dayanımlarında artışlar olduğu gözlemlenmiş ve polipropilen lif optimum oranı %0,5 olarak tavsiye edilmiştir (Yıldırım ve diğ., 2007; Akkaş ve diğ., 2010; Nili ve Afroughsabet, 2010).

Polipropilen lif katkılı betonlar çekme dayanımı açısından normal betonlara göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Polipropilen lif katkılı betonların, normal betonlara göre %20'lere varan oranlarda daha yüksek çekme dayanımına ve eğilme dayanımlarına sahip olduğu belirlenmiştir (Bahadır, 2010). Beton hacminin %0,05, %0,1, %0,2 ve %0,3'ü oranında kullanılan multifilament polipropilen liflerin eğilme dayanımlarını artırdığı, lif oranı arttıkça bu artışın daha fazla olduğu belirlenmiştir (Song ve diğ., 2005; Hsie ve diğ., 2008; Nili ve Afroughsabet, 2010; Mazaheripour ve diğ., 2011).

Polipropilen liflerden başka polimer esaslı poliamid, polietilen gibi liflerin kullanıldığı çalışmaların sayısı da her geçen gün artmaktadır (Soroushian ve diğ., 1992; Chen ve Chung, 1996; Kim ve diğ., 2015; Halvaei ve diğ., 2016; Köroğlu ve Özdöner, 2016). Bu liflere ilaveten nylon esaslı bir polimer olan lifler çok az sayıda çalışmada kullanılmıştır (Lee ve diğ., 2005; Song ve diğ., 2005; Martínez-Barrera ve diğ., 2006). Ancak naylon esaslı olan, balıkçılık ve müzik enstrümanı endüstrisinde yaygın olarak kullanılan misina ipinin de yapı lifi olarak kullanımı üzerine literatürde bir çalışma bulunmamaktadır. Yapı lifi olarak misinanın kullanımı araştırılarak beton özelliklerini en iyi etkileyecek optimum oranının belirlenmesi önemli görülmektedir.

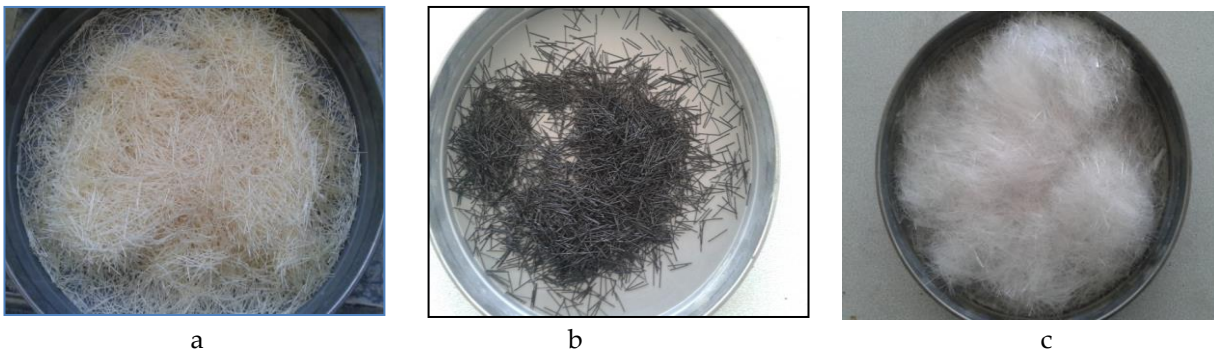
Ayrıca misina ipinin yapı lifi olarak betonda kullanılabilirliğinin belirlenmesi ile bu ipin atıklarının da değerlendirilebileceği bir alan bulunmuş olacaktır. Bu yönü ile de çevresel açıdan atık değerlendirme konusunda farkındalık oluşturulacaktır. Tüm bu nedenler göz önüne alınarak bu çalışmada basınç ve yarmada çekme mekanik deneylerin yapılarak misina ipinin yapı lifi olarak kullanılabilme olasılığı ve optimum kullanım oranının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Misina ipli betonların özellikleri uygulamada en çok kullanılan polimer esaslı liflerden polipropilen (PP) ve poliamid (PA) lifli betonların özellikleri ile kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Lif oranları literatürde PP ve PA liflerinin optimum kullanım oranları ile aynı değerlerde seçilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

### Materyal (Material)

#### Yapı lifi (Structural Fiber)

Bu çalışmada yapı lifi olarak polipropilen ve poliamid lif kullanılmıştır. Polipropilen lifler BASF firmasından, poliamid lifler ise KRATOS firmasından temin edilmiştir. Şekil 1.a'da poliamid lifleri, Şekil 1.b'de polipropilen lifleri ve Şekil 1.c'de misina lifleri verilmiştir. Bu lifler en küçük kalıp boyutunun (70 mm) 1/3 oranını aşmayacak şekilde 20 mm boyunda kullanılmışlardır.



Şekil 1. Poliamid lif (a), polipropilen lif (b), misina lifi (c)  
Figure 1. Polyamide (a), Polypropylene (b), monofilament fishing line (c)

Çizelge 1' de deneylere tabii tutulan yapı lifleri ve misina ipinin birim ağırlık ve narinlik oranları verilmiştir.

Çizelge 1. Liflerin ve misina ipi teknik özellikler  
Table 1. Technical properties of fibers and monofilament fishing line

Grup	Birim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Narinlik (l/d)
Poliamid lif	1,14	36,4
Polipropilen lif	0,91	22,2
Misina ipi	1,01	33,3

#### Çimento (Cement)

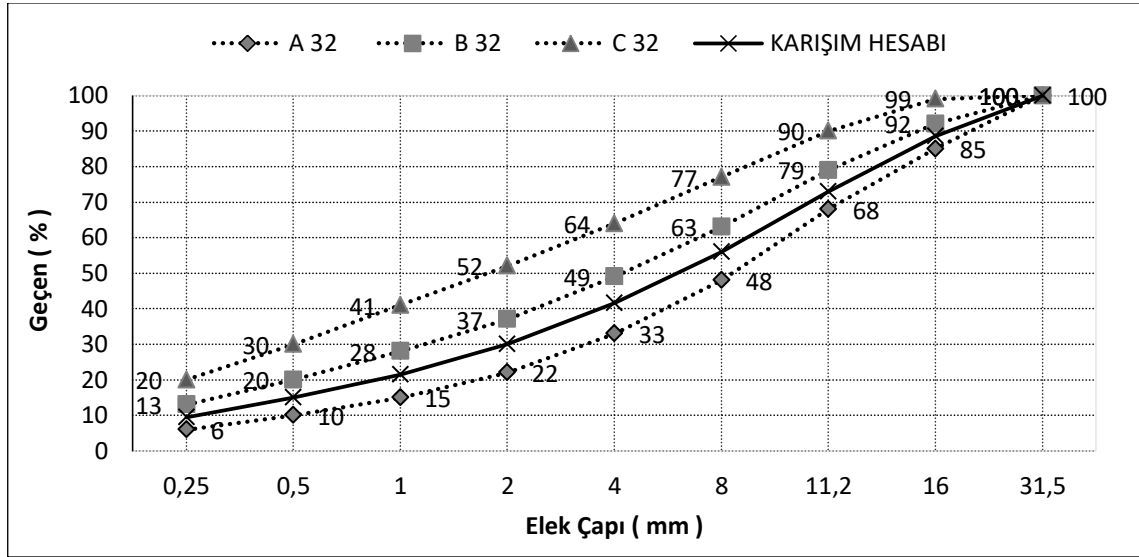
Yapılan deneylerde bağlayıcı olarak TS EN 197-1'e uygun CEM I 42,5 N grubu çimento kullanılmıştır.

### Süper Akışkanlaştırıcı (Super plasticizer)

Deneylerde işlenebilirliği artırmak için naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı çimento ağırlığının %1,5' i oranında kullanılmıştır.

### Agrega (Aggregate)

Agregalar maksimum tane boyutu 31,5 mm olan kırmataş agregalar olup elek analizi sonucunda beton numuneleri için TS 800 – 2009 standart eğrisi (Şekil 2) olan eğri kullanılarak beton karışım hesabı yapılmıştır. Deneylerde kullanılan karışım hesabının standart eğrilerdeki yeri Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Karışım hesabında kullanılan agrega granülometrisi

Figure 2. Aggregate granulometry used in concrete mix design

### Beton Karışım Hesabı (Concrete mix design)

Özellikleri belirlenmek istenen numune grupları ve 1m<sup>3</sup> betondaki kullanılan malzemeler Çizelge 2'de verilmiştir. Deneysel testler için kontrol grubu (lifsiz), misina ipli, poliamid lifli ve polipropilen lifli beton grupları olmak üzere dört grup beton üretilmiştir. Çizelge 1'de genel özellikleri verilen lifler beton içerisine beton hacminin; %0,5, %1,0 %1,5'i oranlarında eklenerek numunelerin basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımları belirlenmiştir. Her bir grubun deney sonuçları 3 numunenin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Numuneler isimlendirilirken kolaylık olması için kodlama yapılmıştır. Burada kodlardaki ilk harf kullanılan lif türünün baş harfini (M, PP, PA), sayısal değer ise kullanılma oranını göstermektedir. Örneğin, aşağıdaki örnekte beton hacminin %0,5 oranında misina ipli kullanıldığı beton grubu kısaltması verilmiştir.

M 0,5

Lif Tipi ←      → Kullanılan Oran



**Çizelge 2.** 1000 dm<sup>3</sup> beton karışımında kullanılan malzeme miktarı  
*Table 2. Material proportion for 1000 dm<sup>3</sup> concrete mix design*

MALZEME	KO	PP0,5	PP1,0	PP1,5	M0,5	M1,0	M1,5	PA0,5	PA1,0	PA1,5
Çimento (kg)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Su (kg)	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23	191,23
Su/Çimento	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Süper Akışkanlaştırıcı (kg)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
0-2 mm Agregası	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33	528,33
2-4 mm Agregası	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35	190,35
4-8 mm Agregası	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48	246,48
8-16 mm Agregası	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24	282,24
16-31,5 mm Agregası	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01	340,01
PP (kg)	-	4,50	9,00	13,50	-	-	-	-	-	-
M (kg)	-	-	-	-	5,05	10,10	15,15	-	-	-
PA (kg)	-	-	-	-	-	-	-	5,70	11,40	17,10

Beton numunelerinin karışım aşamaları Şekil 3'de verilmiştir. TS EN-206-1 standardına göre beton numunelerinin slump sınıfı S4 (160-210 mm çökme değeri) olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 3.** Beton karışımı hazırlama prosedürü

*Figure 3. Concrete mixture preparation procedure*

#### Metod (Method)

Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzemeleri Tatbiki Laboratuvarı'nda birim hacim ağırlık deneyi, basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

#### Basınç Dayanımı Tayini (Compressive strength calculation)

Basınç deneyleri, 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.a da gösterilen düzenele yapılmıştır. Yapılan bütün basınç deneyleri, sabit yükleme hızı altında gerçekleştirilmiş ve yükleme hızı TS EN 12390-3/AC (Anonim 2012)'ye 0,4 MPa/s olarak alınmıştır. Basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları kısmında verilmiştir.

### Yarmada Çekme Dayanımı Tayini (Split tensile test)

Yarmada çekme deneyleri, R10/20 mm'lik silindir numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.b'de gösterilen düzenele yapılmıştır. Betonların yarmada çekme dayanımlarının aşağıda verilen eşitlik yardımıyla sonuçlar hesaplanmış ve sonuçları Araştırma Bulguları bölümünde belirtilmiştir.

$$\text{Çekme Dayanımı} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

**P:** Yük, N,

**L:** Silindirin yüksekliği, mm,

**D:** Silindirin Çapı, mm

### Eğilme Dayanımı Tayini (Bending strength test)

Eğilme deneyleri, 70x70x280 mm'lik kiriş numuneler üzerinde 28. günde Şekil 4.c'de gösterilen düzenele 3 nokta eğilme deneyi yapılmıştır. Betonların eğilme dayanımlarının aşağıda verilen eşitlik yardımıyla sonuçlar hesaplanmıştır. Deney sonuçları Araştırma Bulguları bölümünde belirtilmiştir.

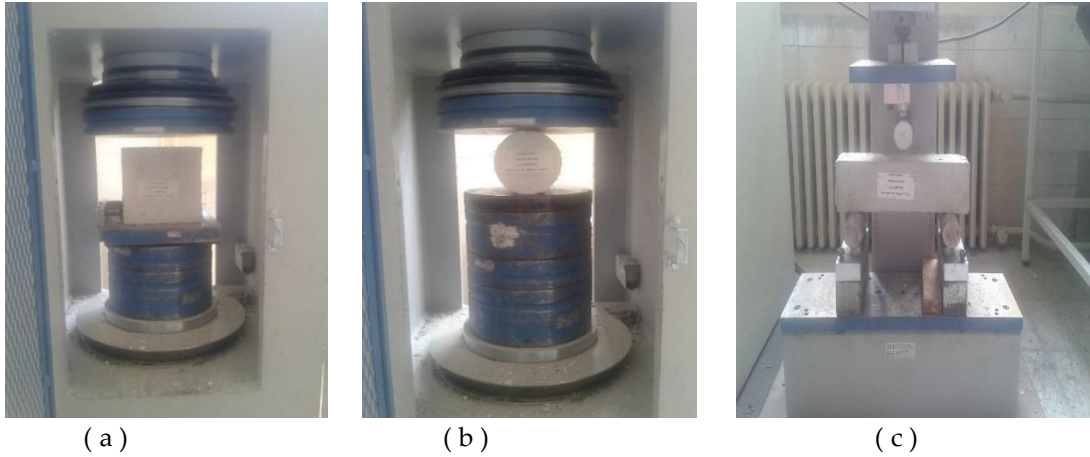
$$F = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

**F:** Eğilme Dayanımı, MPa,

**P:** Yük, N,

**L:** Mesnetler Arası Açıklık, mm,

**b ve d:** Numunenin Enkesit Uzunlukları, mm.



Şekil 1. (a) Basınç dayanımı deney düzeneği, (b) Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği (c) 3 nokta eğilme dayanımı deney düzeneği

Figure 4. Compressive strength test setup (a) split tensile strength test setup (b) 3 point bending strength test setup (c)

### BULGULAR (RESULTS)

Çalışma kapsamında KO, M, PA ve PP katkıli betonlar üzerinde yapılan 28 günlük numunelerin mekanik dayanımları Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Mekanik deney sonuçları

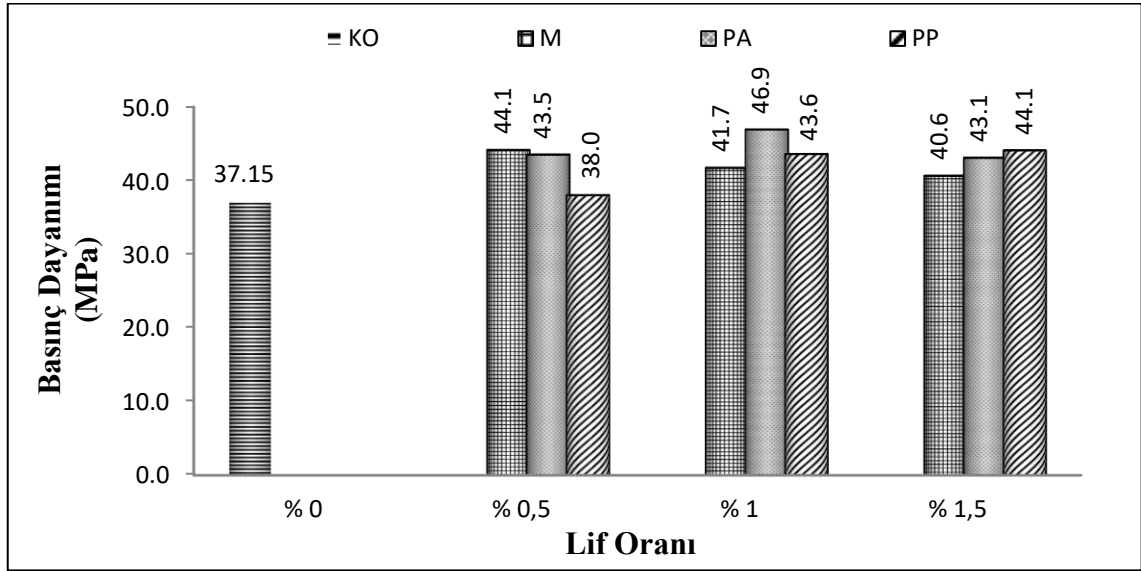
Table 4. Results of mechanical tests

<u>Numune Grupları</u>	<u>Basınç Dayanımı (MPa)</u>	<u>Kontrol Grubuna Göre Değişimi %</u>	<u>Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)</u>	<u>Kontrol Grubuna Göre Değişimi %</u>	<u>Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)</u>	<u>Kontrol Grubuna Göre Değişimi %</u>
<u>KO</u>	<u>37,2</u>	<u>-</u>	<u>3,6</u>	<u>-</u>	<u>4,6</u>	<u>-</u>
<u>M0,5</u>	<u>44,1</u>	<u>18,8</u>	<u>4,3</u>	<u>19,2</u>	<u>5,8</u>	<u>26,3</u>
<u>M1,0</u>	<u>41,7</u>	<u>12,2</u>	<u>4,4</u>	<u>22,6</u>	<u>4,6</u>	<u>0,7</u>
<u>M1,5</u>	<u>40,6</u>	<u>9,4</u>	<u>4,3</u>	<u>18,4</u>	<u>4,7</u>	<u>2,6</u>
<u>PA0,5</u>	<u>43,5</u>	<u>17,1</u>	<u>3,7</u>	<u>3,1</u>	<u>5,8</u>	<u>26,3</u>
<u>PA1,0</u>	<u>46,9</u>	<u>26,3</u>	<u>4,5</u>	<u>25,1</u>	<u>5,1</u>	<u>10,7</u>
<u>PA1,5</u>	<u>43,1</u>	<u>15,9</u>	<u>4,3</u>	<u>18,9</u>	<u>5,2</u>	<u>13,4</u>
<u>PP0,5</u>	<u>38,0</u>	<u>2,3</u>	<u>4,8</u>	<u>32,3</u>	<u>5,4</u>	<u>18,4</u>
<u>PP1,0</u>	<u>43,6</u>	<u>17,3</u>	<u>4,3</u>	<u>19,2</u>	<u>5,8</u>	<u>25,8</u>
<u>PP1,5</u>	<u>44,1</u>	<u>18,7</u>	<u>4,5</u>	<u>25,6</u>	<u>5,9</u>	<u>28,0</u>

#### Basınç Dayanımı Deneyi Bulguları (Results of Compressive Strength Test)

Tüm beton grupları üzerinde yapılan basınç deneyi bulguları Çizelge 4'de, elde edilen grafik ise Şekil 5'de verilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak kontrol grubuna göre tüm lif oranlarının numunelerin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Misina lifi için artış oranları %9-19 arasında, PA lifleri için %16-26 arasında ve PP lifleri içinse %2-19 arasında olduğu görülmektedir. Misina ve PA lifli betonlarda %1,5 lif kullanılma oranı basınç dayanımında en az artışı sağlarken PP liflerde bu oranın kullanıldığı grup en yüksek basınç dayanımı değerini almaktadır. PP liflerin bu optimum kullanılma oranı literatürle uyumlu çıkmıştır (Song ve diğ. 2005; Badr ve diğ. 2006; Nili and Afroughsabet, 2010). Bu yönü ile çalışmadan lif türünün sonuçlar üzerinde önemli etkileri olduğu sonucu çıkmaktadır.

Kullanılan oranlar arasında lif türleri gözönüne alındığında en yüksek basınç dayanımı %1,0 PA lif katkı gruplarında %26,3 oranı ile olmakla birlikte, % 0,5 misina ve %1,5 PP lifli numunelerde %19'a varan bir basınç dayanımı artışı da görülmektedir. Basınç dayanımı açısından kullanılan oranlar değerlendirildiğinde misina lifleri için betonda optimum kullanım oranı %0,5, PA lifleri için %1,0 ve PP lifleri içinde %1,5 olduğu söylenebilmektedir. Basınç dayanım artışının az olduğu gruplarda lif topaklaşmasının etkin olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar gözönüne alındığında araştırma konusu olarak seçilen misina lifinin de yapı lifi olarak kullanılabilirliği görülmektedir.



Şekil 5. Farklı fiber ve hacimsel oranın basınç dayanımı deneyi bulguları

Figure 5. Compressive strength test results at different volume fractions and fibers

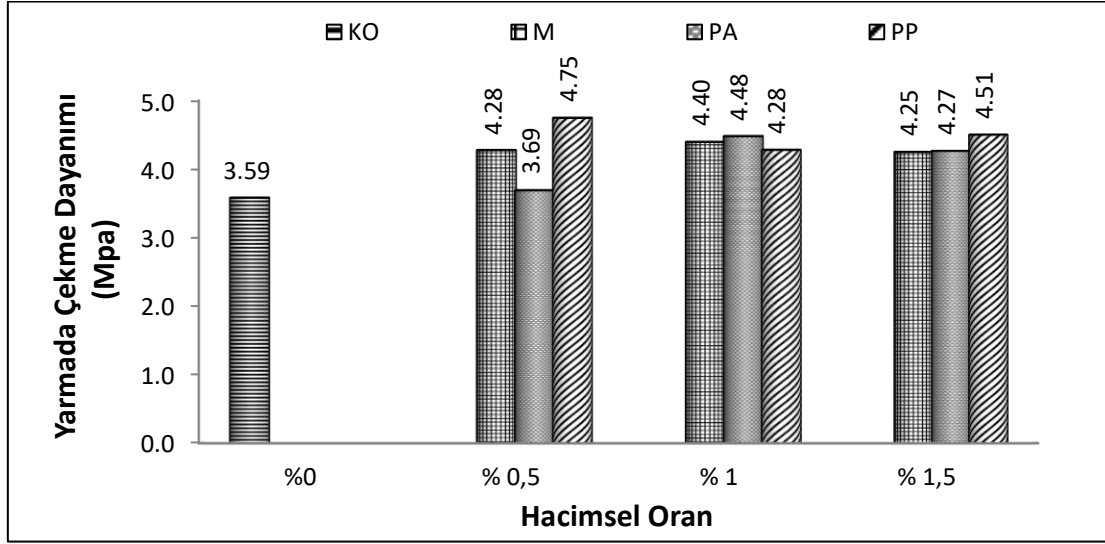
Liflerin farklı oranlarda kullanılması farklı özellikteki lif optimum oranlarını değiştirdiği görülmüştür. Çalışmada kullanılan lif oranları göz önünde alındığında Şekil 5’de görüldüğü üzere basınç dayanımında M için optimum oranı %0,5; PA için %1,0 ve PP ise optimum oran %1,5 olduğu tespiti yapılmıştır. Bu durumda PP için literatürde yaklaşık oranlar bulunmuştur (Song ve diğ., 2005; Badr ve diğ., 2006; Nili ve Afroughsabet, 2010).

#### Yarmada Çekme Deneyi Bulguları (Result of Split Tensile Strength Test)

Çizelge 4 ve Şekil 6’da görüldüğü gibi yarmada çekme deney sonuçlarında basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi liflerin olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir. Tüm lifli gruplarda kontrole göre artış oranı %3-32 oranları arasında olup en iyi sonuç PP0,5 grubunda elde edilmiştir. Liflerin olumlu etkisi gerilmeleri üzerine alarak taşınması ve köprüleme etkisi ile malzemenin tokluğunu artırabilmesinden dolayı oluşmaktadır (Kurt, 2015).

Lif türüne bağlı olarak gruplar ayrı değerlendirildiğinde misinanın tüm oranları için diğer gruplara göre artış oranı hemen hemen yakın çıkmakla birlikte ve PA lifleri için %1,0 oranı, pp için ise %0,5 oranının en optimum oranlar olduğu söylenebilmektedir. Misina lifleri diğer liflerle kıyaslandığında yapı lifi olarak kullanılabilmesi söylenebilmektedir.

Liflerin yarmada çekme dayanımını belirli bir orana kadar artırdığı daha sonra azaltma eğilimine geçtiği görülmüş, lif türünün yanısıra oranının da sonuçlar üzerindeki rolünün etkili olduğu literatürle benzer biçimde belirlenmiştir. (Eren ve Celik, 1997; Song ve Hwang, 2004; Badr ve diğ., 2006; Akkaş ve diğ., 2010; Nili ve Afroughsabet, 2010; Bolat ve diğ., 2014).



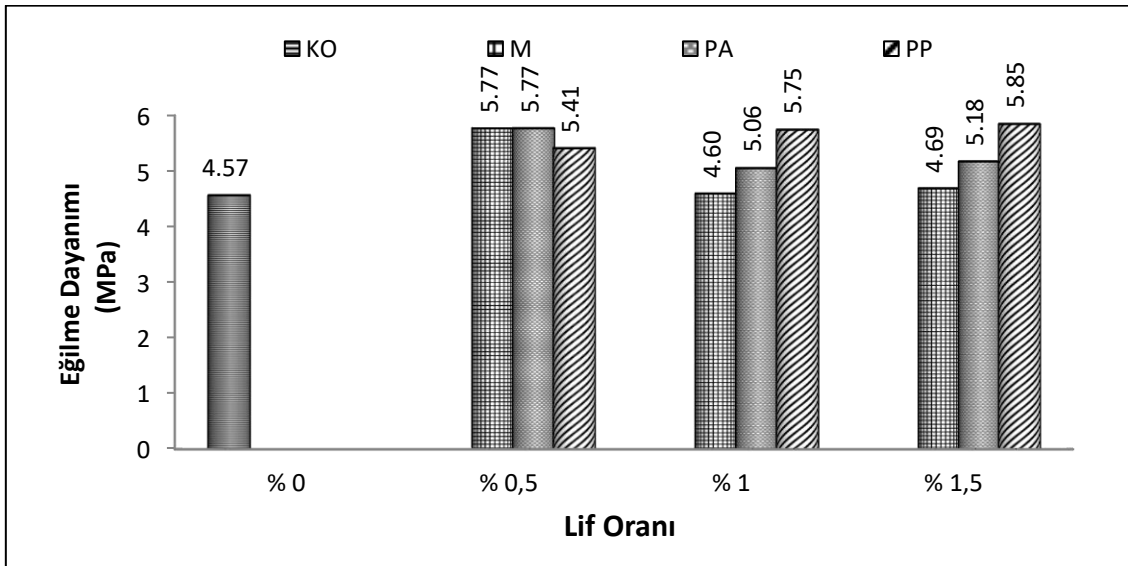
Şekil 6. Farklı fiberler ve hacimsel oranın yarmada çekme dayanımı deneyi bulguları

Figure 6. Split tensile strength test results at different volume fractions and fibers

#### Eğilmede Çekme Deneyi Bulguları (Result of Bending Strength Test)

Çizelge 4 ve Şekil 7'den görüldüğü üzere diğer deneylerde olduğu gibi tüm lif oranlarının eğilmede çekme dayanımını artırdığı, bu artış oranının özellikle misina lifi ve PA liflerinin %0,5 oranı için %26 mertebesine çıktığı, PP lifler içinse tüm oranlarında %18-28 e varan oranlarda artış olduğu söylenebilmektedir. Bu sonuçla yine misina lifinin yapı lifi olarak kullanımının uygun olduğu söylenebilmektedir.

Tüm gruplar içerisinde eğilme dayanımı açısından en yüksek artışı PP1,5 grubu göstermiştir. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artmaktadır. Bu durum literatürle uyumluluk göstermektedir (Hsie ve diğ., 2008; Mazaheripour ve diğ., 2011; Çakır, 2013; Sümer ve Sarıbıyık, 2013). Bu lif türü için optimum oranın %1,5 olduğu söylenebilir çalışmada öngörülen maksimum lif oranı %1,5 olduğundan daha sonra yapılacak çalışmalar için bu değerden daha yüksek bir değer seçilerek karar verilmesi daha isabetli olacaktır.



Şekil 7. Farklı fiberler ve hacimsel oranın eğilmede çekme dayanımı deneyi bulguları

Figure 7. Bending strength test results at different volume fractions and fibers

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Araştırma sonucu kullanılan lif türü ve miktarlarına bağlı olarak bulunan sonuçlar, kıyaslamalar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

-Kontrol grubuna göre tüm lif oranlarının numunelerin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği (%2-26 oranlarında artırdığı) görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı %1,0 PA lif katkılı gruplarda olmakla birlikte sonuçlar gözönüne alındığında araştırma konusu olarak seçilen misina lifinin de yapı lifi olarak kullanılabilceği görülmektedir.

-Basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi liflerin yarmada çekme dayanımı sonuçlarında olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir. Liflerin olumlu etkisi gerilmeleri üzerine alarak taşıması ve köprüleme etkisi ile malzemenin tokluğunu artırabilmesinden dolayı tüm lifli gruplarda kontrole göre artış oranı %3-32 oranları arasında olup en iyi sonuç PP0,5 grubunda elde edilmiştir. Lif türüne bağlı olarak gruplar ayrı değerlendirildiğinde misinanın tüm oranları için diğer gruplara göre artış oranı hemen hemen yakın çıkmakla birlikte ve PA lifleri için %1,0 oranı, PP için ise %0,5 oranının en optimum oranlar olduğu söylenebilmektedir. Lif türünün yanısıra oranının da sonuçlar üzerinde çok önemli etkisi bulunmaktadır.

-Sonuçlardan hareketle tüm lif oranlarının eğilmede çekme dayanımını artırdığı, bu artış oranının özellikle misina lifi ve PA liflerinin %0,5 oranı için %26 mertebesine çıktığı, PP lifler içinse tüm oranlarında %18-28'e varan oranlarda artış olduğu söylenebilmektedir. Tüm gruplar içerisinde eğilme dayanımı açısından en yüksek artışı PP1,5 grubu göstermiştir. Polipropilen lifli beton numunelerinde çalışmada seçilen lif oranları gözönüne alındığında lif oranı (%0,5; %1,0; %1,5) arttıkça eğilme dayanımı artmaktadır.

-Betonda kullanımı mekanik açıdan olumlu bulunan misina ile sonraki yapılacak çalışmalarda durabilite ve performans özelliklerinin de saptanması tavsiye edilmektedir. Ayrıca balıkçılık ve müzik endüstrisinde kullanımından sonra sentetik atık olan misinanın bu tür çalışmalarda kullanılması dünya ölçeğinde çevresel açıdan da olumlu bir etki oluşturacaktır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada finansal destek sağlayan TÜBİTAK BİDEB 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı'na teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdul-Ahad, R. B., Aziz, O. Q., 1999, "Flexural Strength of Reinforced Concrete T-beams with Steel Fibers", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 21, No.4, pp. 263-268.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabaci, S., Başyigit, C., 2010, "Polipropilen Lif Katkili Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri", *SDU International Journal of Technological Science*, Vol.2 No.1.
- Akman, M. S., 2003, "Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426.
- Alpaslan, E., Haciefendioğlu, K., Birinci, F., Kurt, M., 2015, "Tarihi Yapılarda Lokal Güçlendirmeye Bağlı Lokal Rijitlik Artışının Yapı Davranışına Etkisi", 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, DEÜ – İZMİR, 14-16 Ekim 2015.
- Alyamaç, K. E., İnce, R., 2016, "Çelik Lif Katkılı Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plaklarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol.10, No.1, pp. 31-45.
- Badr, A., Ashour, A. F., Platten, A. K., 2006, "Statistical Variations in Impact Resistance of Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete", *International Journal of Impact Engineering*, Vol.32, No.11, pp. 1907-

1920.

- Bahadır, F., 2010, *Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Baran, E., Akis, T., Yesilmen, S., 2012, "Pull-out Behavior of Prestressing Strands in Steel Fiber Reinforced Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol.28, No.1, pp. 362-371.
- Bolat, H., Simsek, O., Cullu, M., Durmus, G., Can, O., 2014, "The Effects of Macro Synthetic Fiber Reinforcement use on Physical and Mechanical Properties of Concrete", *Composites Part B-Engineering*, Vol.61, pp. 191-198.
- Bozkurt, H., Karakurt, C., 2016, "Çelik Lif Katkılı Beton Yol Kaplamalarının Özellikleri", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol.4, No.2.
- Chen, P.-W., Chung, D., 1996, "A Comparative Study of Concrete Reinforced with Carbon, Polyethylene, and Steel Fibers and Their Improvement by Latex Addition", *ACI Materials Journal*, Vol. 93, pp.129-133.
- Çakır, C., 2013, *Makro Sentetik ve Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eren, O., Celik, T., 1997, "Effect of Silica Fume and Steel Fibers on Some Properties of High-Strength Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 11 (7-8), pp. 373-382.
- Halvaei, M., Jamshidi, M., Latifi, M., 2016, "Strength Properties of Fine Aggregate Concretes Reinforced by Polyamide Fibers", *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 46 (3), pp. 684-697.
- Hsie, M., Tu, C., Song, P. S., 2008, "Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete", *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, Vol. 494 (1-2), pp. 153-157.
- Khaloo, A., Raisi, E. M., Hosseini, P., Tahsiri, H., 2014, "Mechanical Performance of Self-Compacting Concrete Reinforced with Steel Fibers", *Construction and Building Materials*, Vol. 51, pp.179-186.
- Kim, H., Kim, G., Gucunski, N., Nam, J., Jeon, J., 2015, "Assessment of Flexural Toughness and Impact Resistance of Bundle-Type Polyamide Fiber-Reinforced Concrete", *Composites Part B-Engineering*, Vol. 78, pp. 431-446.
- Köroğlu, M. A., Özdöner, N., 2016, "Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete", *Key Engineering Materials*, Vol. 708, pp. 59-63,
- Kurt, G., 2015, *Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, S. J., Rust, J. P., Hamouda, H., Kim, Y. R., Borden, R. H., 2005, "Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete", *Textile Research Journal*, Vol. 75, No. 2, pp. 123-128.
- Ma, H. L., Cui, C., Li, X., Hu, S. L., 2013, "Study on Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Autoclaved Lightweight Shell-Aggregate Concrete", *Materials & Design*, Vol. 52, pp. 565-571.
- Martínez-Barrera, G., Menchaca-Campos, C., Hernández-López, S., Viguera-Santiago, E., Brostow, W., 2006, "Concrete Reinforced with Irradiated Nylon Fibers", *Journal of Materials Research*, Vol. 21 No.2, pp. 484-491.
- Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S. H., Hosseinpour, I., 2011, "The Effect of Polypropylene Fibers on the Properties of Fresh and Hardened Lightweight Self-Compacting Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol.25, No.1, pp. 351-358.
- Nili, M., Afroughsabet, V., 2010, "The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol.24, No.6, pp. 927-933.
- Osman, Ü., Uygunoğlu, T., Gençel, O., 2007, "Çelik Liflerin Beton Basınç Ve Eğilme Özelliklerine Etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol.13, No.1, pp. 23-30.
- Pajak, M., Ponikiewski, T., 2013, "Effect of the Shape of Steel Fibers on the Mechanical Properties of Reinforced Self-Compacting Concrete", *Cement Wapno Beton*, Vol. 18 (6), pp. 335-+.
- Song, P. S., Hwang, S., 2004, "Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol.18, No.9, pp. 669-673.

- Song, P. S., Hwang, S., Sheu, B. C., 2005, "Strength Properties of Nylon- and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes", *Cement and Concrete Research*, Vol.35, No.8, pp. 1546-1550.
- Soroushian, P., Khan, A., Hsu, J.-W., 1992, "Mechanical Properties of Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers", *Materials Journal*, Vol.89, No.6, pp. 535-540.
- Sümer, B., Sarıbyık, M., 2013, Betonda Silis Dumanı ve Polipropilen Lif Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol.17, No.2.
- Xia, M., Kemmochi, K., Takayanagi, H., 2001, Analysis of Filament-Wound Fiber-Reinforced Sandwich Pipe under Combined Internal Pressure and Thermomechanical Loading", *Composite structures*, Vol.51, No.3, pp. 273-283.
- Yasa, A. A., 2016, Anadolu Selçuklu Ve Beylikler Dönemi Konya Yapılarında Malzeme Kullanımı Ve Yapım Teknikleri, *Vakıflar Dergisi*, Vol. 45, pp. 143-176.
- Yıldırım, H., Sertbaş, B., Berbergil, V., 2007, "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi", 7. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 28-30 Kasım 2007.





## OVERHANGS IN STRUCTURAL SYSTEMS AND EARTHQUAKE BEHAVIOUR FROM TORSIONAL IRREGULARITY POINT OF VIEW

<sup>1</sup>Hasan Hüsnü KORKMAZ

<sup>1</sup> Selcuk University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Konya, Turkey

<sup>1</sup>hhk73@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 11.07.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.12.2017)

**ABSTRACT:** Earthquake behaviour of structural systems strongly depends on geometry of the building. The seismic motions can create unpredictable displacements and corresponding structural members may be forced more than that was evaluated. Torsional response of structures is very important for earthquake resistant design philosophy. In this study, overhangs in buildings and their effect on torsional displacements under seismic forces was evaluated. The model building has 5 different overhang alternatives and 3 different overhang lengths. Structural systems were modelled in a finite element packed program ETABS and investigated under response spectrum analyse cases. Mode superposition method used for determination of dynamic properties. Effect of cantilever overhangs in seismic response were evaluated.

**Key Words:** Earthquake, Earthquake code, Irregularity, Overhangs, Torsional response

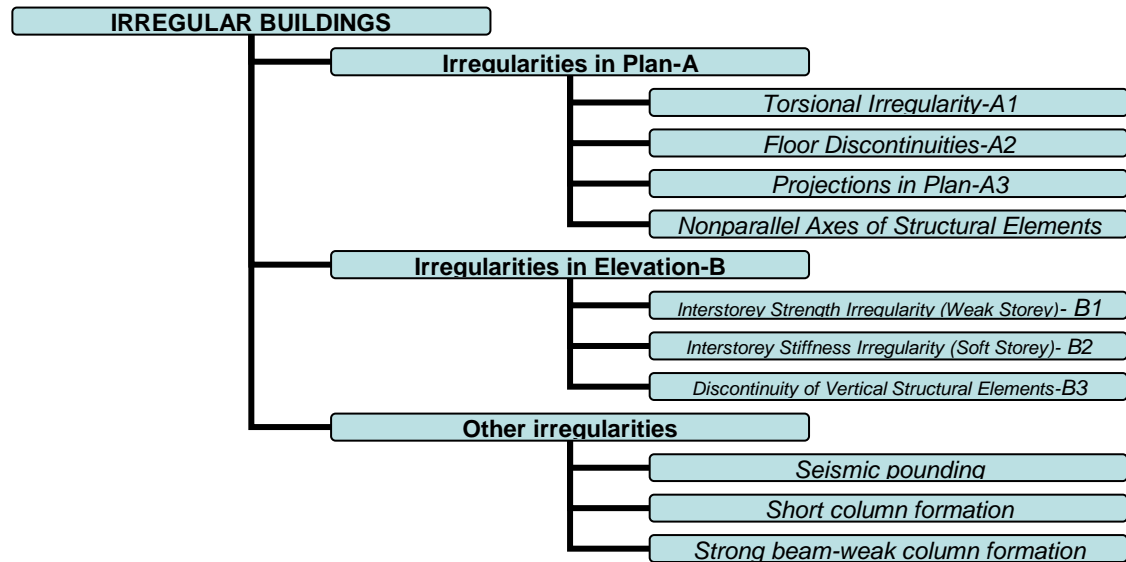
### Yapı Sistemlerinde Konsol Çıkmalar ve Burulma Düzensizliği Açısından Deprem Tepkisine Etkileri

**ÖZ:** Yapıların deprem performansı ilk olarak binanın geometrisine bağlıdır. Sismik yüklemeler binada tahmin edilemeyen deplasmanların oluşmasına ve yapı elemanlarının hesaplanandan daha fazla zorlanmasına yol açabilir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı içinde burulma düzensizlikleri çok önemlidir. Bu çalışmada binalarda bulunan çıkma konsollar ve bunların yapının deprem dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 5 değişik çıkma konfigürasyon alternatifi ve 3 farklı konsol boyu parametre olarak seçilmiştir. Model binalar ETABS programında modellenerek, "response spektrum" analizi gerçekleştirilmiş ve sismik analiz yapılarak, konsol ve çıkmaların etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Deprem yönetmeliği, Düzensizlik, Konsol çıkma, Burulma,

### INTRODUCTION

In Turkish Earthquake Code (TEC, 2007), second chapter gives the definition of irregular buildings, limits and enforcements about irregularities. In this chapter, structural systems are classified as regular or irregular. Irregularities may include plan (horizontal direction) or vertical arrangements. The code advise to avoid irregularities in preliminary design stage and states that seismic behaviour of irregular buildings are unfavourable. From previous earthquakes, it is known that, irregularities decreases the earthquake performance of structural systems. (Mendi, 2005). The code states that, geometry of the building may become a negative factor for seismic resistance. In the code, irregularities are defined under two main headings, in plan (A) or in elevation (B). Irregularities in plan divided to; torsional irregularity, floor discontinuities, projections and non-orthogonal structural layouts (Ozmen and Unay 2007). Besides, irregularities in elevation includes, stronger beam-weaker columns, captive columns, and earthquake hammering effects (Figure 1) (Tezcan, 1998).



**Figure 1.** Irregularities defined in the Turkish Earthquake Code (TEC, 2007)

Earthquake code also defines what the designer do if there exist irregularities in the structure (Mendi, 2005). If there is A1 and B2 type irregularity, then, seismic analysis type is dictated by the code. If there is A2 and A3 type irregularity, the designer must prove that, floor system can transfer seismic loads safely.

## MATERIALS AND METHODS

During the seismic analyses, two orthogonal directions are assumed to be exist. Under lateral earthquake forces, displacements of column bottom and top joints are calculated ( $\delta_i$ ) (Figure 2). Storey drift is calculated as the difference of joint displacements of two consecutive floor levels and defined as

$$\Delta_i = (\delta_i) - (\delta_{i-1}) \quad (1)$$

During the application of lateral forces,  $\pm 5\%$  eccentricities must be taken into account. In two orthogonal directions. The minimum ( $\Delta_{imin}$ ) and maximum ( $\Delta_{imax}$ ) floor drifts are calculated and the mean storey drift is calculated as;

$$\Delta_{i-ave} = ((\Delta_{imax}) + (\Delta_{imin}))/2 \quad (2)$$

The factor for torsional irregularity ( $\eta_{bi}$ ) can be determined as the ratio of maximum relative drift to the average drift at the same story. Both values must be calculated at the same direction

$$\eta_{bi} = (\Delta_{imax}) / (\Delta_{i-ave}) \quad (3)$$

In the case of buildings torsional irregularity value,  $\eta_{bi}$  exceeds the value of 1.2, then, it is said that type A1 irregularity exist in building. If this value is between 1.2 and 2, then the additional eccentricity is increased and the solution is repeated. The eccentricity amplification ( $D_i$ ), factor is defined as;

$$D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2 \quad (4)$$

Now the design eccentricity ( $e_d$ ) becomes

$$e_d = e + 0.05 \times D_i \quad (5)$$

If the torsional irregularity factor exceeds value of 2 then, the structural system must be revised or changed and the analyses must be re-performed. At that point, it is very important for the designers that, torsional irregularity is an unwanted situation. Although code gives several penalties for this case, it is better to avoid torsional movements. Code just warns designers about the adverse effects of unpredictable movements in the structure (Dukkal, 2007). There is no any dynamic amplification in TEC-2007 for torsional responses (Inel et al., 2008). In several documents dealing with post earthquake reports, devastating effects of torsional effects are reported (Gulay and Calim, 2003).

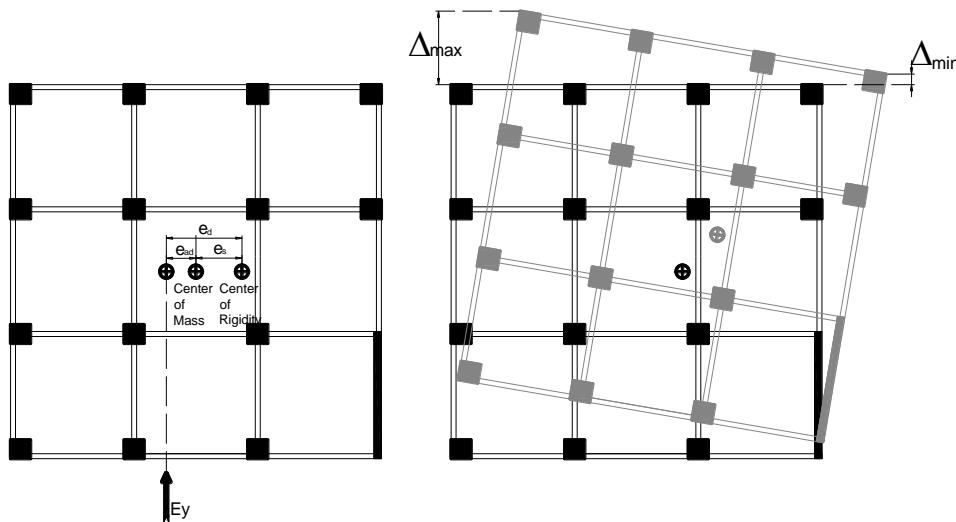


Figure 2. Calculation of maximum and minimum storey drifts

If there is a torsional irregularity, then the seismic analysis method must be dynamic analysis type and equivalent earthquake loading method must be avoided. (Tezcan and Alhan, 2008). The resistance point of structure to the lateral loads is center of rigidity. The seismic loads are assumed to be applied to the center of mass. The distance between these two points creates rotational movements and extra force or moments to the structural members. Especially additional shear forces can create unpredictable failures in the structure. The modification of center of mass is difficult since it depends on geometry. Designer can change the center of rigidity by changing the structural system (Ozmen and Unay 2007).

### Plan Geometry and Torsional Irregularity

Building plan geometries and torsional response relationships were investigated using finite element models (FEM) of the selected structural systems. Cases involving cantilever projections or overhangs was evaluated within the study. The generated 3D models were analysed under lateral earthquake loadings and the results were compared in terms of their earthquake behaviour based on torsional irregularity and with the help of the graphics.

### Overhangs and Torsional Responses

Open or closed cantilever projections are a form of irregular mass distribution commonly encountered in the Turkish urban pattern to enlarge plan dimensions and create space for balconies (Ozmen and Unay 2007). Cantilevered facades are also fashionable for architectural and aesthetic reasons. The majority of RC-framed buildings in Turkey have overhangs after their ground storeys due

to public improvement laws and a lack of building lots. Because city municipalities limit a building's first-storey footprint-to-plot ratio, cantilever projection construction in the form of beams or block joist floor (hollow-tile floor slab) framing is often employed at the second-floor level. Public improvement laws permit land developers to cover more area on upper floors than on the ground floor. The aim of cantilever projections is thus to maximise the gross floor area of a building by utilising the land in the most effective manner. However, this practice can have negative effects on seismic behaviour. In Turkey, the cantilever length is commonly approximately 1.5 m, while in some cases it can be 2 m or more at the first floor level, as shown in Figure 3.



**Figure 3.** Long, heavy overhangs over a soft storey formation

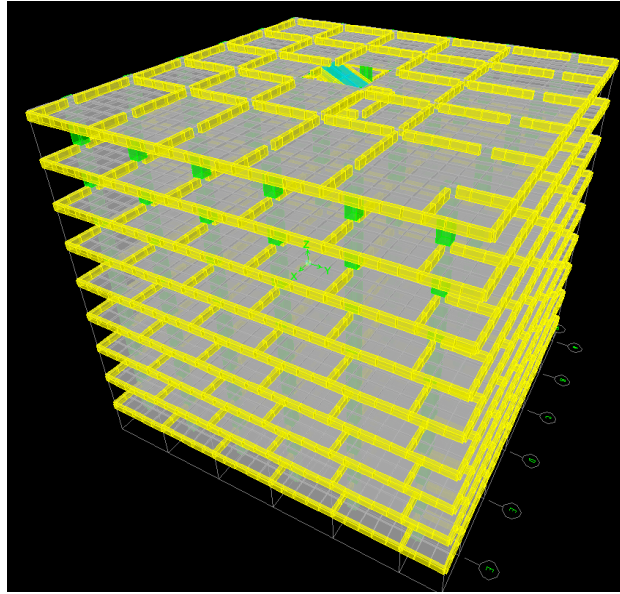
The problems related to cantilever overhangs include the following.

- If overhangs are not located on the central axis of a building, they will create torsional irregularities and their lateral rigidity will differ from that of the floors below or above.
- The mass centre of the structure is far from the ground. Heavy overhangs shift the buildings mass centre upwards and remove it from the centre of rigidity.
- Under earthquake motion, closed projections in particular will experience critical displacements, which may lead to a partial collapse.
- The final problem is related to the vertical direction of earthquakes. Many buildings with large, heavy overhangs have been damaged when subjected to the vertical component of an earthquake (Ozmen and Unay 2007; Inel et al., 2008).

If cantilever projections are to be made, the beams should be continuous under the cantilevered slab. Past earthquakes have revealed that buildings with heavy overhangs are more susceptible to damage, and some buildings have been severely damaged due to long, heavy cantilevers beginning on the second floor level. During the 1999 Marmara and 2003 Bingol earthquakes in Turkey, it was observed that buildings with heavy overhangs and balconies sustained heavier damage than those with regular elevations.

Six different 9-storey structural models, including the reference building, were modelled to investigate the relationship between cantilever projection and the consequences of earthquakes (Figure 4). The reference structure was a typical moment-resisting, beam-column dominated RC frame, which is the

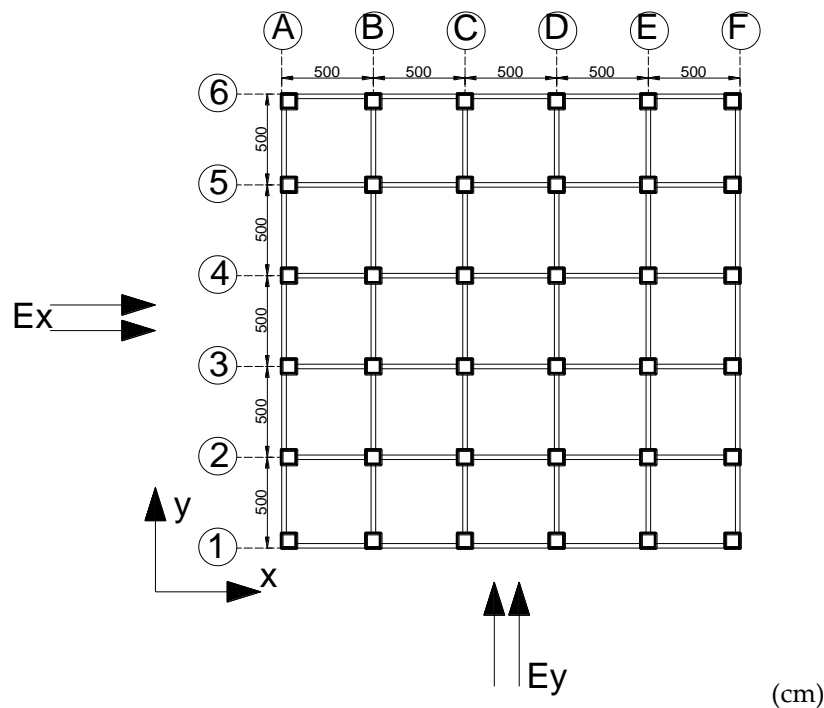
most common seismic framing system used in Turkey for building construction. The reference structure was an ordinary building with the floor plan shown in Figure 5. The reference model's frame measured 25 m by 25 m in plan and had 5@5 m bays in both the X and Y directions. The floor plans were identical in all storeys.



**Figure 4.** Finite element model of the model structure

The first model, or reference model, did not contain a cantilever projection and was named the “Regular Frame”. The second model (Case D) contained an overhang along the one side, while Case E had were two projections on adjacent sides. Case F also contained two projections, but on two opposite sides. Three and four cantilevers were attached to the regular frames in Cases G and H, respectively. The model identifiers are provided in Figure 6. The generated models did not contain any code-defined irregularities such as weak or soft storeys (B1-B2), floor discontinuities (A2), projections in plan (A3) or nonparallel axes.

Three-dimensional mathematical models were created using the ETABS finite element program to carry out separate linear dynamic analyses in the longitudinal and transverse directions. During the dynamic analysis, square root sum of squares-SRSS combination method is preferred since the regular building plan was chosen as symmetric, SRSS method would be suitable. The dynamic analysis are very important for irregular buildings. The irregularity may result in more complex response than the assumed behaviour. The columns were designed to be square for simplicity. As stated above, the reference model building did not contain overhangs, but the other models contained overhangs with various configurations. The columns in the model are square columns and contained %1 amount of steel, which was the minimum amount in the Turkish reinforced concrete code.

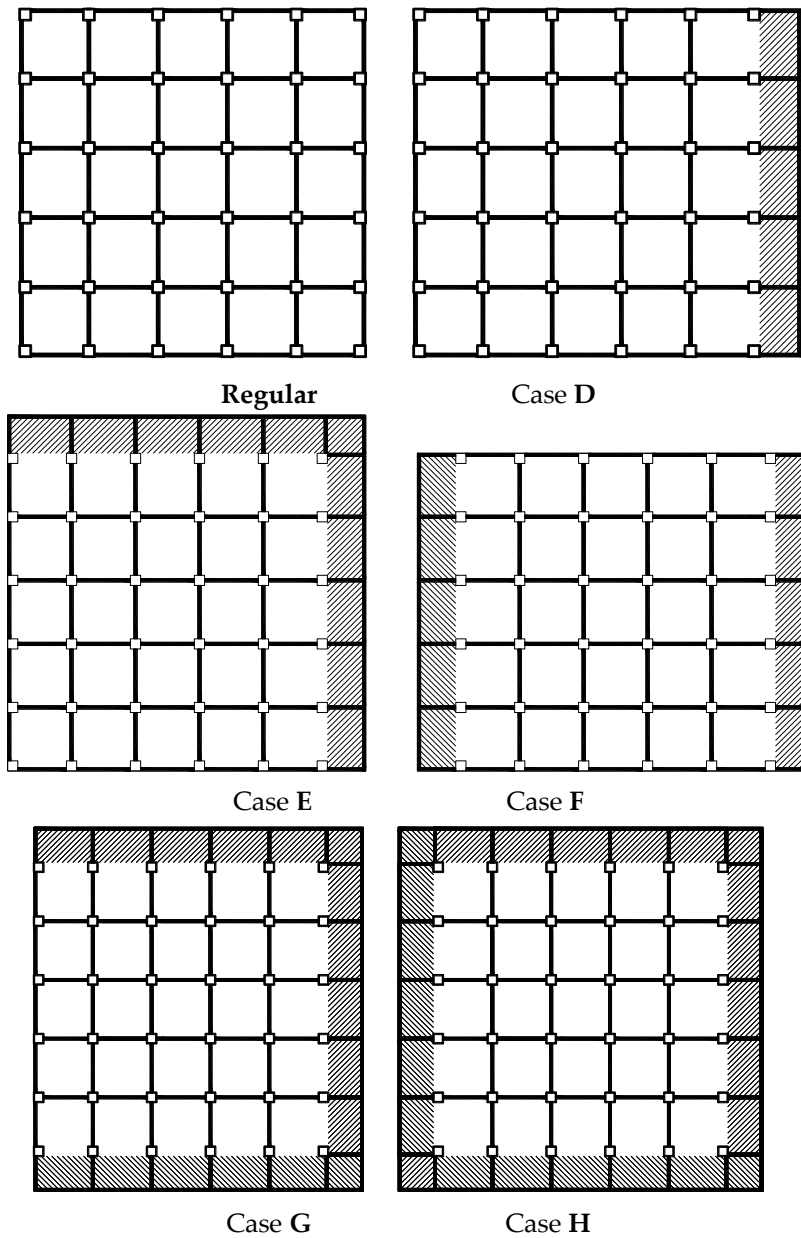


**Figure 5.** Reference model of a moment-resisting frame

## DISCUSSIONS

The proper representation of building stock was the primary concern in the design and detailing of the model buildings. Because the majority of Turkish buildings were constructed according to the 1975 Turkish Earthquake Code, the selected model buildings were designed according to this code and considering vertical gravity loads. The vertical loads consisted of live and dead slab loads, infill wall loads on beams and the dead loads of columns and beams. The total gravity load was calculated as 1.4 times the dead load ( $G$ ) plus 1.6 times live load ( $Q$ ). To prevent creep failure, the Turkish Reinforced Concrete Code (TS500, 2000) dictates that, the capacity of a column ( $A_{cx}f_{ck}$ ) must be at least twice that of the load calculated using the  $1.4G+1.6Q$  load combination. Here,  $G$  is the dead load and  $Q$  is the live load acting on the columns' tributary area. Note that the storey weight consists of the dead load and 30% of the live load (for residential buildings according to TEC-2007) at the time of the earthquake.

A concrete strength of 15 MPa was selected even though the minimum concrete class given in the TEC-2007 is 20 MPa, and the reinforcement ratio of the columns was set at 1.5%. The uniform slab gravity loads were 2.5 kN/m<sup>2</sup> for the dead load case and 3 kN/m<sup>2</sup> for the live load case. The dead load of the infill walls was assigned as uniformly distributed loads on the beams. The thickness of the exterior infill walls was 200 mm, considering the window openings, while the thickness of the interior walls was 100 mm. The thickness of the slab was 150 mm and the typical floor height was set at 3 m. The beam cross-sections were assumed to be T-shaped for the interior beams and L-shaped for the exterior beams. All beams had 200 mm cross-sectional widths.



**Figure 6.** Model identifiers for cases with heavy overhangs

The column and beam dimensions used in this study were typical frame element proportions present in the existing Turkish building stock. Analyses were carried out using the gross section properties of the concrete elements. No effort was made to create a strong column–weak beam system because such systems were not considered in the 1975 version of the Turkish Earthquake Code. All structural members were placed orthogonally with continuous framing. The building was assumed to have 5% damping in all of its deformation modes (Tezcan and Alhan, 2008; Inel et al., 2008)

The columns were modelled with frame members, while the slabs were modelled with shell elements and meshed. These slabs were assumed to be infinitely rigid and rigid diaphragms were assigned. The beams were also meshed to ensure that the beam mesh points and slab mesh points coincided. Foundations were not considered, and fixed supports were assumed at the base of each building. Seismic analyses were carried out in accordance with the recently published Turkish Earthquake Code (TEC, 2007). Four different soil types were defined in TEC-2007. This study used the Z3 type soil class. The Z3 type soil class has characteristic spectrum periods of  $T_a=0.15$  sec and  $T_b=0.6$  sec (Figure 7). Turkey is divided into 5 earthquake zones, where the 1<sup>st</sup> zone is the most seismic, with a

design ground acceleration of  $A_0 \approx 0.4g$ . The model structures were assumed to be located in the first seismic zone (or regions of high seismicity) and the importance factor,  $I$ , was set equal to 1.0 (for residential and office buildings, hotels, building-like industrial structures, etc.). Because the structures were assumed to be designed according to the 1975 version of the Turkish Earthquake Code, the structural behaviour factor,  $R$ , was set equal to 4 for reinforced concrete moment resisting frames of nominal ductility. An additional accidental eccentricity of 5% was applied even when the existing eccentricity of the structure was zero, as dictated by TEC-2007.

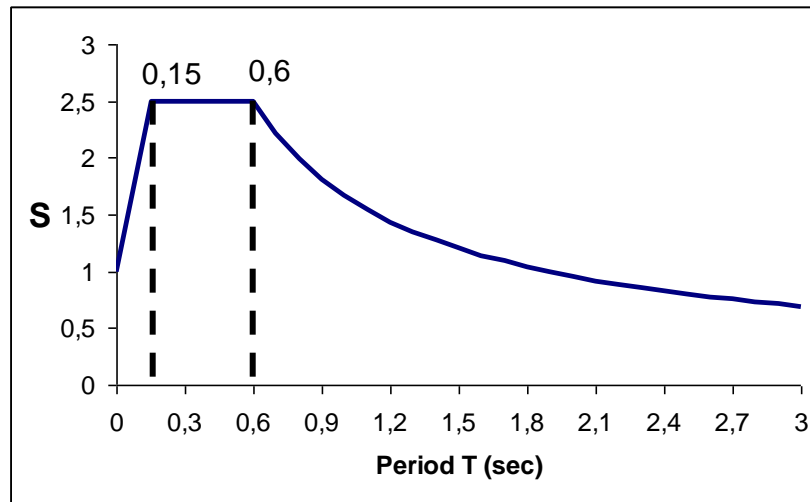


Figure 7. Spectrum curve for the Z3 soil type (TEC, 2007)

For models with overhangs, the beams connecting the exterior columns (Figure 8) were shifted to the tips of the cantilever beams, which were extended from the exterior column to the external face of the cantilever. In exterior columns, the cantilever beams extended from the column's top joint to the cantilever's external face (Beam 1 or Beam 2 in Figure 8). This beam application is common in Turkish residential buildings, where beams are hidden at the tops of exterior brick infill walls.

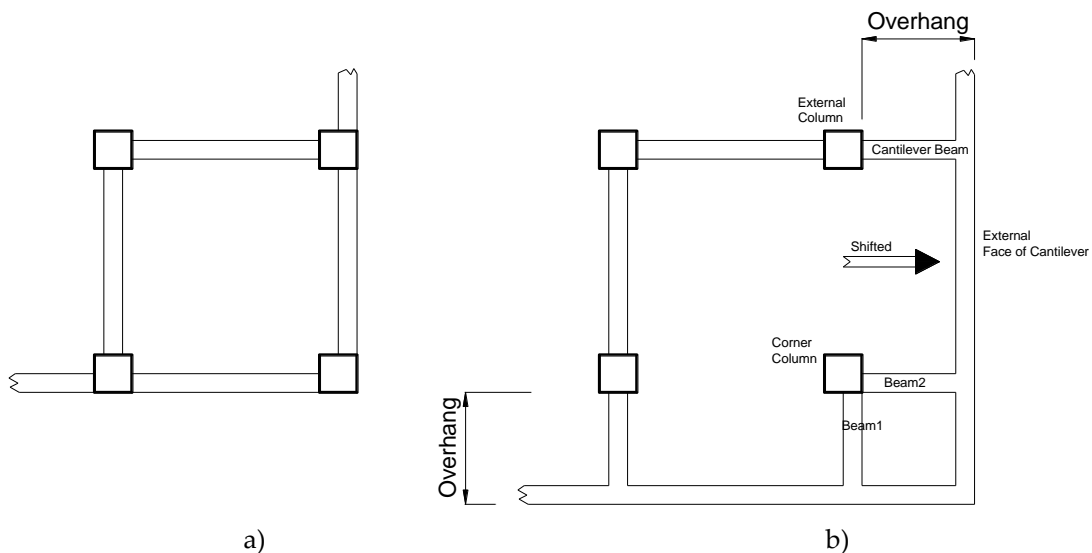
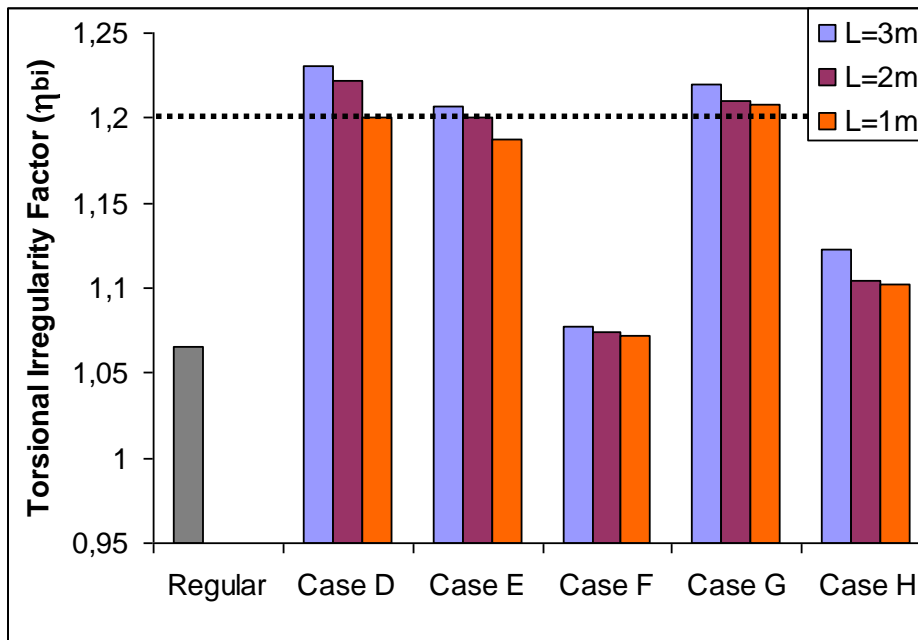


Figure 8. Exterior beam configuration at the building corner  
(a-without overhangs, b-with two adjacent overhangs)

The infill wall loadings were relocated on the beams surrounding the overhang portion. The cantilever length was also a parameter and set at  $L=1$  m, 2 m or 3 m. Cantilevers more than 3 m long are not



common in practice, but this case was analysed to represent an extreme condition. The earthquake definitions (mode superposition) were applied in two orthogonal directions along the X and Y global axes. A dynamic analysis was performed and the joint drifts were determined. Torsional irregularity factors were calculated for every floor and the maximum values are represented in Figure 9, which also illustrates the code limit of 1.2. This graph clearly shows that the code limit was exceeded for Cases D and G at every cantilever length. In Case E, on the other hand, the limit value was exceeded for the 3-m cantilever length. The torsional irregularity factors were below the code limit in Cases F and H. Although the reference model structure was a regular, symmetric building, the cantilevers disturbed its torsional stability in every case except for Case F. This result was quite logical because the overhangs on the opposite sides balanced the structure (Korkmaz and Korkmaz, 2013).



**Figure 9.** Torsional irregularity factors for cantilever projection cases

The maximum torsional moment due to the lateral earthquake loadings occurred in the corner column on the 6-F axes, and is investigated in Figure 10. The obtained torsional moments were normalised by dividing them by the corresponding moment obtained from the regular case. The torsional moments were increased in all cases except Case F. Cantilever length had a significant effect on torsional moments. As the cantilever length increased, the torsional moments also showed an increasing trend. The inferior situations were Cases D, E and G, while Case F displayed similar results to the regular case. The torsional moments in Case D were approximately 5 times higher than those in the regular case, while those in Cases E and G were 4 times higher and those in Case H were 2 times higher.

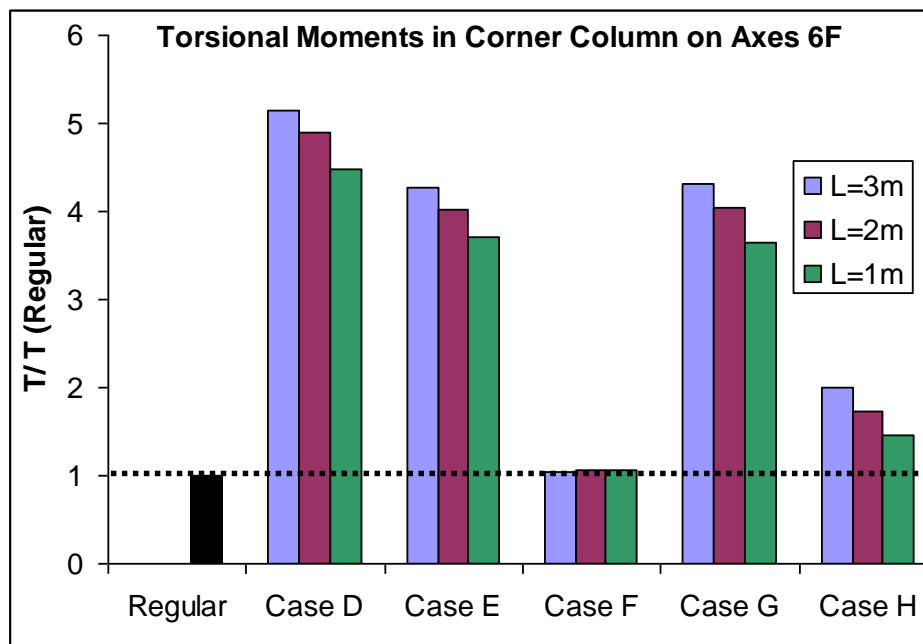


Figure 10. Torsional moment ratios for the cantilever projection cases with respect to the regular case

## CONCLUSIONS

In this paper, architectural plan geometries and torsional responses were evaluated using 3D finite element models of selected structural models that reflected the existing residential building stock in Turkey. The basic reference structure had a square plan geometry and contained no soft or weak irregularities or projections in plan, nor did the models include elevation irregularities, floor discontinuities or discontinuities in vertical structural elements. The span lengths were 5 m and there were 5 spans in the X and Y directions. The storey height was 3 m throughout all the buildings. The columns were designed as square and the dimensions of the all columns were identical within each storey, while the column sizes were altered as the number of storeys was increased. The column dimensions are determined according to the load level in dead load case. Under dead and live load combination ( $1.4 \times \text{Dead} + 1.6 \times \text{Live}$ ), the column forces ( $F$ ) must be half of the columns axial load carrying capacity ( $F < (0.5) \times F_{\text{cap}}$ ). The first case examined the effects of cantilever projections or overhangs, which are very common in the Turkish residential building stock, on the torsional response of a structure. A set of 6 models, including a reference model, was analysed for orthogonal earthquake directions. The mode superposition method was used to evaluate the earthquake response of each model. The overhang configurations of one overhang (Case D), two overhangs (Cases E and F), three overhangs (Case G) and four overhangs (Case H) were considered. The overhang length was also a parameter, with 1 m, 2 m, and 3 m overhang lengths considered. The maximum and minimum storey drifts were calculated and the torsional irregularity factors ( $\eta_{\text{bi}}$ ) were determined. Although the torsional irregularity factor of the reference building with no overhangs was 1.06, the  $\eta_{\text{bi}}$  values for Case D (one overhang) and Case G (three overhangs) exceeded the code limit of 1.2 for all overhang lengths. In Case E (two overhangs on adjacent sides), this limit was also exceeded for overhang lengths of 2 m and 3 m. In Case H (four overhangs), the  $\eta_{\text{bi}}$  values fell below the limit of 1.2. A superior response was obtained in Case F (two overhangs on opposite sides) and its  $\eta_{\text{bi}}$  values were nearly equal to those obtained for the reference model. The code upper limit of 2 was never exceeded in any case. The inferior performance obtained in Cases D and G could be attributed the fact that the symmetry of the floor had been disturbed. Although Cases F and H contained overhangs, the  $\eta_{\text{bi}}$  values remained below the code limit because symmetry existed. The overhang length also had effects on the torsional response and was more pronounced in Cases D and E. The torsional moments in the corner columns due to earthquake loadings were also

calculated and compared, and those on the corner column in Case D was approximately 5 times, those in Cases E and G were 4 times, and that in Case H was 2 times higher than the torsional moment of the reference regular case with no overhangs. The torsional moment in the corner column of Case F remained approximately constant. This study was conducted to illustrate the importance of building geometrical properties, architectural design decisions and their consequences in earthquake responses, and to remind both civil engineers and architects that earthquake-resistant structural design is a common responsibility that must be shared. More numerical analysis must be done to account for soft storeys, short column effects and architectural design.

### Symbols

$\delta_i$ : displacements of column bottom and top joints

$\Delta_{i-ave}$ : Average story drift

$\Delta_{i-max}$ ,  $\Delta_{i-min}$ : Maximum and minimum story drifts

$\eta_{bi}$ : Factor for torsional irregularity

$D_i$ : The eccentricity amplification factor

$e_d$ : Design eccentricity

### REFERENCES

- Duggal S.K., 2007, *Earthquake Resistant Design of Structures*, UK: Oxford University Press, London, UK.
- Gulay, F.G., Calim, G., 2003, "A Comparative Study of Torsionally Unbalanced Multi-Storey Structures Under Seismic Loading", *Turkish Journal Engineering Environment Science*, Vol. 27, pp. 9-11.
- Inel, M., Ozmen, H.B., Bilgin, H., 2008, "Re-evaluation of Building Damage During Recent Earthquakes in Turkey", *Engineering Structures*, Vol. 30, pp. 412-427.
- Korkmaz, S.Z., Korkmaz, H.H., "Seismic Design Considerations about Architectural Design Aspects and Irregularities", *Proceedings of the World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13)*, Korea, 2013.
- Mendi, H.E., 2005, *Evaluation Of Architectural Consciousness And Exploration Of Architecture-Based Issues In Seismic Design*, MSc Dissertation, Middle East Technical University, Ankara.
- TEC-2007, *Turkish Earthquake Code, Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones*, Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, 2007.
- Tezcan, S., Alhan, C., 2008, "Parametric Analysis of Irregular Structures under Seismic Loading According to the New Turkish Earthquake Code", *Engineering Structures*, Vol. 23, pp. 600-609.
- Tezcan, S., 1998, *An Architect's Log Book for Earthquake Resistant Design*, Turkish Earthquake Foundation Press, Istanbul, Turkey.
- TS500-2000, *Turkish Reinforced Concrete Code*, Turkish Standards Institute., Ankara, 2000.
- Ozmen, C., Unay, A.I., 2007, "Commonly Encountered Seismic Design Faults due to the Architectural Design of Residential Buildings in Turkey", *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 1406-1416.

## BASİT MESNETLİ TEK AÇIKLIKLI ÇELİK DEMİRYOLU KÖPRÜSÜNÜN DEPREM DAVRANIŞININ KIRILGANLIK EĞRİLERİ YARDIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

<sup>1,2</sup>Mehmet Fatih YILMAZ, <sup>2</sup>Barlas Ozden CAGLAYAN

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, SAMSUN

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

<sup>1</sup>yilmazmehmet3@itu.edu.tr , <sup>2</sup>caglayan@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 09.08.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.12.2017)

**ÖZ:** Kırılma analizi köprülerin deprem performanslarının belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde demiryolu köprülerinin deprem performanslarının belirlenmesi olası deprem senaryoları için maddi ve can kayıplarının önlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Ülkemizdeki demiryolu köprülerinin 19 uncu yüzyılın sonları ile 20 inci yüzyılın başlarında inşa edildiği görülmektedir. Devlet Demiryolları envanterinde bulunan köprüler; çelik, yığma ve betonarme köprülerden oluşmakla birlikte bunların önemli bir kısmı tarihi köprü niteliğindedir. Demiryolu köprülerinin uzun kullanım ömrünün olması ve köprülerin imal edildiği zamanın teknolojisi ile günümüz teknolojisi arasındaki gelişmeler göz önüne alındığı takdirde köprülerin deprem performanslarının belirlenmesi için ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekliliği açıkça görülmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de ki demiryolu hatlarında sıklıkla kullanılan basit mesnetli tek açıklıklı bir çelik demiryolu köprüsü ele alınmıştır. Köprünün doğrusal olmayan analizlerinin yapılabilmesi için A, B ve C zemin sınıflarında 30 farklı gerçek deprem kaydı seçilmiş ve bu deprem kayıtları en büyük yer ivmesi 0.1g ile 1.0g arasın da 10 sarsıntı şiddeti değerine oranlanmış ve 300 zaman tanım alanına doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Köprünün matematiksel modeli yaygın olarak kullanılan bir sonlu elemanlar programı yardımı ile imalat paftalarına uygun şekilde oluşturulmuştur. Kırılma eğrileri elde edilirken maksimum olasılık yaklaşımından faydalanılmış ve her bir köprü elemanı için dört farklı hasar sınıfına ait kırılma eğrileri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda köprü mesnetlerinin köprünün en zayıf elemanları olduğu tespit edilmiştir. Köprü mesnetlerinde %50 olasılıkla hafif hasara neden olan sarsıntı şiddeti parametresi 0.086g olarak belirlenmiştir. Köprü üst yapı elemanları incelendiği takdirde ise %50 olasılıkla hasar oluşmasına neden olan sarsıntı şiddeti parametresi 0.32 g olarak belirlenmiştir. Üst yapı elemanlarında plastik davranış başladıktan sonra yüklerin tekrar dağılımı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle üst yapı gevrek davranış göstermekte ve hafif hasara ulaşıldıktan hemen sonra orta, ileri ve göçme durumu hasarları gözlemlenmektedir. Köprünün kullanım sınır durumları incelendiği takdirde ise kullanım hız limitlerinin artması ile köprü hasar olasılıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan analizler dikkate alınarak demiryolu hat güvenliğinin artırılması için deprem riski yüksek olan bölgelerde köprü kullanım hız limitlerinin sınırlandırılması gerektiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Artımsal dinamik analiz, Demiryolu Köprüleri, Doğrusal olmayan analiz, Kırılma Analizi, Köprü.

### Evaluation of The Earthquake Behavior of Single Span Simply Supported Steel Railway Bridges by Fragility Curve

**ABSTRACT:** Fragility analysis is widely used in determining the earthquake performance of bridges. Determination of earthquake performances of railway bridges in Turkey which is located in the active earthquake zone is of great importance for preventing earthquake loss and material loss for possible

earthquake scenarios. When the railway bridges in our country are examined it is seen that they are generally constructed in the late 19th century and early 20th century. Turkish Railway administration's bridge inventory contains steel, masonry and reinforced concrete bridges, some of which are historical bridges. It is clear that detailed studies should be carried out to evaluate the seismic performance of bridges considering their long period service life and changes of technology and construction methodologies between their construction days and nowadays. In this study, a single-span steel railway bridge with simple support, which is frequently used in railway lines in Turkey is investigated. In order to make nonlinear analysis of the bridge, 30 different real earthquake records are selected in A, B and C ground classes. These earthquake records are scaled to 10 different shaking intensity values between 0.1 g and 1.0 g, and 300 nonlinear time-history analyzes are performed. The mathematical model of the bridge is constructed in accordance with the shop drawing with the help of commonly used finite element software. When the fragility curves are obtained, the maximum probability approach is used and the fragility curves of four different classes of damage are obtained for each bridge element. The results obtained are elaborated in detail. As a result of the analyzes, it is determined that the bridge supports are the weakest elements of the bridge. Intensity measure which causes 50% probability slight damage on bridge supports is 0.086g. The intensity measure, which causes 50% probability of damages for bridge superstructures, is 0.32 g. Redistribution of loads is not possible after plastic behavior is start in superstructure, for this reason the superstructure shows brittle behavior and moderate, extensive and complete damage are observed immediately after slight damage is reached. Considering the serviceability limit state, the analysis shows that increase in the use speed, increase the probability of failure. For the high risk seismic region use speed of Railway Bridge need to be restrained.

**Key Words:** *Incremental dynamic analysis, Railway bridges, Nonlinear analysis, Fragility analysis, Bridge.*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kırılma eğrileri köprülerin ve köprü elemanlarının deprem performanslarının belirlenmesi için sıklıkla kullanılan etkili bir yöntemdir. Kırılma eğrisi köprünün ya da köprü elemanlarının belirli bir yer sarsıntısı değeri için hasar sınırlarını oluşturan sınır değerleri aşp aşmadığını olasılıksal olarak ifade etmektedir. Kırılma eğrileri, deney ve gözlemlere dayalı yöntemlerle, uzman görüşlerine dayalı yöntemlerle ve analitik yöntemlerle elde edilebilir (Shinozuka ve dig., 2000b). Deneysel ve uzman görüşüne dayalı yöntemlerin kullanılması için gerekli verilere ulaşmak birçok durumda mümkün olmamaktadır bu nedenle analitik yöntemler ile kırılma eğrilerinin elde edilmesi önem kazanmaktadır. Analitik yöntemler ile kırılma eğrilerinin elde edilebilmesi için bazı matematiksel analizlerin yapılması gerekmektedir. Statik itme analizi, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ve artımsal dinamik itme analizi bu analizlere örnek olabilirler. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerle gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmesine karşın analiz süresi ve işlem yükü artmaktadır. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre olasılıksal sismik talep modelleri oluşturulmaktadır. Olasılıksal sismik talep modelinin (PSDM) oluşturulmasında yapılan analizlere göre üç farklı yöntem yer almaktadır, bunlar Bulut (Cloud) yöntemi, Artımsal dinamik itme analizi (IDA) yöntemi ve şerit (Stripe) yöntemidir (Mackie ve Stojadinovic, 2005)(Dolsek, 2009). Bu çalışma kapsamında artımsal dinamik analiz yönteminden faydalanılmıştır. Bunun için seçilen gerçek deprem kayıtları sarsıntı şiddeti değeri 0.1g ile 1.0g arasında 10 farklı değere oranlanmıştır ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Kırılma eğrilerinin elde edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan iki parametrelili log-normal dağılım fonksiyonundan faydalanılmıştır (Cornell ve dig., 2002b).

Türkiye'de ki demiryolu hatlarının ülke ekonomisine ve yolcu taşımacılığına önemli bir katkısı bulunmaktadır. Bu nedenle olası deprem senaryosunda meydana gelebilecek can kayıpları ve maddi kayıpların önlenmesi veya azaltılması için demiryolu köprülerinin deprem performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Köprülerin deprem performanslarının belirlenmesinde kırılma eğrileri etkin ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Shinozuka ve dig., 2000b)(Shinozuka ve dig., 2000a)(Pan ve

dig., 2010). Birçok durumda yeterli veriye ulaşmak zor olduğu için analitik yöntemler ile kırılma eğrilerinin elde edilmesi yöntemine gidilmektedir. Artımsal dinamik analiz (IDA) köprünün deprem talebinin belirlenmesinde kullanılan analitik yöntemlerden bir tanesidir. Köprünün ve köprü elemanlarının hasar sınıflarının belirlenmesi ise diğer önemli bir husustur. Mander ve dig., (1996). tarafından yapılan çalışmada çelik karayolu köprü mesnetlerinin doğrusal olmayan davranışları deneysel ve analitik yöntemler yardımı ile elde edilmiştir. Nielson (2005), Mander ve dig. (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmalar ve gözlemlere dayanarak Bayesian yaklaşımlarından da faydalanarak kırılma eğrilerinin elde edilmesinde köprü elemanlarını dört farklı hasar sınıfı için sınır değerlerini belirlemiştir. Belirlenen hasar sınır durumları dikkate alınarak maksimum olasılık yöntemi ile kırılma eğrisine ait parametreler belirlenmektedir (Baker, 2015). Artımsal itme analizindeki analiz yükünün fazla olması ve küçük deprem kayıtlarının büyük sarsıntı şiddeti değerlerine oranlanması ile oluşan belirsizliklerin giderilmesi için sınırlandırılmış artımsal itme analizi de kırılma eğrisinin elde edilmesi için kullanılmaktadır (Chandramohan ve dig., 2013).

Bu çalışmada tipik basit mesnetli çelik bir demir yolu köprüsü ele alınmıştır. Seçilen köprü Manisa-Uşak-Dumlupınar-Afyon demiryolu hattı üzerinde yer almaktadır. Köprünün dinamik analizlerinin yapılabilmesi için A, B, ve C zemin sınıflarından 30 farklı gerçek deprem kaydı seçilmiş ve seçilen deprem kayıtları 0.1g den 1.0g ye kadar 0.1g aralıklar ile 10 sarsıntı şiddeti değeri için oranlanmıştır. Köprünün deprem performansının belirlenmesi için toplam 300 zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında analizler yapılırken Sap 2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Analizler sonucunda köprü elemanlarında oluşan yer değiştirmeler ve dönmeler kaydedilmiş olasılık sismik talep modelleri oluşturulmuştur. Köprü elemanları için hasar sınır durumları çelik elemanların dönmelerine bağlı olarak Mohseni, (2012) tarafından yapılan çalışmada belirtilen dönme değerlerine göre ve mesnetlerin yer değiştirmelerine bağlı olarak Neilson (2005) tarafından yapılan çalışmada belirtilen yer değiştirme sınır değerlerine göre belirlenmiştir. Köprü elemanlarının kullanılabilirlik limit durumları ve dayanım limit durumlarına göre ayrı ayrı kırılma eğrileri elde edilmiştir. Kırılma eğrilerinin elde edilmesinde iki parametrelili log-normal dağılım fonksiyonlarından faydalanılmıştır.

## **MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)**

Kırılma eğrisi yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için deprem etkisi altında oluşan talebin hasar limit durumunu aşp aşmaması olasılığı olarak ifade edilmektedir. Günümüzde yapısal ve yapısal olmayan elemanların deprem performansının ve tehlike analizlerinin yapılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Kırılma eğrilerinin elde edilebilmesi için üç farklı temel yöntemden faydalanılmaktadır, bunlar uzman görüşüne dayanan kırılma analizi, deneysel verilere dayanan kırılma analizi ve analitik kırılma analizidir (Nielson ve DesRoches, 2006). Uzman görüşüne dayanan kırılma analizi ve deneysel verilere dayanan kırılma analizlerinin yapılabilmesi için gerekli verilere ulaşılması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle analitik kırılma analizi önem kazanmaktadır. Analitik kırılma analizinin yapılabilmesi için yapının sonlu elemanlar modeli gerçekçi bir şekilde oluşturulmalıdır. Yapının deprem etkisi altındaki davranışının belirlenebilmesi için doğrusal ya da doğrusal olmayan analizlerden faydalanılmaktadır. Son olarak yapının performans seviyeleri göz önünde bulundurularak yapıya ait hasar limit durumları belirlenmelidir.

### **Olasılık Sismik Talep Modelinin Oluşturulması (Probabilistic Seismic Demand Models)**

Kırılma eğrilerinin elde edilmesinde depremin yapıdan talebinin belirlenmesi için olasılık sismik talep modeli (PSDM) oluşturulmaktadır. Bu model depremin yapıdan talebinin bir sarsıntı şiddeti büyüklüğü (IMs) cinsinden elde edilmesine yaramaktadır. Böylece depremin yapıdan talebi deprem sarsıntısı şiddeti cinsinden ifade edilebilmektedir. PSDM denklem (1) de tanımlandığı şekilde elde edilebilir.

$$P[EDP \geq d | IM] = 1 - \phi\left(\frac{\ln(d) - \ln(\widehat{EDP})}{\beta_{EDP|IM}}\right) \quad (1)$$

Denklem 1 depremin yapıdan talebi (EDP)' nin yapının hasar limit durumu  $d$  den büyük olma olasılığını ifade etmektedir. Burada EDP analitik yöntemler yardımı ile doğrusal veya doğrusal olmayan analizler kullanılarak elde edilebilmektedir. EDP' nin elde edilmesinde en gerçekçi sonuç doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yardımı ile elde edilmektedir. Bu analizler rasgele seçilen deprem kayıtları yardımı ile yapılabileceği gibi belirli sarsıntı şiddeti değerine oranlanmış deprem kayıtları yardımı ile de yapılabilmektedir. EDP ile IMs arasındaki ilişti kuvvet modeli ile denklem (2) deki gibi ifade edilebilmektedir (Cornell ve dig., 2002a).

$$\widehat{EDP} = aIM^b \quad (2)$$

Burada EDP depremin yapıdan talebini, IM ise deprem sarsıntı şiddetini ifade etmektedir.  $a$  ve  $b$  değerleri ise doğrusal regresyon analizi sabitleridir. Denklem (2) deki kuvvet modelinde eşitliğin her iki tarafının da logaritması alınırsa denklem (3) teki gibi doğrusal bir ifade elde edilmiş olur.

$$\ln(EDP) = \ln(a) + b\ln(IM) \quad (3)$$

Denklem (1) de  $\phi$  standart normal dağılımı ifade etmektedir.  $\beta_{EDP|IM}$  ise koşullu standart sapmayı ifade etmektedir. Olasılık talep modelinde koşullu standart sapma ne kadar büyük ise deprem talebindeki belirsizlik o kadar artmaktadır.  $\beta_{EDP|IM}$  denklem (4) yardımı ile belirlenebilir (Padgett ve dig., 2008)(Padgett ve DesRoches, 2008).

$$\beta_{EDP|IM} \cong \sqrt{\frac{\sum (\ln(d_i) - \ln(aIM^b))^2}{N-2}} \quad (4)$$

### **Maksimum Olasılık Yöntemi ile Kırılgnlık Eğrilerinin Elde Edilmesi (Deriving Fragility Curve Using Maximum Likelihood Method)**

Kırılgnlık eğrisi yaygın bir şekilde iki parametrelili logaritmik normal dağılım fonksiyonu yardımı ile tanımlanmaktadır. Kırılgnlık eğrisinin elde edilebilmesi için bu iki parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Kırılgnlık parametrelerinin belirlenmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden faydalanılmaktadır. Kırılgnlık eğrisi parametrelerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan iki istatistiki yöntem literatür'deki çalışmalarda yer almaktadır. Moment yönteminde analitik verilere ait standart sapma ve ortalama (moment) değerleri elde edilmektedir. Maksimum olasılık yönteminde ise analiz verileri sonucunda elde edilen verilere en büyük olasılıkla yakınsayan eğriyi tanımlayan parametreler bulunmaktadır (Baker, 2015).

$$P(C | IM = x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right) \quad (5)$$

Denklem (5) te yer alan  $P(C | IM = x)$  ifadesi deprem sarsıntı şiddetin IM in  $x$  değerine eşit olma durumunda yapıda hasar oluşma olasılığını ifade etmektedir.  $\Phi$  birikimli standart normal dağılım fonksiyonunu ifade etmektedir,  $\theta$  ve  $\beta$  ise ortalama ve standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Yapılan analizler sonucunda bilinmeyen  $\theta$  ve  $\beta$  değerleri hesaplanmaktadır.

Kırılgnlık fonksiyon sabitlerinin belirlenmesi için etkili bir şekilde kullanılan yöntemlerden bir tanesi de artımsal dinamik itme analizi (IDA) yöntemidir. Bu yöntemde bir gurup gerçek ya da sanal deprem kaydı seçilir ve seçilen deprem kayıtları hafif sarsıntı şiddetinden büyük sarsıntı şiddetine

doğru kademeli bir şekilde oranlanarak her bir sarsıntı şiddeti için yapıda oluşan tepkiler belirlenir. Yapı tamamen göçme durumuna ulaşıncaya kadar sarsıntı şiddeti değeri artırılarak oranlamalara ve analizlere devam edilir. Artımsal itme analizinin yaygın bir şekilde kullanılmasına karşın bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, deprem kayıtlarının yapıda tamamen göçmeye neden olacak sarsıntı şiddeti değerine kadar oranlanması dolayısı ile yapılması gereken analiz miktarının artması ve analiz zamanının artmasıdır. İkincisi sarsıntı şiddetinin çok büyük değerleri gerçek hayatta gözlenme olasılığı çok düşük olan depremleri ifade etmektedir dolayısı ile yapıların bu büyüklükte depremler ile karşılaşma ihtimali yok denecek kadar azdır. Son olarak ise küçük sarsıntı şiddetine sahip deprem kayıtlarını büyük sarsıntı şiddetlerine oranlamak deprem kayıtlarının karakteristik özelliklerindeki farklılıklar göz önüne alındığı zaman gerçekçi sonuç vermeyeceği görülmektedir. Bu durumda sınırlandırılmış artımsal dinamik itme analizi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Deprem mühendisliğinde sarsıntı şiddetinin yapının bulunduğu bölgede gözlemlenebilir değerlerde olduğu durumlara karşı gelen veriler daha değerlidir. Bu nedenle analizlerde kullanılacak deprem verileri belirli bir sarsıntı şiddeti değerine kadar oranlanması ile büyük analiz yükleri ve diğer olumsuz durumlar hafifletilmiş olacaktır.

Denklem (6) maksimum olasılık fonksiyonu ile kırılma eğrisinin tanımlanmasını ifade etmektedir. Denklem (7) de verilen ifadede eşitliğin sağ tarafı için en büyük değeri veren  $\theta$  ve  $\beta$  değerleri belirlenmektedir. Bu değerlere göre elde edilen kırılma eğrisi analizler sonucu elde edilen talep durumlarına en uygun eğriyi vermektedir.

$$Likelihood = \phi \left( \frac{\ln(IM_i / \theta)}{\beta} \right) \quad (6)$$

$$\{\hat{\theta}, \hat{\beta}\} = \arg \max_{\theta, \beta} \sum_{j=1}^m \left[ \ln \phi \left( \frac{\ln(IM_j / \theta)}{\beta} \right) \right] + [n - m] \ln \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\ln(IM_{\max} / \theta)}{\beta} \right) \right] \quad (7)$$

### **Köprünün Kullanım ve Güvenlik Limit Durumlarının Belirlenmesi (Determining Serviceability and Damage Limit State of the Bridge)**

Köprülerde oluşan hasarların limit durumlarının belirlenmesi köprünün deprem performansının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Her bir köprü elemanı diğerlerinden farklı karakteristik özelliklere sahip olabilmektedir, bu nedenle köprü elemanlarında ayrı ayrı meydana gelen hasarlar ile köprünün tamamında meydana gelen hasarlar farklılık gösterebilmektedir. Köprü elemanlarında meydana gelen hasarlar tarif edilirken HAZUS-MH (FEMA,2003) te tanımlanan dört farklı hasar durumundan faydalanılmıştır. Bunlar, hafif hasar, orta hasar, ileri hasar ve göçme durumudur. Her bir hasar sınıfı köprünün kullanım performansında belirli bir kayba ulaşması ve köprünün onarılabilmesi için gerekli süreye göre belirlenmektedir. Böylece farklı elemanlarda meydana gelen hasar durumları değerlendirilirken oluşan hasar durumlarının köprü üzerindeki etkileri dikkate alınmış olmaktadır. Yapılan analitik çalışmalar sonucunda her bir köprü elemanına ait kırılma eğrisi ayrı ayrı elde edilmektedir böylece köprü elemanlarının ayrı ayrı deprem performansları ile değerlendirme yapılabilmekte ve etkili bir güçlendirme yapabilmek için hangi elemanlara öncelik tanınması gerektiği ile ilgili değerlendirme yapılabilmektedir.

Bu çalışmada Türkiye demiryolu hattı üzerinde yer alan tipik basit mesnetli dolu gövdeli kiriş yardımı ile teşkil edilmiş tek açıklıklı bir köprü ele alınmıştır. Köprü bir tarafında sabit diğer tarafında hareketli mesnetler yardımı ile teşkil edilmiştir. Bu mesnetler karayolu köprülerinde kullanılan tipik kısa tip çelik mesnetler ile benzer özelliktedirler. Kısa tip çelik mesnetlerin doğrusal olmayan davranışları Mander ve arkadaşları tarafından deneysel olarak belirlenmiştir (Mander ve diğ., 1996) ve ileriki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde bahsedilmektedir. Köprü mesnetlerine ait hasar limitleri sınır durumları Çizelge (1) de gösterilmiştir.



**Çizelge 1.** Mesnet yer değiştirme hasar limitleri (Nielson 2005)*Table 1. Bearing displacement damage Limit States (Nielson 2005)*

Birleşenler	Hasar limitleri			
	Hafif	Orta	İleri	Göçme
Kısa tip çelik sabit mesnet-Boy(mm)	6	20	40	255
Kısa tip çelik sabit mesnet-En(mm)	6	20	40	255
Kısa-tip çelik hareketli mesnet-Boy(mm)	50	100	150	255
Kısa-tip çelik hareketli mesnet-En(mm)	6	20	40	255

Kısa tip çelik sabit mesnet için boyuna doğrultuda 6mm yer değiştirdiği durumda mesnedin oturduğu beton ayak üzerinde çatlaklar oluşmaktadır ve hafif hasar olarak tanımlanmıştır. 20 mm yer değiştirme olduğu durumda ise mesnette akmalar meydana gelmekte ve ankraj bulonlarında büyük yer değiştirmeler gözlemlenmekte ve orta hasar olarak tanımlanmaktadır. 40 mm lik yer değiştirme meydana geldiğinde köprünün mesnetten düştüğü ya da mesnette büyük yer değiştirmeler meydana geldiği gözlemlenmekte ve ileri hasar olarak tanımlanmaktadır. 255 mm lik yer değiştirme meydana geldiğinde köprünün ayak ya da yaklaşım üzerinden düştüğü kabul edilmekte ve göçme sınır durumu olarak tanımlanmaktadır.

Köprü üst yapısı dikkate alındığı takdirde yapma çelik elemanlardan teşkil edildiği görülmektedir. Yüklerin taşıyıcı sistem üzerinde aktarımı sırası ile raylardan traversler aracılığı ile boylamalara oradan enlemeler ve ana kirişlere daha sonrada mesnetler aracılığı ile zemine şekildedir. Yük aktarım esnasında köprü elemanları eğilme etkisine maruz kaldığı görülmektedir. Eğilme etkisi altındaki çelik elemanların hasar sınır durumları elemanlarda meydana gelen dönmelere bağlı olarak Çizelge (2) de belirtilmiştir. (Mohseni, 2012).

**Çizelge 2.** Çelik elemanların moment-eğrilik hasar sınır değerleri.*Table 2. Moment-Rotation damage state of steel frame*

Birleşenler	Hasar limitleri			
	Hafif	Orta	İleri	Göçme
Kiriş dönme sünekliği $\mu_{\phi}$	1	3	6	8

Kullanım sınır koşulları ise bu çalışmada göz önüne alınan diğer bir hasar sınır durumudur. 1999 Kocaeli depremi esnasında Haydarpaşa-İstanbul tren hattı üzerinde hareket halinde olan bazı trenler ray hattından çıkmış ve bakım istasyonlarındaki bazı trenler ise devrilmiştir (Byers, 2004). Türkiye'deki demir yolu hattı incelendiği takdirde bazı bölgelerde köprüler arasındaki mesafenin çok az olduğu görülmektedir, bu ise deprem esnasında hareket halindeki bir trenin köprü üzerinde yer alma olasılığını arttırmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada trenin köprü üzerinde olması durumu incelenmiş ve bu durumda EN 1990 Annex 2 de demiryolu köprülerinin kullanım sınır koşulları için belirlenen sınır durumların aşılmış aşılmadığı değerlendirilmiştir. EN1990 annex 2 de farklı tren hızları için yanal yer değiştirme sınırları Çizelge (3) teki gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 3.** Kullanım durumu yanal yer değiştirme sınır koşulları*Table 3. Serviceability lateral displacement limit state*

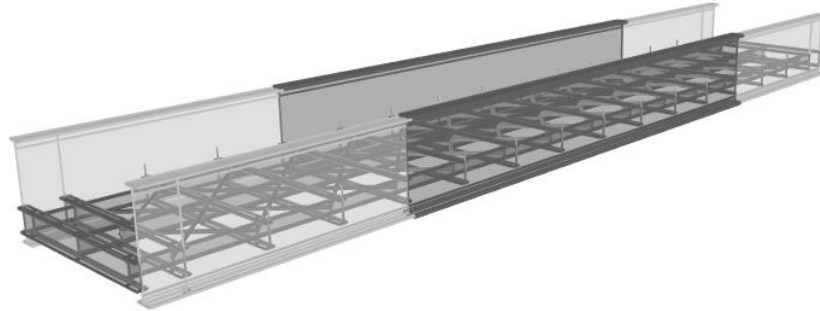
Hız Değeri V (km/h)	Dönme (rad)	Yarıçap (1/m)
$V \leq 120$	0.0035	1700
$120 < V \leq 200$	0.0020	6000
$V > 200$	0.0016	14000

Deprem etkisi altında köprüde oluşan yer değiştirmeler dikkate alınarak kullanım koşulları için kırılgenlik eğrileri elde edilmiştir.

## SEÇİLEN KÖPRÜNÜN TANIMI (DESCRIPTION OF CASE BRIDGE)

Türkiye demir yolu hatlarının imalatı İngiltere, Fransa ve Almanya gibi Avrupa ülkelerinin katkıları ile tarım ürünlerinin ve değerli madenlerin limanlara taşınması için yapılmaya başlanmıştır. Türkiye'deki ilk demir yolu hattı 1856 yılında İzmir ve Aydın arasında bir İngiliz firması tarafından inşa edilmiştir ve uzunluğu 130 km dir (Çağlıyan ve Yıldız, 2013). Türkiye'deki demiryolu hatları bakım onarım ve işletme kolaylığı bakımından 7 bölgeye ayrılmıştır. Toplam demiryolu hattı uzunluğu 8722 km'dir. Demiryolu hatlarında toplam 25443 adet menfez ve köprü yer almaktadır ve bu yapıların %81 1960 öncesinde inşa edilmiştir. (Çağlıyan ve Yıldız, 2013) Bu nedenle demiryolu hatları üzerinde tarihi değere sahip birçok yapı yer almaktadır.

Bu çalışmada Manisa-Uşak-Dumlupınar-Afyon hattı üzerinde yer alan tek açıklıklı basit mesnetli bir çelik demiryolu köprüsü ele alınmıştır. Köprü iki ana kiriş tarafından taşınmaktadır, ana kirişlere enleme kirişleri bağlanmakta enleme kirişlerine de boylama kirişleri bağlanmaktadır. Boylama kirişlerinin üzerine çelik tabla yardımı ile balast teşkil edilmiş, traversler balast taşlarının üzerine yerleştirilmiştir. Traverslerin üzerine ise raylar teşkil edilmiştir. Böylece tren yükleri ana kirişlere sıra ile aktarılmakta ve ana kirişlerden mesnetlere aktarılmaktadır. Köprü boyu 22,4 m'dir. Ana kiriş yüksekliği 1.82 m'dir ve ana kiriş yapma bir kiriştir ve çelik plakalar ile korniyerlerin perçinler yardımıyla birleştirilmesi yoluyla teşkil edilmiştir. Boylama ve enleme elemanları IPN450, IPN300, ve UPN240 hadde profilleri yardımı ile teşkil edilmiştir. Köprü üzerinde teşkil edilen çelik tabla ve balast taşları aynı zamanda köprünün yanal rijitliğine katkı sağlamakta ve köprü kütlesini arttırdığı için köprünün dinamik davranışını etkilemektedir. Şekil 1 de köprünün üç boyutlu model görüntüsü yer almaktadır.



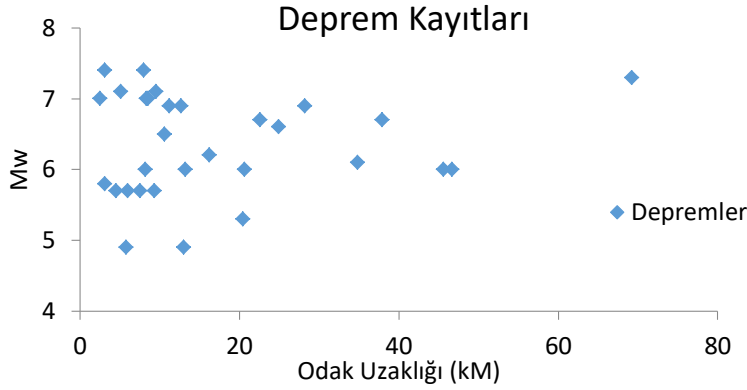
Şekil 1. Köprünün 3D model görünümü

*Figure 1. 3D model view of bridge*

## KÖPRÜ MODELİ VE ANALİZİ (ANALYSIS OF BRIDGE MODEL)

### Deprem Kayıtlarının Seçilmesi (Selection of Earthquake Record)

Analitik yöntemler ile kırılma eğrilerinin elde edilebilmesi için köprünün deprem etkisi altındaki davranışı doğrusal veya doğrusal olmayan analizler yardımı ile belirlenmelidir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler doğrusal yöntemlere göre daha gerçekçi sonuç verdiği için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Artımsal dinamik itme analizi de doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz prosedürlerinden biridir. Artımsal dinamik itme analizinde deprem kaydı gurubu belirli deprem sarsıntı şiddeti değerlerine oranlanır ve her bir sarsıntı şiddeti büyüklüğü için analizler yapılarak köprünün deprem taleplerinin belirlenir (Mackie ve Nielson, 2009)(Mackie ve dig., 2008). Yapılan analizlerde seçilen deprem kayıtlarının karakteristik özellikleri köprüde oluşan deprem talebini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle deprem kayıtlarının seçilmesi gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için önemlidir.



Şekil 2. Deprem kayıtlarının moment büyüklük ve odak uzaklık dağılımları

Figure 2. Moment magnitude and central distance distribution of earthquake record

Bu çalışmada 3 farklı zemin sınıfından 10 ar adet gerçek deprem kaydı seçilmiştir. Deprem kayıtları Türkiye’de de gözlenen yanal atımlı depremlerden seçilmiştir. Deprem kayıtları seçilirken farklı moment büyüklükleri, maksimum ivme değeri PGA ve deprem odak uzaklıkları dikkate alınmıştır. Seçilen deprem kayıtlarına ait PGA değerleri 0.08g-0.78g arasında değişmektedir, moment büyüklük değeri 4,9 ile 7,4 arasında değişmektedir, ve deprem odak uzaklığı ise 2.5km ile 69,2 km arasında değişmektedir. Şekil (2) de seçilen deprem kayıtlarının moment büyüklükleri ile odak uzaklıkları arasındaki ilişki gösterilmektedir, ayrıca deprem kayıtlarının zemin sınıflarına göre dağılımları, PGA, odak uzaklık ve moment büyüklük değerleri Çizelge 4 te belirtilmiştir. Seçilen deprem kayıtları PGA 0.1g ile 1.0g arasında oranlanarak deprem analizleri yapılmıştır. Toplamda 300 deprem kaydı için analiz yapılmıştır.

### Köprünün 3 Boyutlu Analitik Modelinin Oluşturulması (Deriving 3-D Analytical Model of Bridge)

Köprü modeli oluşturulurken çubuk elemanlardan faydalanılarak imalat projesine ve arazi ölçümlerinde elde edilen verilere göre modellemeler yapılmıştır. Köprü elemanları ve mesnetlerinin geometrik koşulları dikkate alınarak daha gerçekçi model elde edebilmek için modelleme esnasında bu farklılıklar modele yansıtılmıştır. Örneğin ana kirişler ile enleme kirişlerinin merkezleri arasında fark modelde link elemanlar yardımı ile tanımlanmıştır.

Modelleme esnasında traverslerin ve rayların ağırlıkları ölü yük olarak boylama elemanlarının üzerine yayılı yük olarak etkilmiştir. Birleşim levhalarının ve bayrak levhalarının ağırlıkları ihmal edilmiştir. Köprünün çelik malzemesi ST37 olarak tanımlanmıştır. Modal analiz esnasında köprü üzerinde sadece ölü yükler göz önüne alınmıştır ancak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılırken ölü yükler ile birlikte tren yükleri de dikkate alınmıştır. Köprü modeli Sap 2000 sonlu elemanlar programı yardımı ile 242 kiriş, 40 link ve 152 düğüm noktası kullanılarak teşkil edilmiştir.

Zaman tanım alanında analizler esnasında malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış dikkate alınmıştır. Plastik mafsallar Sap 2000 programının içerisinde yer alan fiber PMM plastik mafsalları kullanılarak her bir kiriş elemanın başlangıç, orta ve bitiş noktalarında tanımlanmıştır. Geometri bakımından doğrusal olmayan davranışın analizinde büyük yer değiştirmeler kuralından faydalanılmıştır zaman tanım alanında analiz için Newmark direk iterasyon yöntemi kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının iki yatay ve bir düşey olmak üzere üç doğrultusu için de analizler yapılmıştır.

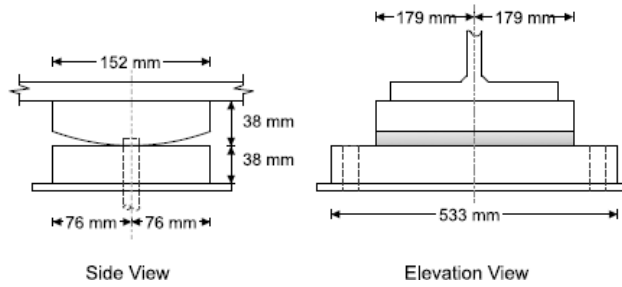
**Çizelge 4.** Zemin sınıflarına göre seçilen deprem kayıtları  
*Table 4. Selected earthquake record by ground classification*

A zemin sınıfına ait deprem verileri						B zemin sınıfına ait deprem verileri						C zemin sınıfına ait deprem verileri					
Deprem	Tarih	Moment		Yer	Odak	Deprem	Tarih	Moment		Yer	Odak	Deprem	Tarih	Moment		Yer	Odak
		Büyüklik	Kayıt					Büyüklik	Kayıt					Büyüklik	Kayıt		
		(M <sub>w</sub> )		(g)	(km)			(M <sub>w</sub> )		(g)	(km)			(M <sub>w</sub> )		(g)	(km)
<b>Morgan Hill</b>	24.04.1984	6.2	G01320	0.098	16.2	<b>Coyote Lake</b>	06.08.1979	5.8	G06230	0.4339	3.1	<b>Coyote Lake</b>	06.08.1979	5.7	G02140	0.339	7.5
<b>Coyote Lake</b>	06.08.1979	5.7	G01320	0.132	9.3	<b>Northridge</b>	17.01.1994	6.7	ORR090	0.5683	22.6	<b>Coyote Lake</b>	06.08.1979	5.7	G03050	0.272	6
<b>Landers</b>	28.06.1992	7.3	<u>ABY090</u>	0.146	69.2	<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	7.1	CLS000	0.6437	5.1	<b>Coyote Lake</b>	06.08.1979	5.7	G04270	0.248	4.5
<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	6.9	G01090	0.473	11.2	<b>Livemor</b>	27.01.1980	7.4	LMO355	0.252	8	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	7	I-ELC180	0.313	8.3
<b>N. Palm Springs</b>	08.07.1986	6	AZF225	0.099	20.6	<b>N. Palm Springs</b>	08.07.1986	6	DSP000	0.331	8.2	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	7	H-AEP045	0.327	8.5
<b>N. Palm Springs</b>	08.07.1986	6	ARM360	0.129	46.7	<b>Northridge</b>	17.01.1994	6.7	TPF000	0.364	37.9	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	7	H-BCR230	0.775	2.5
<b>N. Palm Springs</b>	08.07.1986	6	H02090	0.093	45.6	<b>San Fernando</b>	02.09.1971	6.6	ORR021	0.324	24.9	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	6.5	H-CX0225	0.275	10.6
<b>Whittier Narrows</b>	01.10.1987	5.3	MTW000	0.123	20.4	<b>Whittier Narrows</b>	10.01.1987	6	ALH180	0.333	13.2	<b>Cape Mendocino</b>	25.04.1992	7.1	PET090	0.662	9.5
<b>Anza (Horse Canyon)</b>	25.02.1980	4.9	PTF135	0.131	13	<b>Kocaeli</b>	17.08.1999	7.4	SKR090	0.376	3.1	<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	6.9	HCH090	0.247	28.2
<b>Anza (Horse Canyon)</b>	25.02.1980	4.9	TVY135	0.081	5.8	<b>Victoria, Mexica</b>	09.06.1980	6.1	CPE045	0.62	34.8	<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	6.9	G02000	0.367	12.7



Köprü davranışının belirlenmesinde mesnetlerin davranışının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Mevcut çelik demiryolu köprüsü bir tarafı hareketli (roller) diğer tarafı sabit mesnet ile teşkil edilmiştir. Karayolu köprülerinde kullanılan kısa tip çelik mesnetlerin doğrusal olmayan davranışları ayrıntılı bir inceleme yapılarak Mander, (1996) tarafından belirlenmiştir. Karayolu köprülerinde kullanılan kısa tip çelik mesnetler demiryolu köprülerinde kullanılan mesnetlere benzer davranış sergilemektedir. Bu çalışmada mesnet davranışları tanımlanırken kısa tip çelik mesnetlere ait davranış özelliklerinden faydalanılmıştır.

Kısa tip sabit mesnetler her iki doğrultuda yer değiştirmelere izin vermezken boyuna doğrultuda dönmelere izin vermektedir. Boyuna yönde bulon deliklerinden dolayı 2,0 mm serbest yer değiştirmeye izin verilmektedir daha sonra başlangıç rijitliği 210 kN/mm olacak şekilde mesnet hareketi gerçekleşmektedir. Enine doğrultuda ise bulon deliklerinden dolayı 1,5 mm serbest harekete izin verilmektedir, serbest hareket sınırına ulaşıldığı zaman 350kN/mm rijitliğe sahip olacak şekilde yer değiştirmeler gerçekleşmektedir. Şekil 3 te kısa tip çelik sabit mesnetlere ait şematik görüntü yer almaktadır. Kısa tip çelik sabit mesnetlere ait kuvvet yer değiştirme grafikleri ise Şekil 4 te görüldüğü gibi Nielson tarafından elde edilmiştir (Nielson, 2005).



Şekil 2. Kısa -Tip Sabit Mesnet (Nielson, 2005)

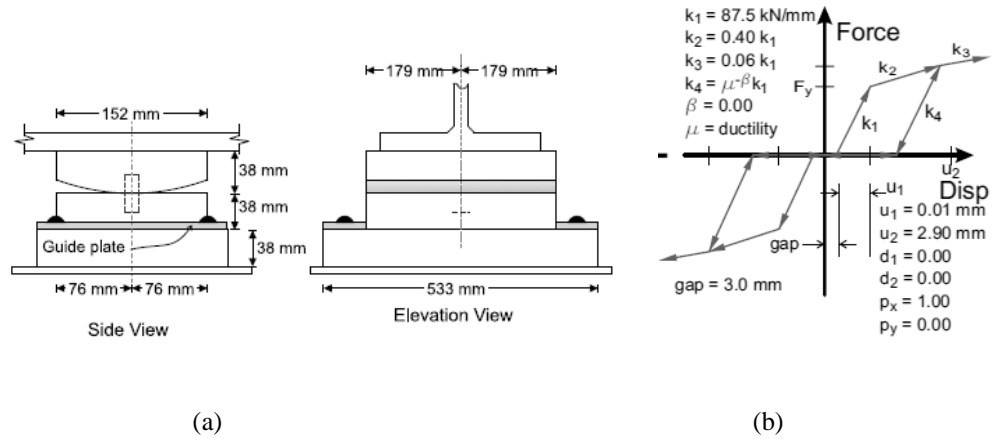
Figure 3. Low-Type fixed bearing (Nielson, 2005)



Şekil 3. a) Boyuna doğrultu için kuvvet-yer değiştirme ilişkisi b) Yatay doğrultu için kuvvet-yer değiştirme ilişkisi (Nielson, 2005)

Figure 4. a) Longitudinal direction force displacement graphic b) Transverse direction force displacement graphic. (Nielson, 2005)

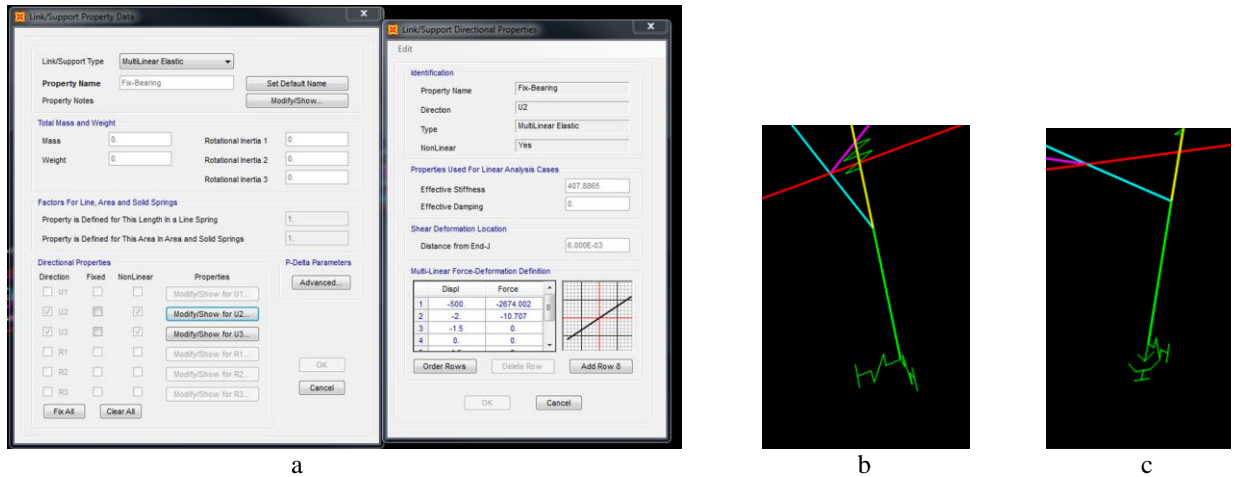
Kısa tip hareketli mesnetler boyuna doğrultuda yer değiştirmeye izin verirken enine doğrultuda yer değiştirmeye izin vermemektedir. Boyuna doğrultuda bulon deliklerinden dolayı 3.0mm serbest yer değiştirmeye izin verilmektedir, serbest yer değiştirmeden sonra 87,5 kN/mm rijitlik ile mesnet yer değiştirmeleri başlamaktadır. Enine doğrultuda mesnet ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı  $\mu = 0.35$  olarak belirlenmiştir. Kısa tip hareketli mesnetlere ait şematik görüntü ve kuvvet yer değiştirme ilişkisi Şekil 5 te yer almaktadır (Nielson 2005).



Şekil 4. a) Kısa tip hareketli mesnet b) Kısa tip hareketli mesnet boyuna doğrultu kuvvet yer değiştirme ilişkisi (Nielson 2005).

Figure 5. a) Low-Type steel sliding bearing b) Low-Type steel sliding bearing longitudinal direction force displacement graphic. (Nielson 2005)

Mesnetlerin doğrusal olmayan davranışları multi-linear elastik link elemanlar ve sürtümlü link elemanlar yardımı ile modellenmiştir. Bulon deliklerinden kaynaklanan serbest yer değiştirmeler modellemelerde dikkate alınmıştır. Şekil 6 da Sap2000 programında mesnetlerin tanımlandığı ekran görüntüleri ve mesnet görüntüleri yer almaktadır.

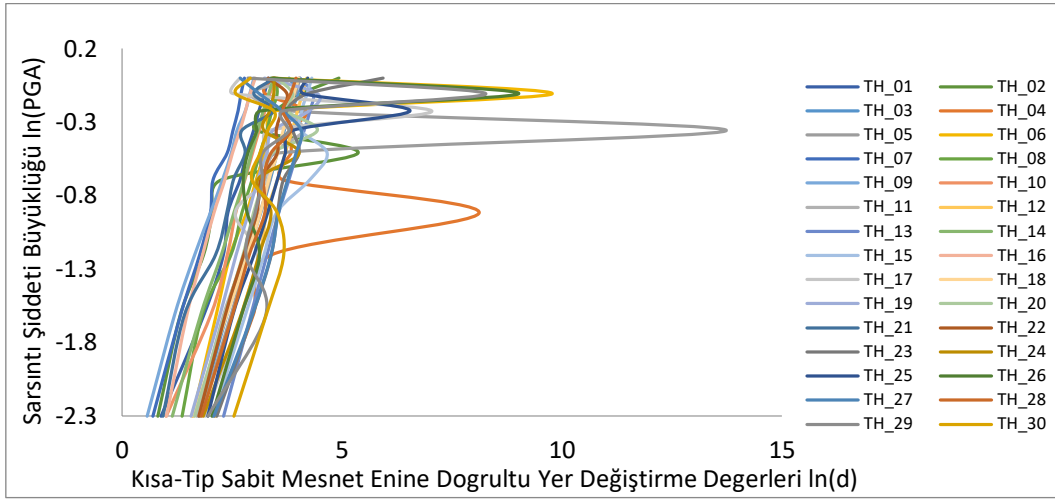


Şekil 5. a) Sap2000 mesnet tanımlama ekranı, b) Sap2000 kısa tip çelik sabit mesnet görünüşü, c) Sap2000 kısa tip çelik hareketli mesnet görüntüsü

Figure 6. a) Sap2000 bearing definition screen view b) Sap2000 Low-Type steel fix bearing view c) Sap2000 Low-Type steel sliding bearing view

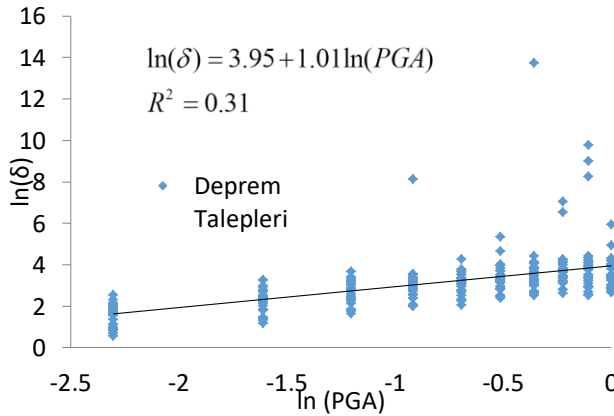
### Artımsal İtme Analizi İle Köprü Talebinin Belirlenmesi.(Determining response of bridge using Incremental Dynamic Analysis)

Artımsal itme analizi seçilen belirli bir grup deprem kaydının farklı sarsıntı şiddeti değerlerine oranlanması ve analizlerin bu sarsıntı şiddeti değerleri için yapılması ile elde edilmektedir. Artımsal itme analizi ile köprünün deprem talebi belirlenmektedir. Bir deprem kaydı küçük sarsıntı şiddeti değerlerinden büyük sarsıntı şiddeti değerlerine oranlandığı zaman köprüde oluşan yer değiştirme, iç kuvvetler ve dönmeler gibi taleplerin değiştiği görülmektedir. Artımsal itme analizi ile bu artış doğrusal olmayan dinamik yöntem ile belirlenmektedir.



Şekil 6. Kısa tip sabit mesnet enine doğrultu için artımsal dinamik itme analiz sonuçları  
 Figure 7. Incremental dynamic analysis result for Low-Type steel fix bearing transverse direction

Şekil (7) da artımsal itme analizi sonucunda Kısa tip çelik mesnet Enine doğrultusu için deprem sarsıntı şiddeti değerlerine karşılık elde edilen yer değiştirme değerleri logaritmik tabanda gösterilmiştir. Elde edilen veriler incelendiği takdirde köprü mesnetlerinin birçok deprem analizinde doğrusal kısımda kaldığı görülmektedir. Yapılan analizlerin büyük bölümü için sarsıntı şiddeti değerinin artması ile mesnetlerde meydana gelen yer değiştirmelerin arttığı görülmektedir ancak bazı durumlarda sarsıntı şiddetinin değerinin artması durumunda mesnette meydana gelen yer değiştirmelerin azaldığı görülmektedir. Elde edilen veriler deprem kayıtlarının karakteristik özelliklerinin analiz sonuçları üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir ve deprem performansının belirlenmesinde seçilen deprem verilerinin büyük öneme sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Kısa tip çelik mesnet olasılık sismik talep modeli  
 Figure 8. Low-Type steel fix bearing probabilistic seismic demand model

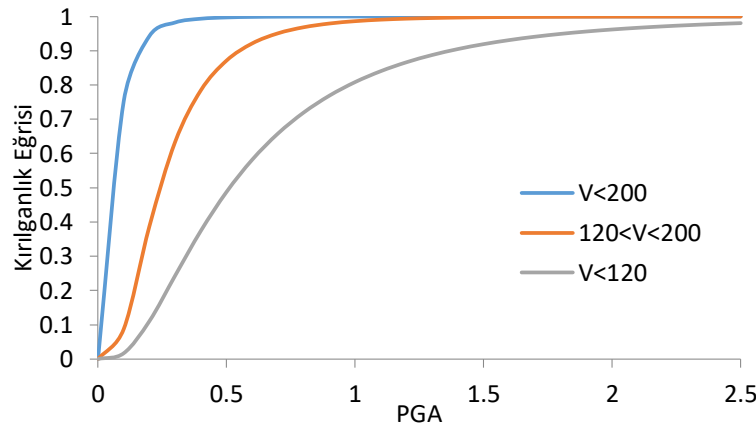
Artımsal dinamik itme analizi sonucunda elde edilen olasılıksal sismik talep modeli Şekil (8) de görülmektedir. Her bir sarsıntı şiddeti için 30 farklı deprem kaydı oranlanarak bu sarsıntı şiddetine karşı gelen deprem talebi belirlenmiştir. Deprem kayıtlarının belirli sarsıntı şiddeti değerlerine oranlanması ile olasılıksal olarak eşit örnekleme yapmaya sahip veri gurupları elde edilmiştir elde edilen verilerin ortalama ve standart sapma değerlerinden faydalanılarak olasılık sismik talep modeli oluşturulmuştur.

## KIRILGANLIK EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ (DERIVATION FRAGILITY CURVE)

Kırılabilirlik eğrileri bölüm 2 de belirtildiği üzere iki parametrelili log-normal dağılım fonksiyonu yardımı ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kırılabilirlik eğrisi parametreleri maksimum olasılık yöntemi ile artımsal dinamik itme analizi verilerinden faydalanılarak elde edilmiştir.

### Kullanım Limit Durumlarına Göre Kırılabilirlik Eğrilerinin Elde Edilmesi (Deriving Fragility Curve For Serviceability Limit States)

Türkiye’ de ki demiryolu hatlarının deprem performanslarının belirlenebilmesi için demiryolu köprülerinin deprem performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Köprüler demiryolu hattı üzerinde hat uzunluğunun küçük bir kısmını oluştursalar bile maliyet açısından bakıldığında önemli bir paya sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca köprüler demiryolu hattı üzerindeki en kırılabilir elemanlardır. Dolayısı ile demiryolu köprülerinin performansı hat kullanımı ve güvenliği açısından anahtar role sahiptir. 1999 Kocaeli depreminde hareket halindeki ve bakım istasyonundaki bazı trenlerin devrilmiştir. Demiryolu hattı üzerindeki yer-değiştirmeler, raylarda meydana gelebilecek kopmalar ve köprülerde meydana gelebilecek yer değiştirme ve hasar durumları seyahat güvenliği açısından önem taşıdığı görülmektedir. Bu nedenle deprem etkisi altında tren yükleri köprü üzerinde kabul edilerek yapılan dinamik analizler sonucunda köprü yanal yer değiştirme EN 1990 da belirtilen sınırları geçip geçmediği irdelenmiştir.



Şekil 8. Kullanım sınır koşullarına göre kırılabilirlik eğrileri

Figure 9. Fragility curve for serviceability limit state

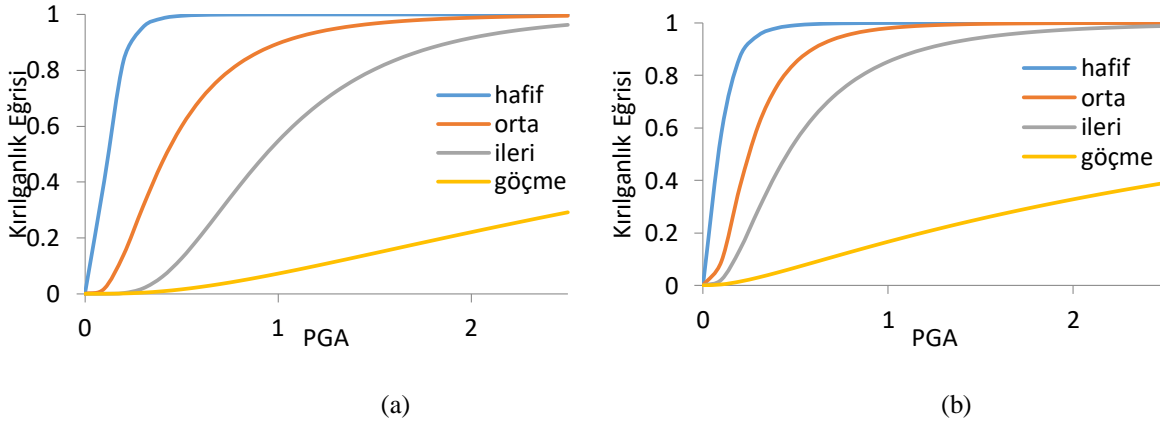
Şekil (9) de basit mesnetli çelik demiryolu köprüsüne ait kullanım limit durumlarına göre elde edilen kırılabilirlik eğrileri yer almaktadır. Elde edilen eğriler incelendiği takdirde kullanım hızının büyük olduğu durumlarda küçük sarsıntı şiddeti değerleri için %50 olasılıkla kullanım sınır durumunun aşıldığı ancak kullanım hız limitinin düşük olduğu durumlarda ise %50 olasılıkla kullanım limitinin aşılması için daha büyük sarsıntı şiddetine ulaşılması gerektiği gözlemlenmiştir. %50 olasılıkla kullanım limitinin aşılmasına neden olan sarsıntı şiddeti değerleri  $V < 200$ ,  $120 < V < 200$ , ve  $V < 120$  için sırası ile 0.06g, 0.25g ve 0.51g olarak belirlenmiştir.

### Köprü Elemanlarının Kırılabilirlik Eğrilerinin Elde Edilmesi ( Deriving Fragility Curve for Bridge Component)

Köprü elemanlarının deprem performanslarının belirlenebilmesi için iki bölümde incelenmiştir. Bunlar mesnetler ve üst yapı elemanlarıdır. Mesnetler sabit ve hareketli mesnet olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Önceki bölümlerde hareketli mesnetler, sabit mesnetler ve eğilme elemanları için hasar sınır durumları HAZUS hasar sınıflarına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen sınır durumları



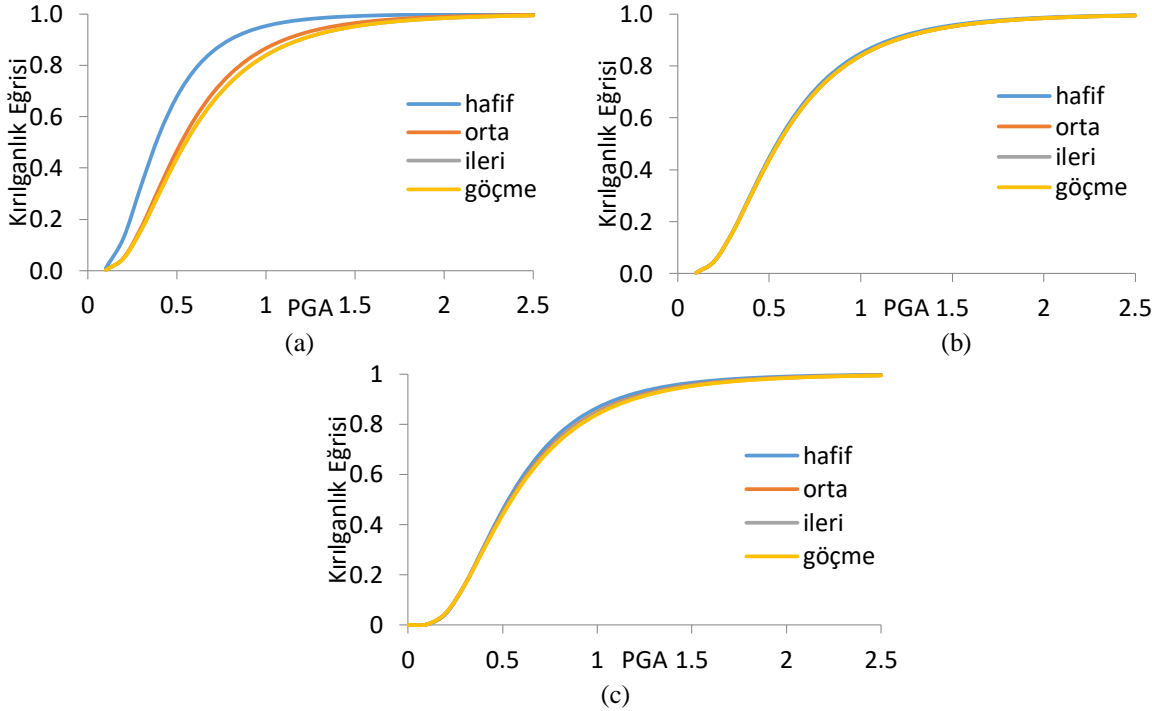
kullanılarak maksimum olasılık yöntemi yardımı ile köprü elemanlarına ait kırılabilirlik eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 9. a) Sabit mesnet enine doğrultu için üretilen kırılabilirlik eğrisi b) Kayıcı mesnet boyuna doğrultu için üretilen kırılabilirlik eğrisi

Figure 10. a) Fragility curve for fix bearing transverse direction b) Fragility curve for sliding bearing transverse direction

Sabit ve hareketli mesnetler için elde edilen kırılabilirlik eğrileri Şekil (10) de görülmektedir. Belirlenen dört farklı hasar sınıfı için 4 farklı kırılabilirlik eğrisi elde edilmiştir. Sabit mesnet enine doğrultu ele alındığı zaman % 50 olasılıkla hasar limit durumun aşılmasına neden olan sarsıntı şiddeti değerleri hafif, orta ve ileri hasar durumunu gösterecek şekilde 0.123g, 0.42g ve 0.93g dir. Hareketli mesnet boyuna doğrultu ele alındığı zaman %50 olasılıkla hasar limit durumun aşılmasına neden olan sarsıntı şiddeti değeri hafif, orta ve ileri hasar durumunu gösterecek şekilde 0.086g, 0.25g ve 0.46g dir. Elde edilen kırılabilirlik eğrileri incelendiği durumda hareketli mesnet boyuna doğrultunun sabit mesnet enine doğrultudan daha kırılabilir olduğu belirlenmiştir. Olası bir deprem senaryosunda hareketli mesnedin hasar görme olasılığı daha yüksektir.



Şekil 10. a) IPE 300 boylama elemanına ait kırılabilirlik eğrileri, b) IPN450 enleme elemanına ait kırılabilirlik eğrileri, c) UPN240 boylama elemanına ait kırılabilirlik eğrileri

Figure 11. a) Fragility curve of IPE 300 stringer element b) Fragility curve of IPN450 transverse element c) Fragility curve of UPN240 stringer element.

Köprü elemanlarına ait kırılma eğrileri Şekil (11) a, b ve c de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Köprü enleme ve boylama elemanları ana kirişe göre daha narin olduğu için enleme ve boylama elemanları için elde edilen kırılma eğrileri bu çalışma kapsamında irdelenmiştir. Kırılma eğrileri elde edilirken Sap2000 sonlu elemanlar programı yardımı ile oluşturulan matematiksel model ve yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen dönmelerden faydalanılmıştır. Köprü üzerinde bir eleman plastikleştiği durumda o elemandaki yükler başka elemanlara dağıtılamamaktadır bu nedenle ilk pratikleşmenin oluşumu ile göçme durumunun gözlemlenmesi olasılıkları birbirlerine yakın çıkmaktadır. Yapılan analizler sonucu IPE300 boylama elemanında %50 olasılıkla hafif hasar gözlemlenme olasılığı 0.53g, %50 olasılıkla orta, ileri ve göçme durumu hasarlarının gözlemlenme olasılığı ise yaklaşık 0.32g olarak belirlenmiştir. IPE450 ve UPN240 elemanları için ise %50 olasılıkla hafif, orta, ileri ve göçme hasar durumlarının gözlemlenme olasılığı yaklaşık olarak 0.44g olarak belirlenmiştir.

### SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada Türkiye demiryolu hattı üzerinde yer alan tipik basit mesnetli çelik demiryolu köprüsü ele alınmıştır. Köprü'nün doğrusal olmayan analizlerinin yapılabilmesi için Sap2000 sonlu elemanlar programından faydalanılmıştır. Köprü modeli imalat resimlerinden faydalanılarak gerçeğine uygun bir şekilde yapılmıştır. Köprü mesnetlerinin doğrusal olmayan davranışları ve hasar sınır durumları belirlenmiştir. Ayrıca üst yapıyı oluşturan eğilme elemanlarının hasar sınır durumları ve köprü kullanım hasar sınır durumları da ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Köprü'nün deprem performansının belirlenebilmesi için A,B ve C zemin sınıflarından 30 gerçek deprem kaydı seçilmiş ve bu deprem kayıtları 0.1g ile 1.0g arasında farklı maksimum zemin ivme değerleri için oranlanarak toplam 300 doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda köprü'nün sismik talep modeli elde edilmiştir. Maksimum olasılık yaklaşımından faydalanılarak köprü elemanları için ve kullanım koşulları için kırılma eğrileri ayrı ayrı elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda köprü mesnetlerinin 0.086g gibi küçük sarsıntı şiddeti değerleri için %50 olasılıkla hafif hasara maruz kalabileceği gözlemlenmiştir. Köprü mesnetleri üst yapı elemanlarından daha kırılma eğrileri belirlenmiştir. Olası bir güçlendirme durumunda köprü mesnetlerinin güçlendirilmesinin sistem performansını büyük ölçüde etkileyeceği belirlenmiştir. Üst yapı elemanları için elde edilen kırılma eğrileri incelendiği takdirde %50 olasılıkla hasar oluşması için 0.32g lik sarsıntı şiddeti değerine ulaşılması gerektiği görülmüştür. Üst yapı elemanlarında plastik mafsallardan sonra yüklerin diğer elemanlara aktarılamadığı dolayısı ile hafif hasar ile orta, ileri ve göçme hasar durumlarının oluşma olasılıklarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu da üst yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranış kapasitelerinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Kullanım limit durumlarına göre elde edilen kırılma eğrileri incelendiği zaman düşük kullanım hızları için köprü'nün daha güvenli olduğu belirlenmiştir. Kullanım hız limit durumları  $V < 200$ ,  $120 < V < 200$ , ve  $V < 120$  için %50 olasılıkla limit durumların aşılmasına neden olan sarsıntı şiddeti değerleri sırası ile 0.06g, 0.25g ve 0.51g olarak belirlenmiştir. Bu analizler dikkate alınarak demiryolu hat güvenliğinin artırılması için köprü üzerinde tren kullanım hızlarının sınırlandırılması gerektiği belirlenmiştir.

### BİLGİLENDİRME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TCDD ve TÜBİTAK 114M332 projesi tarafından desteklenmektedir. Bu yazıda geçen görüşler tamamıyla yazarlara ait olup destekleyen kurum, kuruluş ve projelerin görüşlerini yansıtmamaktadır.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

Baker, J. W., 2015, "Efficient Analytical Fragility Function Fitting Using Dynamic Structural Analysis", *Earthquake Spectra*, Vol.31, No.1, pp. 579–599.

- Byers, W. G., "Railroad Lifeline Damage in Earthquakes." *13 th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver*, B.c., Canada, 324-335, 2004
- Chandramohan, R., Lin, T., Baker, J. W., Deierlein, G. G. "Influence of Ground Motion Spectral Shape and Duration on Seismic Collapse Risk." *10th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan, 1-2 Mar 2013.
- Cornell, C. A., Jalayer, F., Hamburger, R. O., Foutch, D., 2002a, "Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Frame Guidelines." *Journal of Structural Engineering*, Vol. 128, pp. 526–533.
- Cornell, C. A., Jalayer, F., Hamburger, R. O., Foutch, D. A., 2002b, "Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines", *Journal of Structural Engineering*, Vol.128, No.4, pp 526–533.
- CSI. SAP2000 V-19, 2017, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*, Berkeley (CA, USA): Computers and Structures Inc.
- Çağlıyan, A., Yıldız, A. B., 2013, "Türkiye ' de Demiryolu Güzergâhları Jeomorfoloji İlişkisi ( Turkey Association of Railway Routes-Geomorphology )." *Marmara Coğrafya Dergisi*, Vol. 28. July pp. 466–486.
- Dolsek, M., 2009, "Incremental Dynamic Analysis with Consideration of Modeling Uncertainties", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.38 No.6, pp. 805–825.
- Mackie, K. R., Nielson B.G., 2009, "Uncertainty Quantification in Analytical Bridge Fragility Curves." *TCLÉE : Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment*, Vol.407, pp 1–12.
- Mackie, K. R., Stojadinovic, B., 2005, "Comparison of Incremental Dynamic, Cloud and Stripe Methods for computing Probabilistic Seismic Demand Models", *Structural Congress*, Newyork, 20-24 April 2005.
- Mackie, K., Wong, J.-M., Stojadinovic, B., 2008, *Integrated Probabilistic Performance-Based Evaluation of Benchmark Reinforced Concrete Bridges*, PEER 2007/09 January 2008.
- Mander, J., Kim, D., Chen, S., Premus, G., 1996, *Response of Steel Bridge Bearings to the Reversed Cyclic Loading*, Technical Report NCEER 96-0014, Buffalo, NY.
- Mohseni, M., 2012, *Dynamic Vulnerability Assessment of Highway and Railway Bridges*, Doktora Tezi, The Collage of Engineering at the University of Nebraska-Lincoln.
- Nielson, B. G., 2005, *Analytical Fragility Curves for Highway Bridges in Moderate Seismic Zones*, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia USA.
- Nielson, B. G., DesRoches, R., "Seismic Fragility Methodology for Highway Bridges", *Structures Congress*, St Louis, Missouri, 105–112, 18-21 Mayıs 2006.
- Padgett, J. E., DesRoches, R., 2008, "Methodology for the Development of Analytical Fragility Curves for Retrofitted Bridges", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 37, No.8, pp. 1157–1174.
- Padgett, J. E., Nielson, B. G., DesRoches, R., 2008, "Selection of Optimal Intensity Measures in Probabilistic Seismic Demand Models of Highway Bridge Portfolios", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 37, No.5, pp. 711–725.
- Pan, Y., Agrawal, a. K., Ghosn, M., Alampalli, S., 2010, "Seismic Fragility of Multispan Simply Supported Steel Highway Bridges in New York State. I: Bridge Modeling, Parametric Analysis, and Retrofit Design", *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 15, No.5, pp. 448–461.
- Shinozuka, M., Feng, M. Q., Kim, H. K., Kim, S. H., 2000a, "Nonlinear Static Procedure for Fragility Curve Development", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126, No.12, pp. 1287-1295
- Shinozuka, M., Freg, M. Q., Lee, J., Naganuma, T., 2000b, "Statistical Analysis of Fragility Curves", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126 December, pp. 1224–1231.

## Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> COMPOSITE FABRICATION AND CHARACTERIZATION

<sup>1</sup>İskender ÖZKUL, <sup>2</sup>Safiye Jameel BIRO

<sup>1</sup>Mersin University, Department of Mechanical Engineering, Campus, Yenisehir, Mersin, TURKEY

<sup>2</sup>Firat University, Department of Physic. Elazig, TURKEY

<sup>1</sup>iskender@mersin.edu.tr, <sup>2</sup>safiyejamil@gmail.com

(Geliş/Received: 16.08.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.01.2018)

**ABSTRACT:** ZnO-CdO composite was prepared with hydrothermal method. The structural, morphological, optical, and electrical properties of the nanocomposite have been carried out using X-ray diffraction (XRD), FTIR, scanning electron microscopy (SEM), UV-VIS-NIR spectrophotometer, and two probe, respectively. TG-DTA analysis was done to determine the thermal stability. The compositional analysis was done by EDX. The band gap of the composite were found to be 2.84 eV.

**Key Words:** Hydrothermal method, Optical band gap, TG-DTA, Zinc oxide.

## Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> Kompozit Malzemesinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

**ÖZ:** ZnO-CdO kompoziti hidrotermal yöntemle hazırlandı. Nanokompozitin yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri X-ışını kırınımı (XRD), FTIR, taramalı elektron mikroskopu (SEM), UV-VIS-NIR spektrofotometre ve iki prob yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termal kararlılığı belirlemek için TG-DTA analizi yapıldı. Bileşim analizi EDX ile yapıldı. Kompozitin optik bant aralığı, Zn prekürsörünün içeriğinin arttırılması ile birlikte sırasıyla 2.84 eV olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrotermal metod, Optik bant aralığı, TG-DTA, Çinko oksit.

## INTRODUCTION

The nano-technology has an importance place in terms of various application. It was developed almost all field in industry. Especially in electronic components it found wide range application area. The material science also has great interest for nano-technology especially developing electronic components.

In general, most oxides are good insulators, but some metal oxides for example CuO and Cu<sub>2</sub>O, behave as semiconductors. Due to the less understanding of oxide semiconductors and their growth related processes, there are not many applications of these semiconductor oxides today. Zinc oxide (ZnO) is one exception, which has found application as a transducer, in solar cells and biomedical applications. However, after the discovery of superconductivity in many oxides of copper, the situation has changed, lanthanum copper oxide (La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>) is the first so-called high-T<sub>c</sub> superconductor, discovered by Muller and Bednorz is based on the semiconductor (Müller et al., 1987). Lanthanum copper oxide has a bandgap of about 2 eV. Charge carriers in form of holes are created into La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> by replacing divalent barium (Ba) or strontium (Sr) with trivalent lanthanum (La) or when an excess of oxygen is present. When sufficient carriers are available the semiconductor exhibits properties of superconducting metal (Gao et al., 1994; Brus, 1998; Xia et al., 2003; Wang et al., 2008; Yu and Cardona, 2010).

Among other metal oxides CdO, CuO, SnO<sub>2</sub> and In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> have attracted significant attention for wide applications. CdO has a cubic structure and a narrow band gap of 2.3 eV is regarded an important n-

type semiconductor material for optoelectronic devices. But the main issue for CdO thin films is low band gap for wider applications. By alloying with ZnO with CdO, the band gap of composite can be red-shifted to blue, or even green light spectra range. Moreover, the incorporation of Cd into ZnO is very useful for the fabrication of ZnO/Zn<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>O heterojunction and super lattice, which is the key element in ZnO-based light emitters and detectors (Wang and Zhu, 2004; Shan, et al., 2006; Kim et al., 2007). ZnO-CdO composites have been prepared such as nanowires (Shan, Liu et al., 2006), hollow microspheres (Li et al., 2008), nanorods (Wang et al., 2005) previously. The aim of this work is to produce zinc oxide semiconductor based composite material and investigate the optical, structural and electrical properties of oxide composite. In order to conduct experiments the analytical graded chemicals hydrothermally synthesized and composite calcined. Physical and chemical data were obtained by analysing the sample characterization by different methods.

## THE EXPERIMENTAL PROCEDURE

### Material

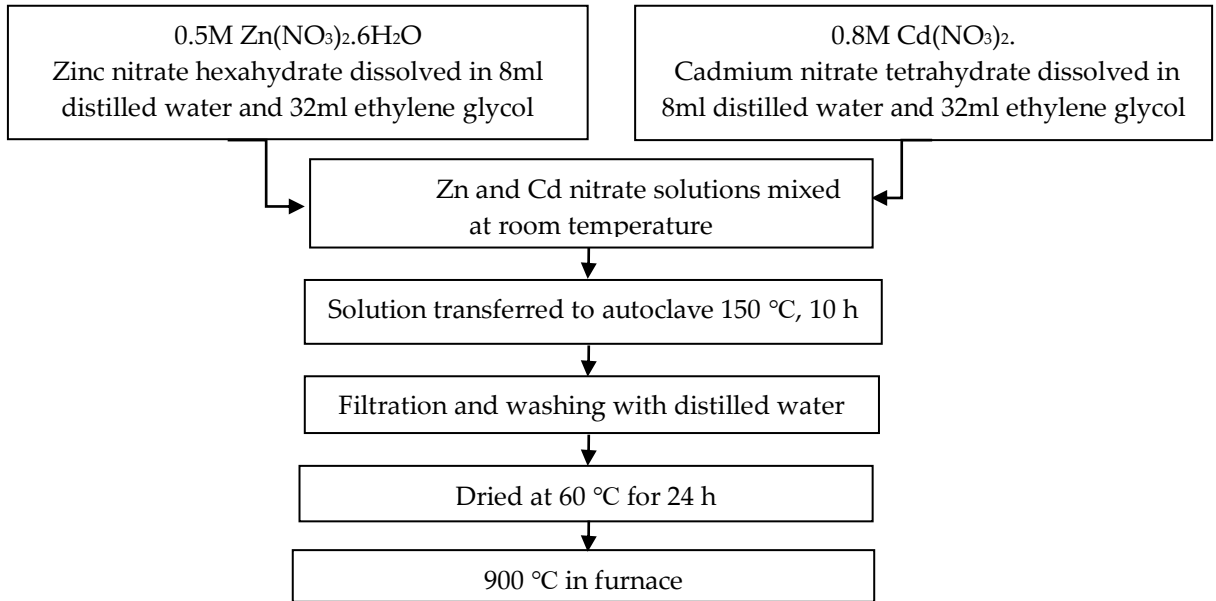
CdO and ZnO have great effect on optoelectronic applications (Margan and Haghighi, 2018). In our experiment, we have used Zinc nitrate hexahydrate Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (Carlo Erba, Analytical grade) and Cadmium nitrate tetrahydrate Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (Carlo Erba, Analytical grade). Both chemicals were used to consist ZnO-CdO. Zinc dioxide is ecofriendly material used as semiconductor photocatalyst which is easily available with reasonable costs and competitive optoelectronic properties (Kołodziejczak-Radzimska and Jesionowski, 2014; Margan and Haghighi, 2018). Cadmium oxide is also semiconductor which known as n-type, uses various in optoelectronic applications (Ueda et al., 1998; Margan and Haghighi, 2018).

### Method and Characterization

In this study the hydrothermal synthesis were used in experiments. In hydrothermal technique crystallization from the aqueous solution at high temperature and pressure takes place. This provide us an environmental friendly method for synthesis. The water is being used as solvent and its polarity can be controlled at hydrothermal conditions.

Zinc nitrate hexahydrate Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O and Cadmium nitrate tetrahydrate Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O were used as a precursor materials. Zinc nitrate hexahydrate 0.5M was dissolved in 8ml distilled water and 32ml ethylene glycol. Separately cadmium nitrate 0.8M was dissolved in 8ml distilled water and 32ml ethylene glycol. Both the zinc and cadmium solutions were mixed together in volume ratio (40ml:40ml) and so the total volume of solution was 80ml. The final solution was transferred to autoclave and heated at 150 °C for 10 hours. After the autoclave, the obtained powder was filtered and washed several times with distilled water. Then the powder was dried at 60 °C for 24 hours. Finally the powder sample was calcined at 450 °C. The preparation of the process has been depicted in Fig. 1.

The crystal phase of the prepared films was investigated using Rigaku-Ultima-IV X-ray diffractometer, utilizing Cu K $\alpha$  radiation ( $\lambda = 0.15406$  nm) operated at 40 kV, 30 mA. FTIR spectroscopy analysis was done for compositional analysis (Thermo Scientific iS5). The optical spectra were measured by UV-VIS-NIR spectrophotometer (Shimadzu -3600PC). JEOL JSM-7001F scanning electron microscopy (SEM) were employed to study the morphology of the films. Thermal analysis was done for determine the weight loss of the samples, quality of the product and phase transitions from room temperature to high temperature by TG-DTA measurement device. During the TG-DTA measurements, the mass loss and phase transition temperatures of the sample were determined at room temperature and 900 °C at a heating rate of 10 °C/min.

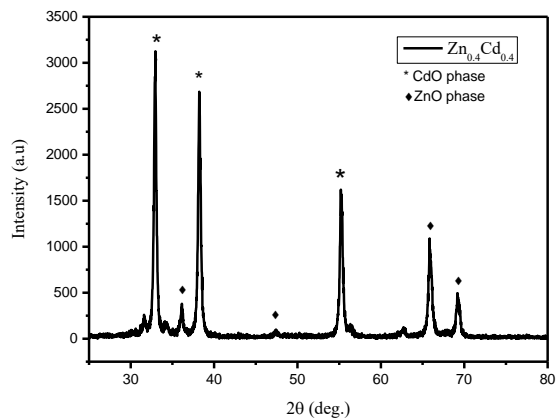


**Figure 1.** Schematic display of steps to synthesis ZnO-CdO composite by hydrothermal method.

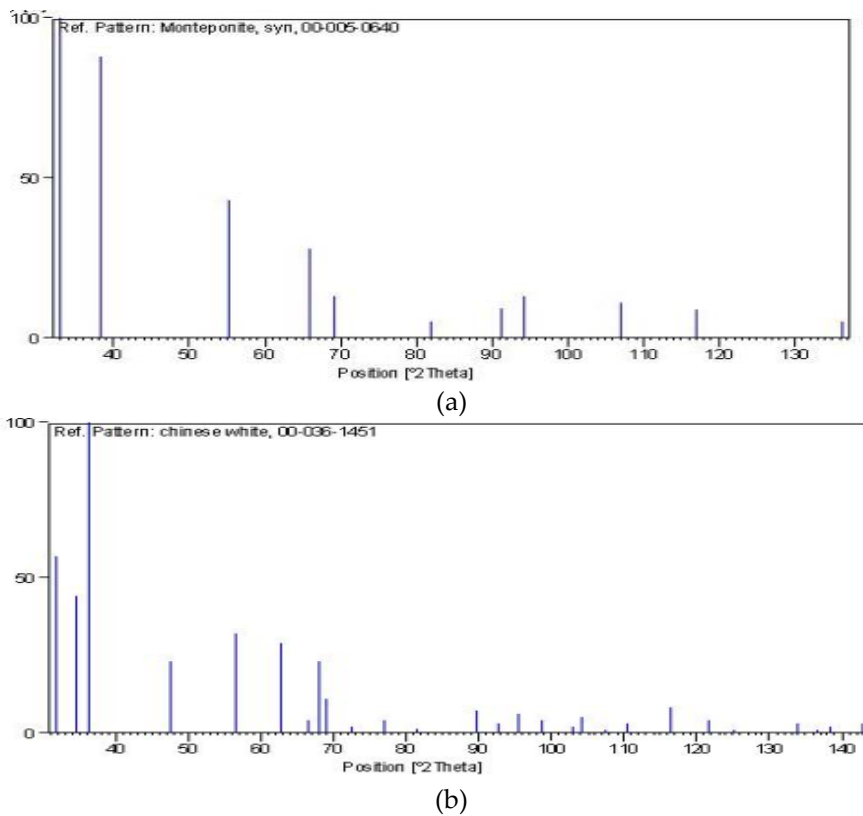
## RESULT AND DISCUSSION

### XRD Structural Analysis

Fig. 2. shows the XRD pattern of ZnO-CdO nanocomposite powder through hydrothermal method. Sample was prepared by mixing equal volume ratio of Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> solutions. The prepared ZnO-CdO nanocomposite diffraction pattern shows both phases of hexagonal ZnO and cubic CdO. In the Fig. 2. for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> the major three peaks correspond to CdO phase and matches very well with JCPDS Card# 005-0640. CdO phase is dominant due to presence of sharp peak in the patterns. The CdO peaks are reprinted by "\*" sign and rest of the peaks correspond to ZnO phase matches with JCPDS Card # 036-1451 (Fig. 3.).



**Figure 2.** X-ray diffraction pattern of Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub>



**Figure 3.** Xrd reference pattern (a) JCPDS Card# 005-0640 for CdO (b) JCPDS Card # 036-1451 for ZnO.

The values of  $d$ -spacing, FWHM, and relative intensity corresponding to x-ray diffraction peaks for all three samples have been tabulated in Table 1. It is observed from the Table 1 that characteristic peak (111) corresponding to CdO phase shifts from standard 33.002 towards lower angle. The ionic radii of  $Zn^{+2}$  (0.74) is smaller than  $Cd^{+2}$  (0.97). Considering the similar electro negativities of both Zn and Cd therefore Zn ions can easily substitute the Cd ions crystallographic positions. The replacement of Cd ions replaced by a smaller Zn ions as the Zn precursor volume is increased causes increase in  $d$  values and corresponding decrease in  $2\theta$  towards lower angle. The similar results have been reported in (Jule et al., 2016). The value of lattice strain has been determined using the relation given below (Klug and Alexander, 1954):

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (1)$$

where  $\beta$  is the full width (FWHM). The value of lattice strain obtained in this manner have been given Table 3.2. With the increase in volume ratio of Zn precursor the lattice strain decreases. The value of crystallite size can be evaluated from Scherrer formula (Klug and Alexander, 1954):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

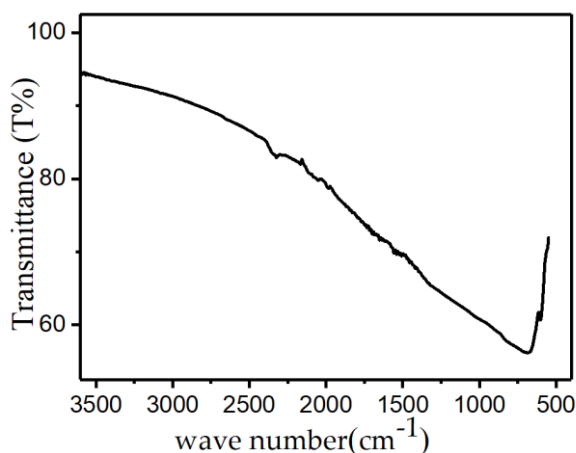
where  $k$  is the shape factor,  $\lambda$  is the wavelength of x-rays, and  $\theta$  is the diffracting angle. The value of crystallite size determined in this manner have been given in Table 1. There is slight increase in the value of crystallite size on increasing the volume of Zn precursor solution. Karthik et al has also reported CdO-ZnO composite XRD diffraction pattern and calculated the microstrain values [46].

**Table 1.** Miller planes,  $2\theta$ , d-spacing, FWHM, percentage intensity for ZnO-CdO nanocomposite sample.

Sample	(hkl)	$2\theta(^{\circ})$	$d(\text{A}^{\circ})$	$d(\text{A}^{\circ})$ Standard	FWHM ( $^{\circ}$ )	Intensity (%)
Zn <sub>0.4</sub> Cd <sub>0.4</sub>	111	32.94	2.7169	2.7120	0.342	100
	200	38.22	2.3528	2.3490	0.353	90.3
	220	55.20	1.6626	1.6610	0.382	54

### FTIR Analysis

The FTIR spectra for ZnO-CdO nanocomposite has been recorded to study the various functional groups of nanocomposite shown in Fig. 4. The absorption band in the region of  $3426 \text{ cm}^{-1}$  corresponds to the O-H stretching vibrations of water present in the powder sample. The band in the region  $1600\text{-}1500 \text{ cm}^{-1}$  corresponds to the vibrations of a carboxyl group (CO). The characteristic wurtzite lattice vibrations (Zn-O) are corresponding to the broadband in the range  $400\text{-}600 \text{ cm}^{-1}$  (Zhang et al., 2012; Rana et al., 2015).

**Figure 4.** FTIR spectra for ZnO-CdO composite for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> sample.

### Morphological Analysis

The surface morphology of ZnO-CdO nanocomposite was studied using FESEM at various magnification and shown in Fig. 5(a-e). The morphology consist of spherical, non-spherical and partly cylindrical structures. The Fig. 5. (e) for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> clearly shows at  $\times 100000$  magnification the formation of typical spherical structures. When can observe at low magnification the number of rounded granular structure increases. The compositional analysis of ZnO-CdO composite was confirmed by EDX. The EDX spectra for sample is shown below the SEM micrographs (Table 2.). The spectra clearly shows the presence of Zn, O, and Cd elements along with peak of Au. The Au peak is due to the coating of Au film on the powder samples before FESEM/EDX.

**Table 2.** EDX analysis for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> sample.

Element	Weight%	Atomic%
O K	14.50	52.28
Zn L	10.41	9.19
Cd L	75.09	38.54
Totals	100.00	



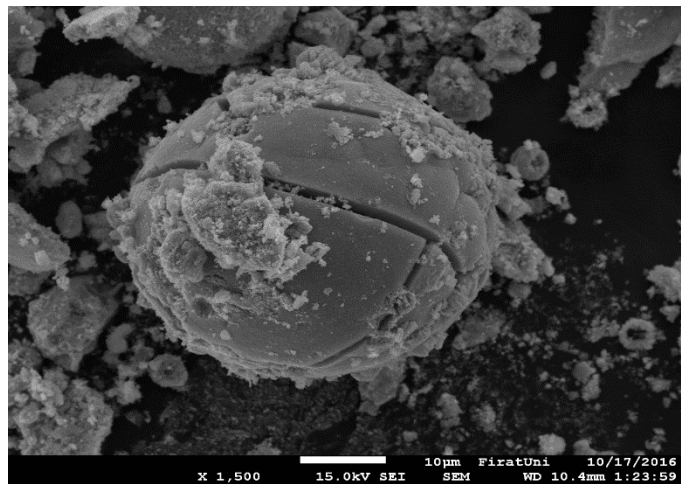


Figure 5. (a) SEM micrograph for  $Zn_{0.4}Cd_{0.4}$  at 1500x magnification.

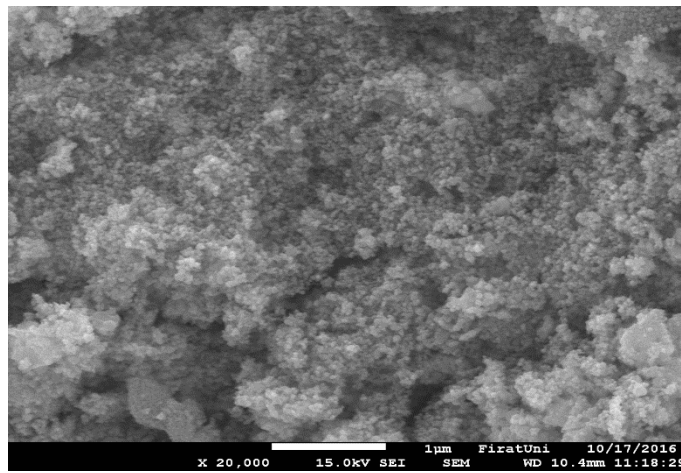


Figure 5. (b) SEM micrograph for  $Zn_{0.4}Cd_{0.4}$  at 20000x magnification.

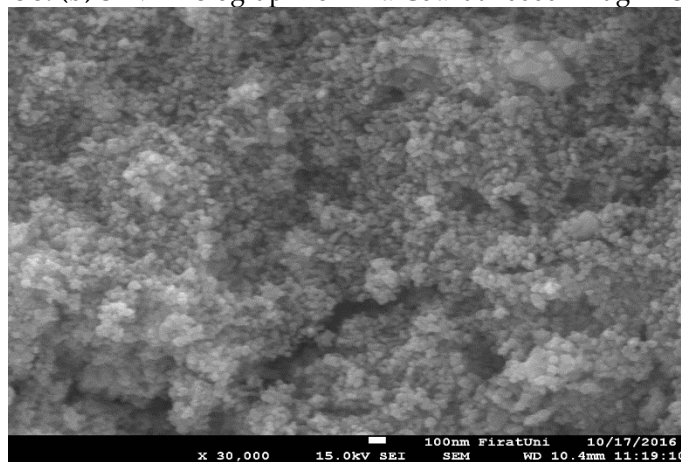


Figure 5. (c) SEM micrograph for  $Zn_{0.4}Cd_{0.4}$  at 30000x magnification.

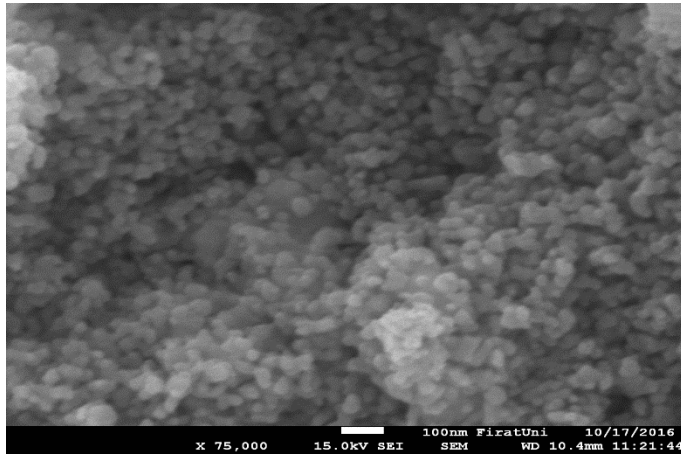


Figure 5. (d) SEM micrograph for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> at 75000x magnification.

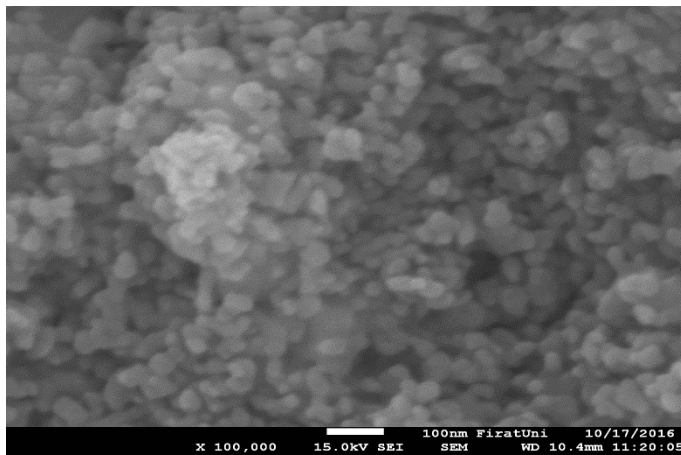


Figure 5. (e) SEM micrograph for Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> at 100000x magnification.

### Optical Analysis

The spectral distribution of reflectance  $R(\lambda)$  at normal incident for the sample is shown in Fig. 6. The light penetrate inside the sample and undergoes combination of scattering and absorption inside the sample. Some of the radiation is reflected back towards the surface. This reflected radiation contains useful information due to higher order of interaction. The reflected radiation is called Kubelka-Munk (KM) reflectance and is defined by a function. The KM function  $F(R)$ , can be used to approximate the optical absorbance of the sample from its reflectance and is given by (Martellucci et al., 2002).

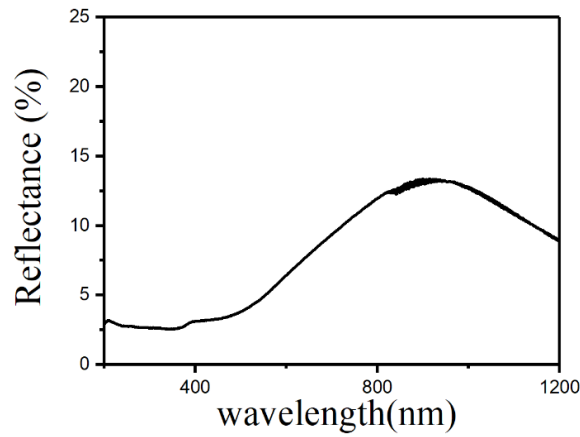


Figure 6. Reflectance spectra for ZnO-CdO composite.

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

So by replacing the absorption coefficient  $\alpha$  in the Tauc's relation we get

$$(F(R)hv)^2 \propto (hv - E_g) \quad (4)$$

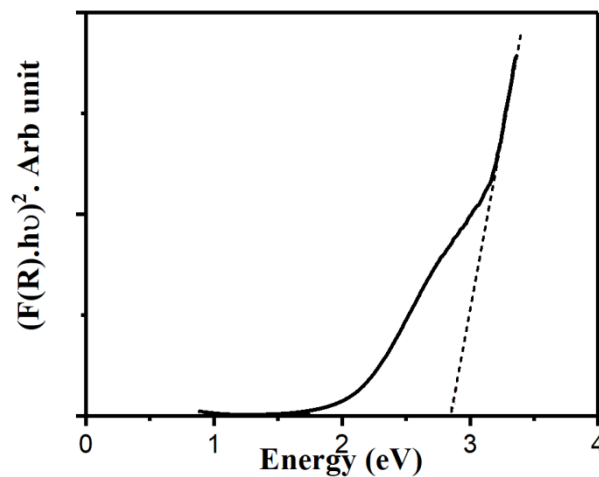
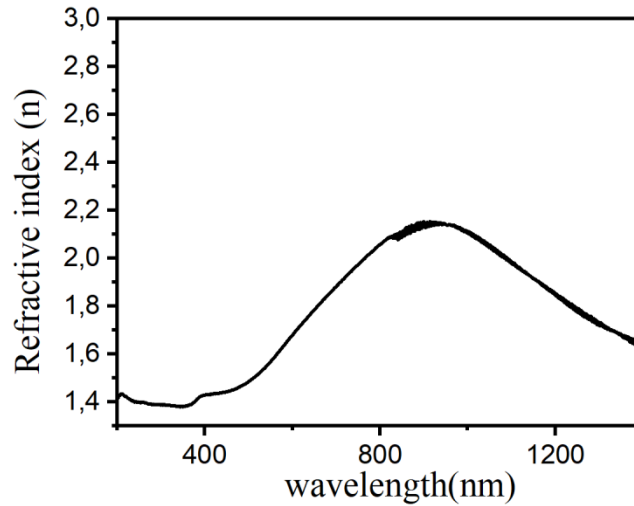


Figure 7. Bandgap for ZnO-CdO composites with various composition.

For the direct band gap, the plot between  $(F(R).hv)^2$  and photon energy ( $hv$ ) has been shown in Fig. 7. The band gap value can be determined by extrapolating the graph of the linear region of the plots to energy axis at  $(F(R).hv)^2 = 0$ . The band gap energy of sample  $Zn_{0.4}Cd_{0.4}$  is found to be 2.84 eV. The bandgap value for pure ZnO and CdO are 3.3 eV and 2.5 eV (Özgür et al., 2005; Chandiramouli and Jeyaprasanth, 2013). The increase in Zn content causes the lower states in conduction band to be filled and hence leading the blue shift in bandgap energies. The similar trends in bandgap energies has been reported by Jule et al and R. Saravanan et al (Saravanan et al., 2015; Jule et al., 2016).



**Figure 8.** Refractive index for ZnO-CdO composites with various composition

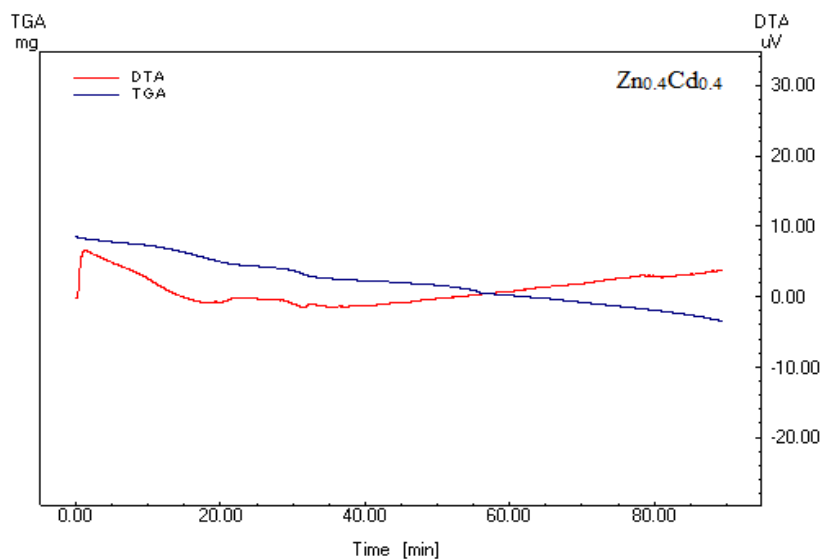
The study of dispersion is crucial for the application of any material in the field of integrated optical devices and device design for optical communication and spectral dispersion. The refractive index of the film was determined by the following relation (El-Nahass et al., 2009).

$$n = \left[ \frac{1+R}{1-R} \right] + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - K^2} \quad (5)$$

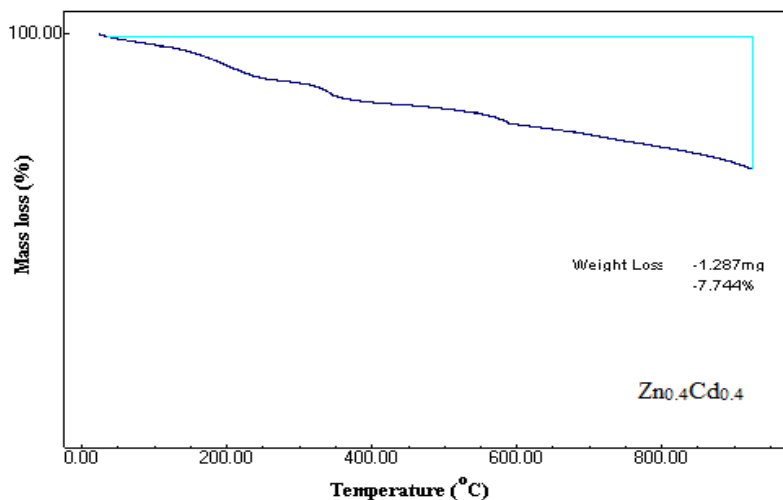
Where  $K = \alpha\lambda/4\pi$  is the extinction coefficient. The variation in refractive index have been shown in Fig. 8.

### Thermal Analysis

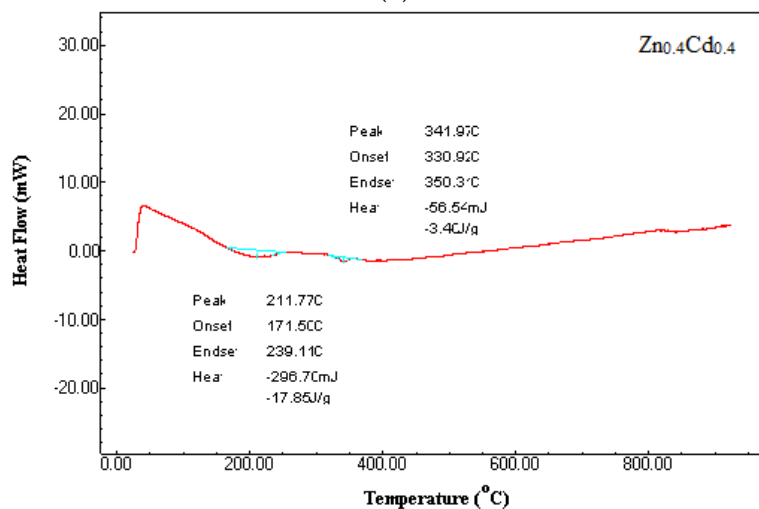
The analyses are given in the same and separate graphs at mass loss and phase transition temperatures. The peaks occurred in the phase transitions around 342 °C and 212 °C. Thermal measurements such as TG-DTA were made to determine the weight loss of the samples, quality of the product and phase transitions from room temperature to high temperature. The weight loss of sample Zn<sub>0.4</sub>Cd<sub>0.4</sub> is 7.74%. In Fig. 9 (a-c) we observe a small endothermic peak in DTA measurements this peak belongs to residues of the samples.



(a)



(b)



(c)

Figure 9. TG-TDA analysis for  $Zn_{0.4}Cd_{0.4}$  sample.

### Electrical Conductivity

In order to investigate the electrical properties of the samples the dc conductivity of the sample was measured using two probe method. The I-V graph for the sample has been shown in Fig. 10. The electrical conductivity of the sample was found  $4.6 \times 10^{-3}$  S/cm. K. Ocakoglu et. al. has reported the electrical conductivity of ZnO nano rods at room temperature is  $6.7 \times 10^{-8}$  S/cm. In the ZnO-CdO composite, the ZnO have hexagonal wurtzite and CdO have cubic crystal structure that causes the phase segregation (Ocakoglu et al., 2015). Thus, this phase segregation, crystal strain, grain boundary barrier effects may enhance the electron scattering and cause the deterioration in conductivity.

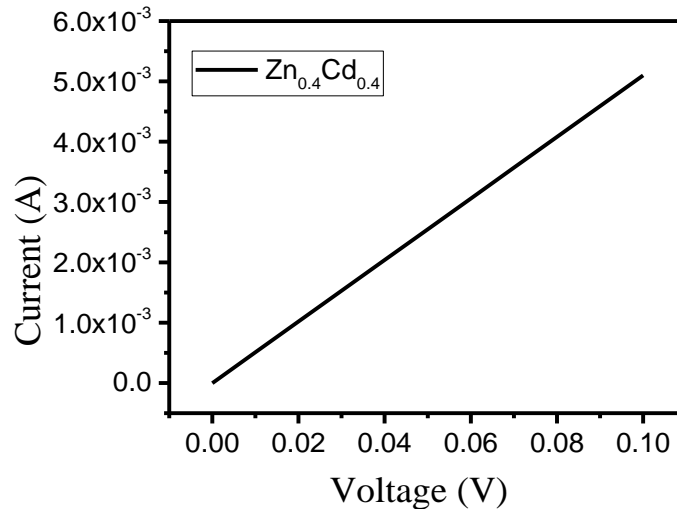


Figure 10. DC Conductivity of ZnO-CdO composites

### CONCLUSION

The ZnO-CdO composite was synthesized by using the hydrothermal technique. The structural analysis was done using the X-ray diffraction and particle size was calculated by scherrer formula. The morphological properties were investigated by using FESEM and it can see some spherical and non-spherical particles. The bandgap values of sample was found as 2.84 eV which are in agreement with previously reported values. The thermal analysis graphs shows the formation of stable composites. The dc conductivity of the pellets was measured and value of conductivity found. Finally, the dielectric constant behaviour was studied with change in frequency.

### ACKNOWLEDGE

The authors are grateful for FÜBAP (Firat University Scientific Research Projects Unit) for financial support for this research work under project number FF.16.34.

### REFERENCES

- Brus, L., 1998, "Chemical Approaches to Semiconductor Nanocrystals." *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 59, No. 4, pp. 459-465.
- Chandiramouli, R.,B. Jeyaprakash, 2013, "Review of CdO Thin Films." *Solid State Sciences*, Vol. 16, pp. 102-110.
- El-Nahass, M., A. Farag,A. Atta, 2009, "Influence of Heat Treatment and Gamma-Rays Irradiation on the Structural and Optical Characterizations of nano-crystalline Cobalt Phthalocyanine Thin Films." *Synthetic Metals*, Vol. 159, No. 7, pp. 589-594.

- Gao, L., Y. Xue, F. Chen, Q. Xiong, R. Meng, D. Ramirez, C. Chu, J. Eggert, H. Mao, 1994, "Superconductivity up to 164 K in  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{m-1}\text{Cu}_m\text{O}_{2m+2+\delta}$  ( $m=1, 2, \text{ and } 3$ ) under Quasihydrostatic Pressures." *Physical Review B*, Vol. 50, No. 6, pp. 4260.
- Jule, L. T., F. B. Dejene, A. G. Ali, K. T. Roro, A. Hegazy, N. K. Allam, E. El Shenawy, 2016, "Wide Visible Emission and Narrowing Band Gap in Cd-doped ZnO Nanopowders Synthesized via sol-gel Route." *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 687, pp. 920-926.
- Kim, J. H., Y. C. Hong, H. S. Uhm, 2007, "Binary oxide Material Made from a Mixture of Zn and Cd in a Microwave Plasma." *Chemical Physics Letters*, Vol. 443, No. 1, pp. 122-126.
- Klug, H. P., L. E. Alexander, 1954. *X-ray Diffraction Procedures*, Wiley, New York.
- Kołodziejczak-Radzimska, A., T. Jesionowski, 2014, "Zinc oxide—from Synthesis to Application: a Review" *Materials*, Vol. 7, No. 4, pp. 2833-2881.
- Li, G., X. Wang, Y. Wang, X. Shi, N. Yao, B. Zhang, 2008, "Synthesis and field Emission Properties of ZnCdO hollow Micro-Nano Spheres." *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Vol. 40, No. 8, pp. 2649-2653.
- Margan, P., M. Haghghi, 2018, "Sono-coprecipitation Synthesis and Physicochemical Characterization of CdO-ZnO Nanophotocatalyst for Removal of Acid Orange 7 from Wastewater." *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 40, pp. 323-332.
- Martellucci, S., A. N. Chester, A. G. Mignani, 2002, *Optical Sensors and Microsystems*, Springer, New York.
- Müller, K., M. Takashige, J. Bednorz, 1987, "Flux Trapping and Superconductive Glass State in  $\text{La}_{2-x}\text{CuO}_{4-y}\text{Ba}_y$ ." *Physical review letters*, Vol. 58, No. 11, pp. 1143.
- Ocakoglu, K., S. A. Mansour, S. Yildirimcan, A. A. Al-Ghamdi, F. El-Tantawy, F. Yakuphanoglu, 2015, "Microwave-assisted hydrothermal Synthesis and Characterization of ZnO nanorods." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 148, pp. 362-368.
- Özgür, Ü., Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S.-J. Cho, H. Morkoc, 2005, "A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices." *Journal of Applied Physics*, Vol. 98, No. 4, pp. 11.
- Rana, N., S. Chand, A. K. Gathania, 2015, "Tailoring the Structural and Optical Properties of ZnO by Doping with Cd." *Ceramics International*, Vol. 41, No. 9, pp. 12032-12037.
- Saravanan, R., F. Gracia, M. M. Khan, V. Poornima, V. K. Gupta, V. Narayanan, A. Stephen, 2015, "ZnO/CdO Nanocomposites for Textile Effluent Degradation and Electrochemical Detection." *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 209, pp. 374-380.
- Shan, C., Z. Liu, Z. Zhang, D. Shen, S. Hark, 2006, "A Simple Route to Porous ZnO and ZnCdO Nanowires." *The Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 110, No. 23, pp. 11176-11179.
- Ueda, N., H. Maeda, H. Hosono, H. Kawazoe, 1998, "Band-gap Widening of CdO Thin Films." *Journal of applied Physics*, Vol. 84, No. 11, pp. 6174-6177.
- Wang, F., H. He, Z. Ye, L. Zhu, H. Tang, Y. Zhang, 2005, "Raman Scattering and Photoluminescence of Quasi-Aligned ternary ZnCdO Nanorods." *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 38, No. 16, pp. 2919.
- Wang, N., Y. Cai, R. Zhang, 2008, "Growth of Nanowires." *Materials Science and Engineering: R: Reports*, Vol. 60, No. 1, pp. 1-51.
- Wang, W.-W., Y.-J. Zhu, 2004, "Shape-controlled Synthesis of Zinc Oxide by Microwave Heating using an Imidazolium Salt." *Inorganic Chemistry Communications*, Vol. 7, No. 9, pp. 1003-1005.
- Xia, Y., P. Yang, Y. Sun, Y. Wu, B. Mayers, B. Gates, Y. Yin, F. Kim, H. Yan, 2003, "One-Dimensional Nanostructures: Synthesis, Characterization, and Applications." *Advanced Materials*, Vol. 15, No. 5, pp. 353-389.
- Yu, P. Y., M. Cardona, 2010. *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties*, Springer, USA.
- Zhang, J., S.-Q. Zhao, K. Zhang, J.-Q. Zhou, Y.-F. Cai, 2012, "A Study of Photoluminescence Properties and Performance Improvement of Cd-doped ZnO Quantum Dots Prepared by the sol-gel Method." *Nanoscale Research Letters*, Vol. 7, No. 1, pp. 405.

## YAPILARIN CEPHE KAPLAMA MALZEMELERİNDE HASAR OLUŞTURAN ETKİLERİN TESPİTİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ – KONYA PTT HİZMET BİNASI ÖRNEĞİ\*

<sup>1</sup>Mustafa DERELİ, <sup>2</sup>Mustafa TOSUN, <sup>3</sup>Nazım KOÇU

<sup>1,2</sup>Selçuk Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, KONYA

<sup>3</sup>Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, KONYA

<sup>1</sup>mdereli2000@gmail.com, <sup>2</sup>mustosun@hotmail.com, <sup>3</sup>nkocu@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 07.09.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 23.01.2018)

**ÖZ:** Konya Kayalı Park olarak bilinen Mevlâna Caddesi üzerinde tescilli bir kültür varlığı olan PTT Merkez Müdürlüğü Hizmet Binasının cephe kaplama malzemelerinde meydana gelen hasarların nedenlerinin tespiti, alan çalışması kapsamında tadilatların hangi kapsamda ve nasıl yapılabileceği hususunda değerlendirmeler yapılmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, yapı üzerinde oluşan hasarların tespiti, nedenlerinin analizi ve çözüm önerileri olarak belirlenmiştir. Çalışmada cephe kaplama malzemelerinin neden hasara uğradığı konusunda saha çalışması yapılarak farklı mevsimlerde yapı gözlemlenerek, elde edilen veriler ile mevcut hasarların neden oluştuğu konusunda tespitler bölüm 2’de yapılmıştır. Söz konusu yapı için cephe hasarlarının basit onarımlarla düzeltilebileceği, yapı üzerinde yapılacak tadilatlar hakkında bir iş planının hazırlanması, koruma kurulu ve proje müelliflerinden yasal izinlerin sağlanması ile yapıya acilen müdahale edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca onarımların gecikmesi durumunda, hasarların büyümesi ve kalıcı hasarlara yol açmasının muhtemel olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Cephelerde Hasar Oluşturan Etkiler, Cephe Malzemelerinde Hasarlar, Yalıtım Sorunları*

### The Determination of The Effects Causing Damage in Buildings Facade Covering Materials and Solution Proposal- Konya PTT Service Building

**ABSTRACT:** A research is done about the determination of the causes of the damages occurred in the façade covering materials of PTT Central Directorate Service Building which is a registered cultural asset located on the Mevlâna Street known as Konya Kayalı Park, and proposals about how and in what scope the repairs can be done are offered. The aim of the study is defined as the determination of the damages occurred on the building, analysis of the causes and solution proposals. In the study, case study investigating why the façade covering materials are damaged is done and the building is observed through different seasons. The obtained data and the determinations including why the existing damages occurred are explained in chapter 2. The reasons of the existing damages are determined in the direction of the data obtained via observation. As a result the thought that façade damages can be fixed with simple repairs is reached. It is suggested that a work plan should be prepared about the repairs, legal permissions should be taken from the conservation board and project manager and the building should be interfered immediately. The result is stated such as it is possible that the damages will get bigger and become permanent if the repair delays.

**Key Words:** *Effects causing damages on facades, damages in façade materials, insulation problems.*



## GİRİŞ (INTRODUCTION)

### Amaç-Kapsam (Aim-Scope)

Konya Kayalı Park olarak bilinen Mevlana Caddesi üzerinde yer alan PTT Merkez Müdürlüğü Hizmet Binasının cephe kaplama malzemelerinde meydana gelen hasarların nedenlerinin tespiti ve yapılabilecek tadilatların hangi kapsamda nasıl yapılabileceği hususunda araştırma yapılmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı yapı üzerinde oluşan hasarların tespiti, nedenlerinin analizi ve çözüm önerileri olarak belirlenmiştir.

### Yapının Tanımı, Tarihi ve Önemi (The Building's Definition, History and Importance)

Konya İli, Meram İlçesi, Şükran mahallesi, Mevlana Caddesi, No:62/A, tarihi kent merkezi içerisinde yer alan yapı I. Ulusal Mimarlık Dönemi'ne aittir. Yapının yapılış amacına göre orijinal fonksiyonu postane binası olan ve günümüzde de PTT ve Türk Telekom'un ortak kullandığı tarihi bir binadır. Yapı "Tescilli Yapı" şeklinde nitelenmiş ve buna göre 108 pafta, 876 ada, 42 parselde yer almaktadır (Baran, 2015).

Bugün Konya Vilayet Binasının güney batısında, eski Ziraat Bankasının doğusunda ve Kayalı Parkın güneyinde yer alan eski PTT Merkez Binası, neoklasik üsluptaki (I. Mimarlık Dönemi) Türk Mimarisinin Konya'daki örneklerinden biridir. 1925 yılında inşasına başlanıp 1928 yılında tamamlanan bu bina Mimar Falih Ülkü'nün eseridir. Genel girişin sağ tarafındaki duvarda "Mimar Falih 1928"; olarak bunu gösteren küçük bir kitabe bulunmaktadır. Konya PTT Binası Gayrimenkul eski eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun 18.10.1975 tarihi ve 8652 sayılı kararı ile korunması gerekli sit alanı içinde tescil edilmiştir. Yüksek kurulun söz konusu ilke kararına göre Konya PTT Binası, kullanım için gerekli olan iç onarımlara karşın, dışta sadece orijinal görünümünü bozmayacak, küçük değişikliklere izin verilebilen binalar grubuna alınmıştır. 1984 yılında PTT Başmüdürlüğü'nce yaptırılan onarımlarda ahşap kapı ve pencere doğramaları eski detayına uygun bir halde yeniden ahşap olarak yaptırılmıştır. Bu doğramalardaki eski düz camların yerine desenli camlar takılmış, ön cephedeki eski fotoğrafında görülen muhdes camekân kaldırılmıştır. Günümüzde üst katı Türk Telekom, ön cephedeki genel giriş ve ana salon PTT olarak hizmet vermektedir (Aygün,2007).

PTT Binası, bodrum kat, zemin kat ve 1. kattan oluşmaktadır. Bina, taş duvarlı (80 cm) bir bodrum üzerine iki kat halinde, tuğla ile yığma olarak (70 cm) yapılmıştır (Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu). Binanın döşemeleri çelik putrel arası taş olarak hazırlanmıştır (Karpuz, 2009).

### Yapı Cephelerinde Hasar Oluşturan Etkenler (The Factors Causing Damage on Building Facades)

Cephe hasarlarında meydana gelen fiziksel hasarların ortaya çıkmasına sebep olan etken ve kaynaklar üç başlık altında toplanabilir. Bunlar; doğal olaylar ve canlılardan kaynaklanan, insan hatalarından kaynaklanan ve malzemenin kendinden kaynaklanan sebeplerdir (Koç, 2000).

#### Doğal olaylar ve canlılar (Natural events and living creatures)

Yapı cephesine fiziksel, mekanik ve biyolojik olarak etkileyecek doğal unsurlar aşağıdaki başlıklar halinde gruplanabilir:

- i. Atmosferik etken ve kaynaklar
- ii. Doğal afetler (Deprem)
- iii. Biyolojik Etkenler (Mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvan etkileri)

## i. Atmosferik etken ve kaynaklar (Atmospheric factor and sources)

Atmosferik etkenler tek başına veya birkaçı birleşerek cephe üzerinde bozucu etki yapabilmektedir. Bu etkenlerin bozucu olabilmesi için hasar oluşturan yüzeylerde bazı hataların oluşması gerekir. Bu hatalar diğer bölümlerde ve çalışmaya konu olan yapının üzerinde ele alınacaktır. Bozucu etkisi olan faktörler; ısı, su, güneş ışınları, zararlı gazlar, rüzgar şeklindedir.

- **Isı Etkisi (Heat Effect):** Isıya maruz kalan bir malzeme, moleküllerinin artan kinetik enerjileri ile düzensiz harekete geçip katı halden sıvı hale geçer (erir) veya buharlaşır. Erimiş malzemelerden ısı alındığı takdirde moleküllerinin kinetik enerjileri azalarak kohezyon kuvvetleri yardımı ile düzenli bir sisteme girerler (Katılaşma ve donma) (Eriç, 1994).

Malzemelerin, ısı ile hacimlerini değiştirmelerine ısıl deformasyon denir. Katı malzemelerin uzaması ile bir doğrultudaki genleşmeleri uzama adını alır. Isı değerinin düşmesi ile bu uzama yerini kısaltmaya terk eder. Bu olayın ana nedeni ısı değişimleri ile farklı titreşime uğrayan atomların birbirleri arasındaki mesafelerin değişmesidir (Eriç, 1994).

- **Su Etkisi (Water Effect):** Doğada su; yer üstü ve yer altı kaynakları ile atmosferde bulunan nem (su buharı) olmak üzere üç biçimde yer alır. Suyun malzeme üzerindeki etkisi söz konusu olduğu zaman ya malzeme suyun içindedir ya da su malzemeyi yüzeysel olarak etkilemektedir. Ayrıca buhar basıncından ortaya çıkan yoğunlaşma ile meydana gelen su, malzeme iç yapısını veya yüzeysel olarak malzemeyi etkilemektedir. Su içinde bulunan bir malzemeyi etkileyen faktörler; malzemenin boşluğu ve suyun basıncıdır. Su ile yüzeysel olarak temas eden malzemelerde ise, su malzeme yapısındaki kılcal kanallarda kapiler basınç etkisi ile hareket etmekte ve su hareketi atmosfer basıncını dengelemektedir (Eriç, 1988).

Suyun cephe malzemesi üzerinde bozucu etkisi yüzeysel ıslanma sonucu su emme, kapiler su yükselmesi, nem (terleme, yoğunlaşma), donma-çözülme olarak karşımıza çıkmaktadır.

- **Yüzeysel ıslanma sonucu su emme (Water absorption as a result of superficial wetting):**

Yüzeysel ıslanmada yağmur sularının etkisi bulunmaktadır. Yapı dış yüzeyinde yağmur suyunun etkisi; damla büyüklüğü, dağılımı ve yağış şiddetine bağlıdır. Yağmur damlası yüzeye geldiğinde; önce darbe şeklinde çarpar, daha sonra sıçrama, emilme ve akma olayları gerçekleşir. Yüzey tarafından emilen yağmur suyu, yüzey doyduktan sonra akmaya başlar. Yüzeyde oluşan su katmanı akıntıyı çoğaltır. Bu katmanın kalınlığı, yağmurun şiddetine ve yüzeyin dokusuna bağlıdır. Su, yüzeyde yaygın bir film yerine, suyun yüzey geriliminden dolayı belirli akıntı kanalları oluşturma eğilimindedirler. Yağış suları duvar yüzeyinde ne kadar uzun süre kalırsa, suyun duvar tarafından emilme olasılığı artar. Bu bakımdan dış yüzey kaplamasının dokusu, doku düzeni, malzemesinin türü ve porozitesi, derzler ve düzenlemesi önem kazanır (Toydemir ve ark., 2000).

Yapı elemanlarının bünyesine giren su ile şişmesi, aynı zamanda bir kuruma devresi olacağına da göstergesidir. Şişme ve büzülme olaylarına maruz kalan malzemenin deneyler sonucunda, şişme miktarı ile büzülme miktarı arasında bir fark olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu olay nedeniyle cisimlerde çatlaklar oluşabileceği gibi, mevcut çatlakların daha da genişlemesi olasılığı vardır (Toydemir ve ark., 2000).

Yağışlar yoluyla atmosferden gelen sular, içlerinde çözünmüş değişik kimyasal maddeler taşır. Bu maddeler yapı elemanlarına zarar veren bir etkiye sahiptir. Islanmış kagir malzeme içerisinde bulunan ve içinde çözünmüş kimyasallar barındıran su, kuruma devresinde yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Ancak buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözünmüş tuzlar malzemenin dış yüzünde çiçeklenme adı verilen yüzeysel bir oluşuma neden olur (Toydemir ve ark., 2000).

- **Kapiler su yükselmesi (Capillary water increase):** Yapıyı etkileyen suyun basınçlı olması halinde, su, malzemeye basınç yoluyla girebildiği gibi, basınç olmaksızın yapı elemanlarının bünyesindeki belirli çaptaki borucuklar sayesinde zeminden itibaren kapiler yolla yükselmesi de mümkün olmaktadır (Toydemir ve ark., 2000).

- **Nem (Humidity):** Hava içinde bulunan su buharına nem denir. Havadaki maksimum su buharına ise bağıl nem (rölatif nemlilik) denir. Bağıl nem yüzdesi, iç hacimlerde % 50-80, dış hacimlerde ise % 80-100 arasındadır. Havadaki nem miktarı, sıcaklığa bağlı olarak değişik değerler gösterir.
- **Yoğuşma (Condensation):** Farklı buhar basınçlarından dolayı duvar bünyesinde meydana gelen buharın su haline dönüşmesi olayıdır. Yapı duvarında ısı akımına paralel yönde bir su buharı akımı vardır. Bu nedenle duvar bileşenlerinin difüzyon özelliğine sahip olması gerekir. İç ortamdan gelen su buharı dışarı atılamaz ise, bu geçirimsiz tabaka altında yoğuşarak birikir. Soğuk havada donar ve genişleme sonucu dış sıvada çatlaklara ve devamında dökülmelere neden olur (Koçu ve Korkmaz, 2003).
- **Terleme (Sudation):** Duvar yüzeyinde sıcaklık düşmesi ile meydana gelen buharın su haline dönüşmesi olayıdır. Duvar yüzeyinde terleme, ortam sıcaklığına ve ortamdaki bağıl neme bağlıdır. Terleme, yapı duvarının ısı direncinin azalmasına, iç gerilme çatlamlarına, küflenme ve çiçeklenme gibi hasarlara neden olmaktadır (Demirkan, 1986).
- **Donma Çözülme (Freze-Dissolution):** Malzeme boşlukları içine giren suyun sıcaklık değerinin azalmasıyla donma olayı gerçekleşmektedir. Suyun buz haline gelmesiyle hacminde % 9' luk bir artış olur. Sıfır noktasını aşan sıcaklık değişiklikleri nem etkileriyle birleşirse, belirli şartlar altında donma sonucu malzemenin genişmesine ve devamında çatlamlarına neden olmaktadır. Diğer tür etkiler ile meydana gelen fiziksel hasarlar donma-çözülme etkisi ile daha fazla artmaktadır (Özer, 1982).
- **Güneş Işınları (Solar Rays):** Güneş ışınları, güneşten dünyaya atmosferden geçerek gelen bir enerjidir. Kısa dalgalı olan bu güneş ışınlarının % 27' si doğrudan doğruya, % 16' sı atmosferden yansıma yoluyla yaygın radyasyon şeklinde yeryüzüne gelir. Güneşten gelen ışınlar içerisinde ısıtıcı ve renk değiştirici gözle görülmeyen ışınlar vardır. Bunlar ultraviyole ve enfraruj ışınlarıdır (Eriç, 1987).
  - **Ultraviyole Işınları (UV Rays):** Ultraviyole ışınları ile gelen parçacıklar organik malzemelerin atomlarına çarparak atom yapısını bozmakta, eskime ve renk değişimlerine neden olmaktadır (Eriç, 1987).
  - **Enfraruj Işınları (Infrared Rays):** Bu ışınlar çarptıkları yüzeyi, rengine bağlı olarak ısıtır, sıcaklığını yükseltir ve genişmesine neden olur. Örneğin parlak yüzeyler radyasyonu yansıtmakta, koyu renkli yüzeyler ise yutmaktadır (Eriç, 1987).  
Parlak ve açık renkli yüzeyler güneş radyasyonunun büyük bir kısmını yansıtırken, koyu renkli yüzeyler en büyük kısmını emerler. Bu emme sonucu yüzeyde oluşan sıcaklık nedeniyle yapı elemanları genişler (Eriç, 1994).
- **Zararlı Gazlar (Harmful Gases):** Teknolojinin gelişmesine paralel her türlü üretimin artması, motorlu araçların çoğalması, ısınma için çeşitli yakıtların kullanılması zorunluluğu; giderek atmosferin karbondioksit, karbonmonoksit ve kükürtdioksit gibi kirletici gazların havaya karışıp onu kirletmesine sebep olmuştur. Yağışlarla asitlere dönüşen (Havada, özellikle endüstri bölgelerinde bulunan SO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> gibi gazlar, yağmur sis ve havanın nemi ile birleşerek H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> gibi sülfürik ve karbonik asitlerin oluşmasına neden olurlar) bu kirletici ve zararlı gazların, yapı malzemeleri; sıvalar ve boyalar üzerinde önemli bozucu etkileri vardır. Bu etkilerin binayı, koruyucu malzemeleri daha kısa sürede yıpratacağı göz önüne alınarak koruma amacı ile yapılacak bakım işlerinin daha sık aralıklarla yapılması gerekir (Eriç, 1994).
- **Rüzgar (Wind):** Bu çalışma kapsamına konu olan yapı için rüzgar etkisi; toz, duman, kum vb. cisimlerin yapı yüzeylerinin girintili, kuytu köşelerinde birikmesi olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca rüzgar basınç ile yüzeye herhangi bir yoldan gelen suyun çatlaklardan içeri girmesine ve yüzeyin aşınması sonucu dökülen parçacıkların sürüklenmesine neden olur. Aynı zamanda teorik olarak yeryüzüne düşey olarak inmesi gereken yağmura yatay hız bileşeni kazandırarak yapı düşey yüzeylerine çarpmasını sağlar. Bu çarpan yağmur suyu sahip olduğu kinetik enerji ile çeşitli delik ve çatlaklardan içeri girer hem duvarın ıslanmasına, hem de çatlakların büyümesine neden olur. Ayrıca

yüzeyde birikmiş olan katı partiküllerle kimyasal reaksiyona girerek, zaten bu tür maddelerle belirli bir miktar tozlanmış olan yüzeyin iyice kirlenmesine yol açar (Vural, 1997).

## ii. Doğal Afetler (Natural Disasters)

Çalışmaya konu olan yapının bulunduğu Konya' da doğal afetlerin (deprem, sel, tayfun vb.) aktif olarak etkisi bulunmamaktadır. Ancak ilin yakın çevresinde etkili depremler meydana gelmiş ve depremler bu ilde de hissedilmiştir. Yakın çevrede meydana gelen ve İlde çok büyük hasara yol açmayan depremler daha çok yapının temel durumuyla ilişkili olarak zemine bağlı yapı oturmaları şeklinde karşımıza çıkmaktadır (Dereli, 2004).

Duyarlılığı yüksek zeminler, deprem veya ağır taşıtlardan meydana gelen titreşimler sonucunda dinamik etkilere maruz kalmaktadırlar. Bunun sonucunda bir sıvı gibi davranarak akıcı hale gelmektedirler. Zeminde meydana gelen bu sivilaşma binada oturmaları neden olmakta ve dış sıvasında fiziksel hasarlar ortaya çıkmaktadır (Dereli, 2004).

Deprem meydana getirdiği sarsıntılar ile oluşan hasarlar içinde en belirgin olanı yapı dış duvar yüzeyinde zayıf nokta olan pencere boşluklarında hissedilir. Çoğunlukla bu durumda oluşan hasar türü, pencere köşelerinden başlayan eğrisel çatlaklar şeklinde karşımıza çıkarlar (Dereli, 2004).

## iii. Biyolojik Etkenler (Biological Factors)

Yosun, mantar, bakteriler, kemirici hayvanlar, asalak bitkiler gibi mikroorganizmalar, organik malzemeler üzerinde etken olduğu gibi inorganik malzemeler üzerinde de zararlı etkiler oluştururlar. Bitki köklerinin asit çıkartarak taşların yumuşamalarına neden olduğu, kumlar üzerinde üreyen bir tür bakterilerin sıva karışımları, boya bileşimlerini bozduğu ve hasarlara yol açtığı gözlenmiştir. Mikroorganizmaların üremesi, rutubetli ve havalandırılmayan karanlık yerlerin etkisi ile kolaylaşır. Bu yüzden, cephe kaplaması iç ve dış ortam arasındaki su buhar geçişine olanak vermelidir (Ersoy, 1989). Cephe yüzeyinde oluşan bitki, yosun, bakteri ve mikroorganizmalar kaplamaya hasar vereceği gibi istenmeyen kötü kokulara ve görüntü bozukluklarına yol açmaktadır (Dereli, 2004).

Kuşların bina cephelerine verdikleri hasar şekli, dışıkları ile yüzeyi kirletmeleridir. Binaların belli bölgelerinde (Saçaklar, kornişler, denizlikler) pisliklerin birikmesine ve cephelerin tahrip olmasına neden olmaktadır (Dereli 2004).

## İnsan Hataları (Human Faults)

Cephe kaplamalarında fiziksel hasarın ortaya çıkmasında insandan kaynaklı hatalar etkili olmaktadır. Yapılan yanlışlıklar sonucunda doğal olaylar ve canlıların etkisi ile dış sıvalarda hasar ve kusurun oluşması kaçınılmaz hale gelmektedir. İnsan etkisiyle ortaya çıkan sorunlar daha çok bilgi eksikliği ve dikkatsizlik sonucunda oluşmaktadır. Hasar ve kusur oluşum sürecinde insan faktörünü aşağıda belirtilen başlıklar halinde toplamak mümkündür.

- a) Yanlış detay tasarımı
- b) Yanlış uygulama
- c) Binanın yanlış kullanımı ve bakımı (Koç, 2000).

Araştırmaya konu olan yapının cephesinde oluşmuş hasarlar yukarıda bahsedilen başlıklar altında ele alınacaktır.

## Malzemenin Kendinden Kaynaklanan Sorunlar (Problems Arising From the Material Itself)

Yukarıda ele alınan konular ışığında cephede meydana gelen, insan etkisiyle yapılan hatalar ve devamında doğal olaylar ve canlılardan kaynaklanan etkenlerin aktif hale gelerek, malzeme üzerinde hasar oluşturduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Meydana gelen bu fiziksel hasarlar cephe

kaplama malzemesini oluşturan bileşenlerin iç yapısından, harçlı malzemeler için kullanılan harç türlerinden, agrega tür ve karışım oranlarından kaynaklanabilmektedir (Dereli 2004).

Çoğunlukla malzeme iç yapılarının bilinmemesi, yanlış uygulamalar ile hasar oluşumuna sebep olabilmektedir. Farklı özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılması sırasında bazı önlemlerin alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu da gösteriyor ki doğru malzemenin seçimi ve uygulanması gerekmektedir. Bu durumun insan kaynaklı olması sebebiyle, doğru planlama, kalifiye uygulama ve düzenli bakım onarımların zamanında yapılması ile yapının ömrü uzayacaktır (Dereli 2004).

#### ALAN ÇALIŞMASI (CASE STUDY)

Yapı cephelerinde hasar oluşması sadece tek bir etkiyle meydana gelebileceği gibi birden fazla unsurun bir araya gelmesiyle de oluşabilir. Örneğin atmosferik etkiler tüm yapıların cephelerinde etkilidir, ancak bazı yapılarda hasarlar oluşmaz. Özellikle insan hataları nedeniyle, bu etkiler aktif hale gelip cephe kaplama malzemeleri üzerinde hasar oluşturabilirler. Örneklenen yapı üzerinde tespit edilen hasar nedenlerinin analizi yapılmıştır.

#### Yanlış Detay Tasarımından Kaynaklanan Hasarlar (Damages Arising From Wrong Detail Design)

Su, yapım sırasında yapı için çok önemlidir. Bağlayıcı içerikli tüm malzemelerin suya ihtiyacı olur. Ancak yapımı tamamlanmış, gerekli mukavemetini almış harç ve benzeri yapı malzemelerinin artık su ihtiyacı kalmamaktadır. Tamamlanmış yapı için artık su sadece hasar oluşturan etki yaratacaktır. Bu sebeple yapı cephesini ilgilendiren su ile ilgili tüm unsurlara önlem almak gerekir. Gerekli yerlere su yalıtımı yapılırken bazı yerlerde de tasarım olarak önlemler alınabilir. Basit bir tasarımla oluşturulan damlalıklar yağmur ya da yıkama sularının cephe yüzeyinde tutulmalarını engelleyerek ve bu noktalardan akmasına sebep olmaktadır. Akmaya başlayan sular, balkon ve benzeri yatay çıkmaların damlalık düzenlenmemiş döşemelerinde yüzeye tutunurlar. Uzun süre etkili olan su kaplama malzemesi bünyesinde hasara yol açmaktadır (Resim 1-2).

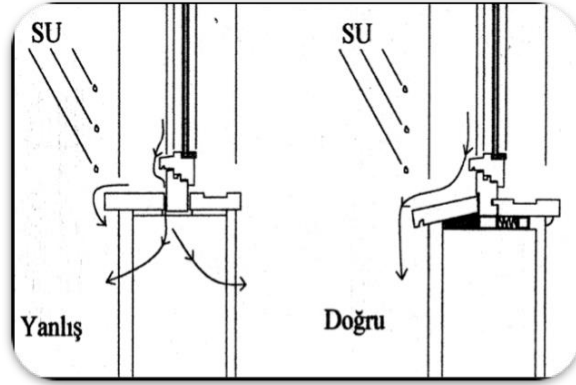


**Resim 1.** Damlalık detayı yapılmamış balkon  
*Figure 1. Balcony without dropper detail*



**Resim 2.** Balkonun hasara uğramış kısımlarının genel görünüşü  
*Figure 2. General view of the damages on the balcony*

Pencere denizliklerinde suyun duvar bünyesine girmesine engel olacak şekilde detaylar geliştirilmelidir. Kasa ve denizlik birleşim yerlerine elastik dolgular uygulayarak su yalıtımı sağlanmalıdır. Yağmur sularını bu noktalardan uzaklaştırmak için eğimli ve damlalıklı detaylar geliştirilmelidir (Resim 3). Resim 4' te görüldüğü üzere yağmur sularının denizliklerden damlamaması sonucunda hasarlar oluşmuştur.



**Resim 3.** Pencere denizliklerinde (Doğru-Yanlış) damlalık detayı.

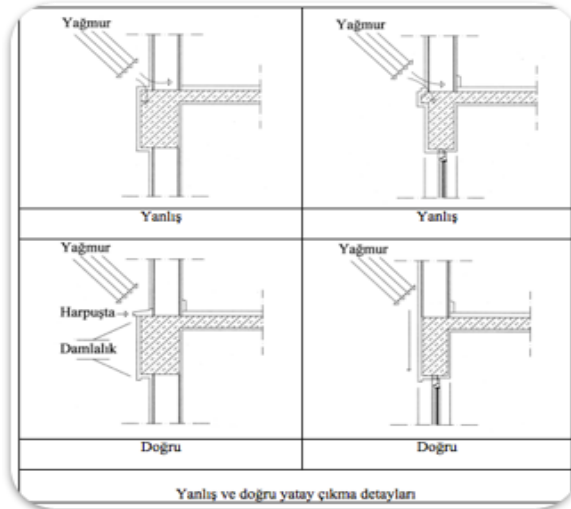
*Figure 3. (Wright-wrong) dropper detail in window sill*



**Resim 4.** Damlalık yapılmamış pencere denizliğinde meydana gelen hasarlar

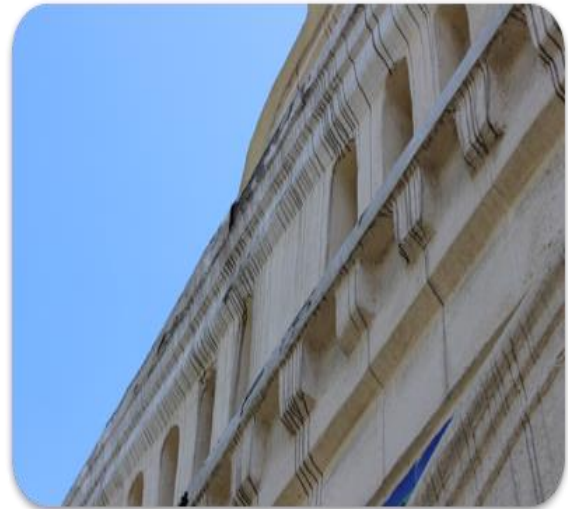
*Figure 4. Damages in window sills without dropper*

Duvar üzerinde suyun hareketini kolaylaştıracak biçimde akıntı verilmemiş kornişlerden, tasarımı hatalı yapılmış çıkmalardan suyun duvar bünyesine girmesiyle hasarlar oluşur. Yanlış detaylandırma sonucunda yapılan yatay çıkmalarda yağmur suları bu bölgede uzun süre malzeme ile temasta kalacak ve cephe kaplama malzemesine zarar verecektir (Resim 5). Ayrıca çevrede bulunan toz vb. parçacıklar, araçlardan yayılan egzoz dumanı gibi kirletici unsurlar bu kornişlerde birikinti oluştururlar. Gerekli düzenleme yapılmadığı takdirde yağmur suları ile birleşen bu kirleticiler cephe yüzeyine akacak ve kaplama üzerinde istenmeyen görüntüler ortaya koyacaktır (Resim 6).



**Resim 5.** (Doğru-Yanlış) Yatay çıkma (Korniş) detayları

*Figure 5. (Wright-wrong) horizontal projection (cornice) details*



**Resim 6.** Kornişlerde oluşan kirlenmeler

*Figure 6. Pollution in cornices*

Zeminden uzaklaştırılmayan sular çatlaklardan sızarak yapının toprakla birleştiği yüzeylerden malzeme ile temas etmeye başlarlar. Bu bölümlerde yapının temelinden itibaren su yalıtımının yapılmış olması gereklidir. Su yalıtımı olmayan bölümlerde yapı malzemesi suyu basınç nedeniyle bünyesine almaya başlar. Malzeme bünyesinde yer alan boşluklardan kılcal yolla (kapiler) yükselerek yapı malzemesinin ıslanmasına neden olurlar. Bu ıslanma, Bölüm 2' de belirtilen etkenlerin aktif olmasıyla özellikle yapının zeminle birleştiği noktalarda yoğunlaşmış hasarlar meydana gelmiştir. Aşağıda görülen Resim 7 ve Resim 8 aynı noktadan çekilmiştir. Yağmurlu bir zamanda çekilmiş fotoğrafta da görüldüğü üzere yağmur suları zeminle yapının birleştiği noktalardan malzeme yüzeyinin ıslanmasına neden olmuştur (Resim 8).



**Resim 7.** Yapı malzemesinde kapiler su etkisi ile meydana gelen hasar.

*Figure 7. Damage occurred in building material with the capillary water effect*



**Resim 8.** Resim 7'de görülen hasar bölgesinin yağışlı bir günde görüntülenmesi.

*Figure 8. The view of the damaged region in Figure 7 in a rainy day*

Yapıların zeminle birleştiği bölümlerde doğru düzenlenmelerin yapılması gereklidir. Zemine gelen suların yapı ile zemininin birleştiği noktada kalması ile hasar oluşturan nedenler ortaya çıkar. Suyun yapıdan uzaklaştırılması için uygun eğimli bir kaldırım düzeni sağlamak gereklidir. Yapı çevresinde oluşturulacak kanallar ile yağmur sularının yapının temelinden uzaklaştırılmasını sağlayacak çözümler üretilmelidir (Resim 9-10).



**Resim 9.** Yapının zeminle birleştiği noktalarda yanlış detaylandırmalar.

*Figure 9. Wrong details on the junction points of building and ground*



**Resim 10.** Yağmur indirme borusundan gelen sular yanlış detay sebebiyle zeminden uzaklaştırılmıyor.

*Figure 10. The water coming from the rain water drainage pipe cannot be removed from ground because of the wrong detail*

Çalışmaya konu olan yapının bitişik olduğu komşusu arasında derz boşluğu uygun biçimde tanzim edilmemiştir. Bu nedenle söz konusu yapı, komşu binanın hasar oluşturan etkilerine maruz kalmıştır. Bunun sebebi, detayı oluşturan uygulama hataları ile bakım ve onarımın düzenli yapılmamasından kaynaklanır. Oluk hizasından iki yapının birleşim noktasına sızan sular zamanla bozulmaya neden olmuşlardır (Resim 11).



**Resim 11.** Bitişik yapılarda dilatasyon derzi düzenlenmemesi ile oluşan çatlaklar ve komşu binada saçak detayı sorunları.

*Figure 11. The cracks formed because of the lack of dilatation pointing in adjacent buildings and eaves detail problems in the neighbor building*

Söz konusu yapı ile komşusu arasında derz boşluğu tanzim edilmeli, bu sebeple hem yapıların farklı oturmaları hem de yüzey malzemeleri arasında genişleme farklarının oluşturacağı çatlakların önlenmesi sağlanabilecektir (Resim 12). Bu tür birleşim noktalarının hareketliliğe izin verir biçimde düzenlenmesi (derz boşluğunun elastik malzemelerle doldurulması) gerekirken cephe hattında alüminyum profil çıta vb. malzeme ile gizlenmesi önerilebilir. Aksi takdirde Resim 13’de görülen derz çatlağı oluşup Bölüm 2’de bahsi geçen hasar oluşturucu etkilerden bir veya birkaçı birleşerek bu noktada hasarın büyümesine neden olurlar.



**Resim 12.** Yapının komşu bina ile olan ilişkisinin genel görünüşü.

*Figure 12. General view of the relationship between two buildings*



**Resim 13.** Dilatasyon derzi yapılmamış kısımlarda oluşan çatlaklar.

*Figure 13. The cracks occurred in sections without dilatation pointing*

Yağışlar yoluyla atmosferden gelen sular, içlerinde çözülmüş değişik kimyasal maddeler taşır. Bu maddeler yapı elemanlarına zarar veren bir etkiye sahiptir. Islanmış malzeme içerisinde bulunan ve içinde çözülmüş kimyasallar barındıran su, kuruma devresinde yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Ancak buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözülmüş tuzlar, malzemenin dış yüzeyinde çiçeklenme adı verilen yüzeysel bir oluşuma neden olur (Resim 14-15).





**Resim 14.** Su etkisine maruz kalmış hasarlı yüzeylerde çiçeklenme.

*Figure 14. Florescence on damaged surfaces affected by water*



**Resim 15.** Çiçeklenmenin görsel kirlilik oluşturması.

*Figure 15. Visual pollution formed by florescence*

### Yanlış Uygulamalardan Kaynaklanan Hasarlar (Damages Arising From Wrong Applications)

Isı etkisi malzemelerde farklı genleşmelere neden olurlar. Farklı malzemelerin beraber kullanıldığı yerlerde elastik malzemelerin kullanılması ile farklı genleşme ve büzülme sonrası fiziksel değişiminin hasar oluşturmaması sağlanabilir. Söz konusu yapıda görülen bazı hasarların bu sebeple oluştuğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki Resim 16 ve Resim 17'de yağmur indirme borusunun sabitlenmesi için açılan deliğin etrafının zamanla çatlaması ve kaplama üzerinde oluşturduğu çatlaklar görülmektedir. Yeteri kadar genleşme alanı bulamayan metal vidalar bu tarz hasarlar meydana getirebilirler. Bu tür uygulama noktalarında dübel ile birlikte delik içine elastik bir malzeme takviye edilmelidir.



**Resim 16.** Montaj için kullanılan vida deliği, genleşme farklılığından meydana gelen çatlaklar.

*Figure 16. The screw hole used for montage, cracks occurred because of expansion differentiation*



**Resim 17.** Genleşen çatlaklardan parçalar kopmaya başlayarak zaman içinde hasarlar büyümektedir.

*Figure 17. Pieces break off from expanded cracks and damages get bigger*

Yapı bünyesine eklenen bazı cihazların (genellikle klima) cephe yüzeyine eklenirken yapılan hatalar zamanla büyüyen hasarlar şeklinde karşımıza çıkarlar (Resim 18-19). Bu tarz cihazların yerleştirilmesinde malzeme farklılıklarından kaynaklanan ısı etkisi ve su etkisinin zararları olacağı düşünülmelidir. Bu cihazların yerleştirilmesinde ısı etkisi ile farklı genleşmeler olmaktadır. Ayrıca cihazların bulunduğu yüzeylerde suyun uzun süreli kalabileceği düşünülerek uygun detay çözümleri üretilmelidir.



**Resim 18.** Yapı cephelerine montajı yapılan klima soğutucu elemanları.

*Figure 18. Air conditioner cooling elements mounted on building facades*



**Resim 19.** Yapıya sonradan eklenen dış aydınlatma elemanlarının montajı sırasında oluşan hasarlar.

*Figure 19. The damages occurred during the montage of outer lightening elements added to the building later*

### **Binanın Yanlış Kullanımı ve Bakım Eksikliğinden Kaynaklanan Hasarlar (Damages Arising From Wrong Usage of the Building and the Lack of Maintenance)**

Düşey yağmur indirme borularının su sızdırması ya da birleşim yerlerinden ayrılması sonucunda su etkisi bozucu olmaya başlayacaktır. Yüzeyle temas etmeye başlayan su, emme (kılcal) yoluyla malzeme bünyesine girecektir. Ayrıca ısı farkları önceden meydana gelecek çatlaklarda su ile dolacaktır. Resim 20-21’de görüldüğü üzere özellikle kış aylarında yağışlara maruz kalan, gece ve gündüz sıcaklık farkları ve don olayları sebebiyle malzeme yüzeyine yansıyan bozulmalar meydana gelecektir.



**Resim 20.** Yağmur indirme borularının işlevini yerine getiremeyecek şekilde hasar görmesi.

*Figure 20. Badly damaged rain water drainage pipes*



**Resim 21.** Yağmur borularında bakım onarım yapılmaması sonucunda su etkisi cephe kaplama malzemelerinde hasar oluşturur.

*Figure 21. Water effect causes damage on facade covering materials if the rain drainage pipes are not repaired*

Yapılarda düzenli bakım ile hasar ve kusur oluşumunun önlenmesi mümkün olmaktadır. Yapı elemanlarının bakım ve onarımının zamanında yapılmaması ile doğal olaylar ve canlıların etkisi karşısında fiziksel hasara uğraması muhtemeldir. Yağmur indirme borularının yerinden düşmesi ve bu bölgelerde sürekli ıslanma olması ile hem yapı malzemesi bozulmakta hem de bu bölgelerde mikroorganizmalar, yosunlar vb. canlılar oluşmaktadır. Bu canlılar hem görüntü olarak hem de yaydıkları koku itibarıyla istenmeyen durumlar ortaya koyarlar (Resim 22-23).



**Resim 22.** Suyun yüzeyde etkili olmasıyla oluşan canlılar.

*Figure 22. The living creatures occurred with the water effect on the surface*



**Resim 23.** Meydana gelen yosunlar hem görüntü hem de koku anlamında kötü durumlar oluştururlar.

*Figure 23. The moss causes bad situations in both visual and odor sense*



**Resim 24.** Kuşlar yapı cephe kaplamalarına zarar verebilirler.

*Figure 24. The birds can give harm building facade coverings*



**Resim 25.** Kuş dışkılarının hem bozucu etkisi hem de görüntü kirliliği oluşturma özelliği vardır.

*Figure 25. Bird feces have both deterioration effect and character of causing visual pollution.*

Yağmur indirme borularına tünemiş kuşların dışkıları cephe kaplama malzemesinin kirli görünmesine sebep olur. Ayrıca yağmur suları ile birleşerek malzeme yüzeyinde aşındırıcı bir etki yaratırlar (Resim 24-25).

#### **Malzemenin Kendinden Kaynaklanan Hasarlar (Damages Arising From The Materia Itself)**

Taşların ve tuğlaların yüzeylerinin geçirimsiz kaplama malzemesi ile kaplanması sonucunda kaplama altında bozulan taş ya da tuğla ile bağlanma özelliği kalmaz ve boşluklar oluşur. Darbeler ya da şiddetli rüzgârlar ile bu kısımlarda kaplamaların dökülmesine sebep olur (Resim 26). Halk dilinde hastalanmış taş olarak kabul edilen bu taş ve tuğlaların özelliğini kaybettiği noktaya kadar yenisi ile değiştirilmesi gereklidir (Resim 27). Hastalanmış şekilde bırakılan taşların üzerine yapılacak her türlü yeni kaplamalar da tutunamayıp bozulmaya uğrayacaklardır.



**Resim 26.** İç yapısı bozulmuş taş yüzeylere yapılan kaplamalarda meydana gelen hasarlar.  
*Figure 26. Damages occurred on the coverings applied on stone surfaces with deteriorated inner structure*



**Resim 27.** İç yapısı bozulmuş ve çatlaklar oluşmuş taş. (hastalanmış taş)  
*Figure 27. The stone with deteriorated inner structure and has cracks*

Yapı cephesini oluşturan sadece cephe kaplama malzemesi değil, duvar bütününde bir araya gelen malzemelerin hasarlarda rol oynayıp oynamadığının tespit edilmesi gereklidir. Duvar bütününde kullanılan malzeme iç yapısı bozulmuş ise bu bozulmalar zamanla cephede hasar şeklinde karşımıza çıkarlar. Genellikle tuğla ya da taşların bünyesinde meydana gelen değişiklikler nedeniyle zamanla hacimlerinde kaybolmalar başlar (Resim 28). Bunlar genellikle bünyesinde bulunan kılcal çatlakların suyla dolması ve donma çözülme etkisi ile oluşan basınçla malzemenin dağılması şeklinde karşımıza çıkarlar (Resim 29).



**Resim 28.** Özelliğini kaybetmeye başlamış tuğla.  
*Figure 28. Brick which started to lose its characteristics*



**Resim 29.** Hem tuğla hem de üzerinde bulunan kaplamalar tamamen hasara uğramıştır.  
*Figure 29. Both the brick and its covering are completely deteriorated*

## SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND PROPOSALS)

Konya PTT Hizmet Binasının ayrıntılı analizi sonucunda, hasarların sadece cephe kaplama malzemelerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Yapı cephe kaplama malzemelerinde meydana gelen hasarların değerlendirmeleri ve çözüm önerileri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Bölüm 1.3.1' de ele alınan su etkisi, genellikle bozulma ne şekilde başlarsa bu kısımda sorunların büyümesine neden olurlar. Gerekli önlemlerin alınması durumunda su etkisi bozucu olmaktan çıkacaktır. Yapıyı etkileyen önemli sorunlardan birinin zeminden emilerek yükselen sular (kapilerite) olduğu görülmektedir. Bu şekilde basınçlı yeraltı suları, zemine sızan sular uygun bir drenaj sistemi olmaması ve toprakla temas eden yüzeylerin su yalıtımının yapılamadığı durumlarda malzemenin kanallarının suyla dolmasına ve kapiler olarak yükselmesine neden olmuşlardır. Sıcaklık farkları ve don olayları ile birleşen su etkisi yapının zeminden başlayan ve yer yer kopmalar şeklinde

karşılaştığımız hasarları oluşturmuşlardır. Bu noktada zemin sularının malzeme bünyesine geçmesini engellemek için kısmi kazılar yapılarak malzemenin toprakla birleştiği noktalarda su yalıtımı yapılmalıdır. Ayrıca diğer şekillerden zemine ulaşan ve yeraltına sızabilecek sular (yağış yoluyla, yıkama suları vb.) yapıdan başlayarak suyun uzaklaştırılabileceği kaldırım düzenlemeleri yine bu kaldırımların içine yerleştirilecek gizli kanallar ile suyun yapı zeminine sızması engellenmelidir.

- Bölüm 2.1’de yanlış detay tasarımından kaynaklanan hatalara örnek olarak yapının balkon çıkmasında damlalık detaylarının düşünülmemesi gösterilebilir. Bu noktada su etkisi ile bozulmuş yüzeyler tespit edilmiştir. Damlalık detayı yapılmadığından su yüzeye fazlaca tutunmuş ve öncesinde meydana gelen kılcal çatlaklar sebebiyle bozulmalar başlamıştır. Bu sorunun önlenmesi için suyun yatay çıkma yüzeylerine tutunmasını engelleyecek damlalık düşünülmalıdır. Son kat kaplama malzemesi ile suyun damlamasını sağlayacak detaylandırma mümkün olabilir.
- Yatay çıkmalardakine benzeyen sorun, pencere ve kornişlerde de damlama olayının gerçekleşmemesi sonucu bozucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktalarda damlamayı kolaylaştıracak denizlik ve korniş detayları geliştirmek gerekir. Bazı durumlarda bu yüzeylerden akmayı kolaylaştıracak ve damlalık teşkil edilecek kaplama malzemesi seçilmelidir.
- Yağış suları yapıdan uzaklaştırılırsa bozucu etkisi de olamaz. Yağış sularının yağmur indirme borularından sızdığı, bu boruların parçalarının koptuğu, ya da zemine inen borunun bitişinin yapıdan uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Bu noktadan itibaren alınması gereken önemli tedbir acilen bakım onarımın yapılarak zamanında müdahale edilmesi sağlanmalıdır. Kısacası yapının bakım ve onarımlarının düzenli olarak yapılması gereklidir.
- Yapının komşu binası ile bitişik olması nedeniyle bu noktalarda genleşme (ısı etkisi) ya da su (su etkisi) sorunları ile bozulmalar olduğu tespit edilmiştir. Mümkün olması durumunda dilatasyon derzi oluşturabilmek ya da en azından birleşim noktasında derz çitası kullanmak gerekir. Komşu binanın saçaklarından sızan suların söz konusu yapıya ulaşmasını engellemek için su yalıtımı gereklidir.
- Bölüm 1.3.1’de ele alınan ısı etkisi altında sorunların temel kaynağını oluşturur. Farklı malzemelerin bir arada kullanıldığı kısımlarda farklı genleşme oranları ile kılcal çatlaklar meydana gelmektedir. Bu çatlaklar zaman içinde diğer fiziksel etkilere maruz kalarak büyümeye başlar. Buna benzer sorunlar yapıda da tespit edilmiştir. Özellikle yüzeye montaj sırasında kullanılan dübellerin yeterli esnekliği gösterememesi ya da uygun imalatının yapılmaması gibi durumlardan oluşan hasarlar Bölüm 3’te gösterilmiştir. Bu tür noktalarda ve farklı yapı malzemelerin birleşim yerlerinde genleşme ya da büzülme izin verecek esnek malzemelerle desteklenmesi gerekmektedir.
- Yapı cephesine eklenen klima, aydınlatma elemanları vb. cihazların uygun detaylandırılması gerekmektedir. Sonradan yapılan bu tür montajların yüzeye temas eden noktalarında hasarlar gözlenmiştir. Uygun malzeme seçimi, uygun montaj önemlidir. Bu noktalarda yapılacak işçilik hatalarının önlenmesi için öncesinde planlama yapılması gereklidir.
- Bakım onarımın gecikmesi nedeniyle, yağmur sularının oluşturduğu, malzeme yüzeylerinde kesitin azalması ve bu noktalarda kötü koku yayan canlı oluşumlarının giderilmesi için yüzeyin kurutulmasının sağlanması hastalanmış taş ya da tuğlaların çürütülmesi ve yerine yenisinin konulması gerekmektedir.
- Bölüm 2.4’te malzeme özelliklerinin hasarların oluşmasında rol oynayabileceği anlatılmıştır. Yapılarda kaplama malzemesinin nefes alan bir malzeme olması gerekir. Söz konusu yapıda, üzerine kaplama yapılan taşların yoğuşma etkisi ile hasara uğradığı görülmüştür. Nefes alamayan taş malzeme don etkisi ile parçalanmış kısmi kopmalar oluşmuştur. Parça kopmaları devam edeceğinden hasara uğramış taşın hasarlı olduğu kısım kadarının yenilenmesi gerekir.
- Kuşların dışıklarının cepheye zarar verdiği görülmüştür. Bu sebeple yağmur indirme borularının yatay kısımlarında kuşların tünemesini engelleyecek çözümler üretilebilir.
- Yapının zeminle birleştiği kısımların ve yakın çevresinin doğru detaylarla düzenlenmesi gereklidir. Yapıda yağmur indirme borularının bir kısmının tretuvar içinde kaldığı bu noktalarda su birikmesi olduğu gözlenmiştir. Yapının zeminle birleştiği yerden itibaren eğim verilerek yapıdan suyun

uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Buna göre uygun yağmur indirme boruları tanzim edilmeli gizli kanalları ile yağış suları yapıdan uzaklaştırılmalıdır.

- Klima boruları rastgele düzenlenmiştir. Klimaya ait terleme borularının su kanallarına uygun detaylar ile yerleştirilmesi gerekmektedir.

Yapı iç mekanlarında ve iç yüzey kaplama malzemelerinde herhangi bir sorun görülmemektedir. Ayrıca yapı bütününde taşıyıcı sistemi etkileyen herhangi bir hasar da tespit edilememiştir. Bu sebeple yapıya yapılacak müdahalenin basit onarım olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapının tarihi kimliğinin korunması ve tescilli olması sebebiyle cephe kimliğini değiştirmeden küçük müdahaleler ile onarımların yapılabileceği gözlenmiştir. Yukarıda bahsedilen öneriler dikkate alınarak gerekli çalışma planının hazırlanması, tescilli yapı olması sebebiyle gerek müellif gerekse koruma ilkelerine uygun işlemin yapılacağı konusunda hazırlıklar yapılmalıdır. Basit onarımların acilen yapılmasıyla, yapı üzerinde kalıcı hasar oluşturabilecek etkilerin ortadan kaldırılması mümkün olacaktır.

Sonuç olarak Konya PTT Hizmet Binası tarihi bir mirastır. Cephe kaplama malzemelerinde meydana gelen hasarlar basit onarımlarla halledilebilecek durumdadır. Gerekli müdahale yapılmaması halinde yapının kalıcı hasarlara uğramasına neden olabilecektir. Bu sebeple hasarların giderilmesi için yapıya acilen müdahale edilmesi gereklidir.

#### **BİLGİLENDİRME (ACKNOWLEDGEMENT)**

Bu çalışma, 2004 yılında Nazım Koçu danışmanlığında tarafımdan (Mustafa DERELİ) yapılan “Konutlarda Dış Sıva Hasarlarının Çözüm Yolları ve Alternatif Sıva Denemeleri (Konya Örneği)” isimli yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Aygün, M., 2007, *Konya PTT Hizmet Binası Röleve Restorasyon Raporu*, Yayınlanmamış Röleve Restorasyon Raporu, Ocak, Konya.
- Baran, F., 2015, “Docomomo Türkiye Ulusal Çalışma Grubu, Yapı/Yerleşim Tanıtım Formu”, PTT Binası, Kasım, Konya.
- Demirkan, B., 1986, “Mimaride Bölgesel Koşullara Göre Cephe Teşkili ve Malzeme Seçimi”, *İç ve Dış Duvar Malzemeleri ve Kaplamaları Semineri*, Yem, Ocak, İstanbul.
- Dereli M., 2004, *Konutlarda Dış Sıva Hasarlarının Çözüm Yolları ve Alternatif Sıva Denemeleri (Konya Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış, Konya.
- Eriç, M., 1987, “Yapıda Sıva Uygulamaları ve Sorunları”, *Dizayn Konstrüksiyon İnşaat Dergisi*, S.29, ss. 38-40, İstanbul.
- Eriç, M., 1988, “Malzemeye ve Yapıya Etkili Olan Su Sorunları”, *Yapı Dergisi*, S.81, ss. 35-39, Ağustos, İstanbul.
- Eriç, M., 1994, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Literatür Yayıncılık, Nisan, İstanbul.
- Ersoy, H., Y., 1989, “Cephelerin Korunması ve Sıva”, *İnşaat Malzemeleri ve Uygulamaları Dergisi*, S.16, ss. 16-39, İstanbul.
- Karpuz H., 2009, *Türk Kültür Varlıkları Envanteri*, Konya 42 Cilt 1, PTT Binası, Ankara.
- Koç, İ., 2000, *Konut Kooperatif Yapılarında Görülen Hasar ve Kusurların, Kooperatifin Yapısal Özellikleri Bakımından İrdelenmesine İlişkin Bir Model Önerisi; 1980 Sonrası Konya Örneği*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış, İstanbul.
- Koçu, N., Korkmaz, S., Z., 2003, “Konya Çevresindeki Yapılarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının TS 825’e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi”, *TMMOB, Makine Müh. Odası, Yalıtım ve Enerji Kongresi*, Eskişehir, 21-23 Mart 2003.
- Özer, M., 1982, *Yapılarda Isı-Su Yalıtımları*, Özer Yayınları:3, İstanbul, Sayısal Grafik Web Sitesi, [www.sayisalgrafik.com](http://www.sayisalgrafik.com).
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., 2000, *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*, Literatür Yayıncılık,

Temmuz, İstanbul.

Vural, M., S., 1997, "Kargir Yapı Dış Yüzeylerinde Boya Uygulamalarına Yönelik Sorunların Belirlenmesi ve Çözüm Önerileri", Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Yayınlanmamış, İstanbul.

## DETERMINATION OF SOUND TRANSMISSION LOSS IN LIGHTWEIGHT CONCRETE WALLS AND MODELING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

<sup>1</sup>Mustafa TOSUN, <sup>2</sup>Kevser DİNCER

<sup>1</sup>Department of Architecture, Faculty of Architecture, Selçuk University, 42031 Selçuklu, Konya, Turkey

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Selçuk University, 42031 Selçuklu, Konya,  
Turkey

<sup>1</sup>mutosun@selcuk.edu.tr., <sup>2</sup>kdincer@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 24.10.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.12.2017)

**ABSTRACT:** In this paper, analysis of sound transmission losses through lightweight concrete walls was conducted against the high way traffic noises. The walls are generally used for thermal insulation purposes in Turkey. Sound transmission was modeled using ANN. Input parameters frequency, density of lightweight concrete wall and thickness of lightweight concrete wall structure ( $f$ ,  $M$ ,  $d_2$ ) and output parameter TS were described.

When the outcomes of the TS analysis and those of ANN modeling are summarized together; Sound transmission losses improve with higher frequencies, higher wall densities and increased wall cross sections. Regardless of sufficient thermal insulation of single layered lightweight concrete walls as stipulated by the Turkey Institute of Standards (TSE 825), the wall cross sections were found to be insufficient in terms of sound transmission. Beside thermal insulation of the single layered lightweight concrete walls' regulations, it was found with this study that, it is also necessary to analyze sound transmission lossess, after which the wall cross sections should be sized.

**Key Words:** Artificial neuron network (ANN), Lightweight concrete wall, Sound transmit loss

### Hafif Beton Duvarlarda Ses İletim Kaybının Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağının Modellenmesi

**ÖZ:** Bu makalede, ana yolu trafik gürültüsüne karşı hafif beton duvarlardan ses iletim kayıplarının analizi yapılmıştır. Duvarlar genellikle Türkiye'de ısı yalıtım amacıyla kullanılmaktadır. Ses iletimi ANN kullanılarak modellenmiştir. Giriş parametreleri frekans, hafif beton duvarın yoğunluğu ve hafif beton duvar yapısının kalınlığı ( $f$ ,  $M$ ,  $d_2$ ) ve çıkış parametresi TS tanımlanmıştır. TS analizinin sonuçları ve modelleme sonuçları birlikte özetlendiğinde; ses iletimi kayıpları daha yüksek frekanslar, daha yüksek duvar yoğunlukları ve artan duvar kesitleri ile gelişir. Türkiye standart Enstitüsü (TSE 825) tarafından öngörülen tek katmanlı hafif beton duvarların yeterli ısı yalıtımına bakılmaksızın, duvar kesitlerinin ses iletimi açısından yetersiz olduğu bulunmuştur. Tek katmanlı hafif beton duvarların düzenlemelerinin ısı yalıtımının yanı sıra, bu çalışmada, ses iletimi kayıplarını analiz etmek için de gerekli olduğu ve daha sonra duvar kesitlerinin boyutlandırılması gerektiği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağı, Hafif beton duvar, Ses iletim kaybı

#### Nomenclature

$d$	thickness of lightweight concrete wall, m
$f$	frequency, Hz
$L_m$	suggested noise criteria in various indoor areas, dB
$L_o$	main artery noise level, dB
$M$	density of lightweight concrete wall, kg m <sup>-3</sup>



MRE	mean relative error
R	overall thermal resistance value, $m^2 KW^{-1}$
$R_i$	inner surfaces, $m^2 KW^{-1}$
$R_o$	outer surfaces, $m^2 KW^{-1}$
$R_0$	sound reduction index, dB
$R_w$	total thermal resistance of the lightweight concrete wall
STL	sound transmission loss, dB
TS	transmitted sound, dB
U	thermal conductivity, $W m^{-1} K^{-1}$
L	difference between sound transmission loss of lightweight concrete wall and suggested noise criteria in various indoor occupied functional areas, dB
$L_{1/1, \max \text{ value}}$	maximum value for 1st climatic region/1st indoor areas, dB
$L_{1/1, \min \text{ value}}$	minimum value for 1st climatic region/1st indoor areas, dB
$L_{1/1, \text{ crv}}$	criteria value for 1st climatic region/1st indoor areas, dB

## INTRODUCTION

There are various methods for predicting sound transmission loss of walls and floors that can be used by noise control engineers. It is important to know how accurate these methods are for typical constructions used in building acoustics. Results are presented for a number of different constructions showing how accurately the results of predictions match experimental laboratory results. The results will show the accuracy over the frequency range of 50 to 5,000 Hz. Both single and double partitions will be discussed. (Ballagh, 2004). There have been many studies on sound transmission loss in walls. Some are briefly mentioned below. Vigran (2009) conducted a study on prediction of sound reduction index of finite size specimen by a simplified spatial windowing technique. Legault and Atalla presented numerical and experimental investigation of the effect of structural links on the sound transmission of a lightweight double panel structure. Wang et al., (2005) examined sound transmission through lightweight double-leaf partitions by using a theoretical modelling. They noted that theoretical modelling of the sound transmission loss through double-leaf lightweight partitions stiffened with periodically placed studs. The models are used to explain the effects of incidence angle and of various system parameters. The predictions are compared with the existing test data for steel plates with wooden stiffeners, and good agreement is obtained.

Double drywalls composed of plasterboards have excellent characteristics such as light weight, easy installation, fire resistance and high sound insulation performance, and are often used for separating walls in apartment houses, hotels and office buildings. Recently, the requirement for sound insulation of building walls has become more strict according to the change in lifestyle and the standard of living. In addition, drywall construction is often applied to recording studios and cinema-complex buildings. In such cases, an extremely high sound insulation performance is required (Matsumoto et al., 2006). Active noise control technology has been used to increase the sound transmission loss of double-wall structures. Several approaches have been put forward and explored individually. However, no comparative study on those approaches has been conducted to show which approach is more effective for given circumstances (Bao and Pan, 1997). There are a variety of noise sources within the indoor noise environment of residential buildings. In particular, multi-storey buildings or neighboring apartment units which share wall, ceiling and floor structures provide structure-borne sound paths for the propagation of floor impact, airborne, and drainage noises (Jeona et al., 2010). The action of courtyard houses in reducing the noise nuisance from road traffic is examined using the techniques of computer simulation and acoustic scale modelling. This building form is found to be capable of reducing the noise level experienced within a protected space (indoor or outdoor) by a significant amount. For a courtyard house a fixed distance from a roadway, the most significant parameter, is found to be the height of the courtyard walls (Oldhama and Mohsen, 2003).

ANNs are good for some tasks while lacking in some others. Specifically, they are good for tasks involving incomplete data sets, fuzzy or incomplete information, and for highly complex and ill-defined problems, where humans usually decide on an intuitional basis. They can learn from examples, and are able to deal with non-linear problems. Furthermore, they exhibit robustness and fault tolerance. The tasks that ANNs cannot handle effectively are those requiring high accuracy and precision as in logic and arithmetic. ANNs have been applied successfully in a number of application areas (Kalogirou, 2003). An artificial neural network is a model of a biological neural network. The fundamental processing element of a neural network is a neuron, while the weighted connection is served as the synapse. The neuron receives inputs through the weighted connections, combines them in some way, performs generally a nonlinear operation on the result and then outputs the final result. ANNs have large numbers of neurons connected in a massive paralel structure (Zhang, 2005). ANN methods are applied in thermal energy practices, and also in different sub-disciplines of engineering science such as modeling of a thermal insulation system based on the coldest temperature conditions, (Tosun and Dincer, 2011), modeling fuel consumption in wheat production (Safa and Samarasinghe, 2013), analysis of total energy efficiency and optimization in an industrial sector (Olanrewaju et al., 2012), modeling of heating and cooling performance of counter flow type vortex tube by (Kocabas et al., 2010), and in air cooled heat exchangers (Kumar et al., 2006).

In this study, analysis of sound transmission loss through the lightweight concrete walls was made against highway traffic noises and then modeled with ANN. These walls are generally used for thermal insulation in Turkey. The results of the analysis conducted on 11 different background noises in various indoor occupied functional activity areas show that, on 4 different climatic regions in Turkey, the sound transmit loss on climatic regions with small cross sections is insufficient and that the sound transmit loss improves with the increasing cross section area of the walls. However; on the 4th climatic region, it was found that there is no need of insulation material in this region and that the sound insulation was sufficient. In addition; it was found that as the density of the lightweight concrete wall increases, the sound transmit loss improves too. In terms of frequency, it was found that the higher the frequency the better the sound insulation would become. This study found out that some walls with sufficient thermal insulation still need sound insulation especially inner areas that need extra quiteness. Sound transmission against highway traffic noise on 11 different inner activity areas of outer walls made of lightweight concrete was modelled with the ANN . 75 dB traffic noise level, frequency range of 100-4000 Hz and lightweight concrete walls having a density range of 400-800 kg m<sup>-3</sup> were taken as the basis of the modeling. 2, 3, 4, and 5 neurons were used on the ANN model and the best result was achieved at the 1000 epoch on neuron 2. The actual values and ANN results were found to be consistent to each other (training data R<sup>2</sup> =99.49 and for the testing data R<sup>2</sup> = 99.51)

## THEORY

The most basic definition of foamed concrete (cellular concrete, lightweight concrete) is that it is "mortar with air bubbles in it." The air content of foamed concrete may be up to 75% by volume. In general terms, foamed concrete can be described as a lightweight, free flowing material which is ideal for a wide range of applications. Foam concrete has excellent applications, not only as an insulation material, but also for other structural uses like wall blocks, floor or roof panels, sun-breakers, chajjas etc. In addition, it has sound deadening properties. Being essentially a structure composed of closed cells, it has low moisture absorption capacity. The type of lightweight concrete wall used in this study is given in Fig. 1.

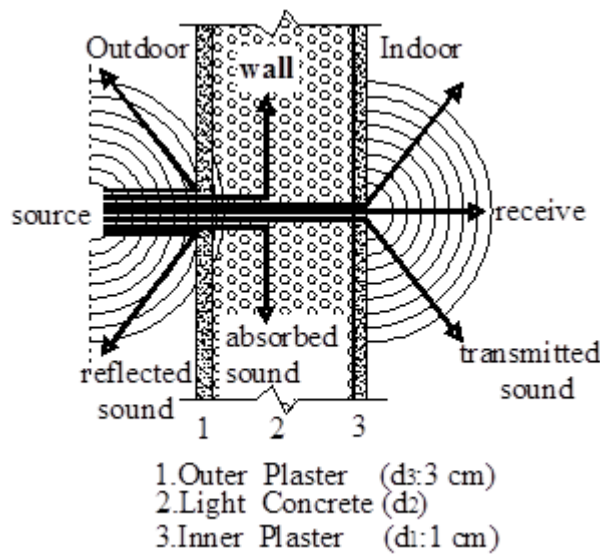


Figure 1. Lightweight concrete wall

The thermal insulation of the lightweight concrete wall, represented by the overall thermal transmittance values U, has to be measured to calculate the heat losses towards the ambiance. In order to be able to measure the heat losses of a building, the U value (the overall thermal transmittance values) of lightweight concrete walls of the building must be calculated. U is defined as follows:

$$U = [R_i + R_w + R_o]^{-1} \tag{1}$$

where U is the overall heat transfer coefficient, R<sub>i</sub> and R<sub>o</sub>, are inner and outer surfaces' thermal resistance values, 0.13 m<sup>2</sup> kW<sup>-1</sup> and 0.04 m<sup>2</sup> kW<sup>-1</sup> respectively. The U values used in this study are presented in Table 1. R<sub>w</sub> is the total thermal resistance of the lightweight concrete wall materials (TS 825, 2008). R<sub>w</sub> is calculated by using Eq. 2

$$R_w = \left[ \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right] \tag{2}$$

Table 1. U and d data for climatic regions of Turkey

Climatic region	U, Wm <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup>	d <sub>2</sub> , cm
1	0.70	19
2	0.60	22
3	0.50	26
4	0.40	32

where d is the materials thickness and λ is thermal conductivity of the material. Lightweight concrete wall thicknesses (d<sub>2</sub>) for the 4 climatic regions of Turkey are given in Table 1 whereas the classification of walls based on their respective densities (400-800 kg m<sup>-3</sup>) is shown in Table 2.

**Table 2.** Light concrete classes (suitable to TS EN 771- 4 and walls made of blocks with normal pattern thickness and concrete mix)

Foam concrete structural plates	Density, $M = \text{kg m}^{-3}$
1	400
2	500
3	600
4	700
5	800

The sound transmission loss (STL) between the source and receiving rooms are plotted on a graph by frequency and sound level in decibels. STL ( $R_0$ ) can be calculated from Eq. 3

$$R_0 = 20 \log(f.M) - 45 \quad (3)$$

where  $R_0$  is the sound reduction index. Here  $M$  is the surface density of board material and  $f$  is the frequency (Özer, 1979). The difference ( $L$ ) between noise criteria range for steady background (Table 3) and the sound transmitted from the lightweight concrete wall to the indoor areas can be calculated with the below equation:

$$\Delta L = L_m - (L_o - R_0) \quad (4)$$

where  $L_m$  is the suggested noise criteria in various indoor occupied functional areas,  $L_o$  is the main artery noise level,  $R_0$  is the sound reduction index, TS is the transmitted sound. If Eq. 4 is rearranged according to TS, then equation 5 can be written as below:

$$\Delta L = L_m - TS \quad (5)$$

## DEVELOPED ANN FOR THE SOUND TRANSMISSION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WALLS AGAINST HIGHWAY NOISES

ANNs mimic somewhat the learning process of a human brain. Instead of complex rules and mathematical routines, ANNs are able to learn the key information patterns within a multidimensional information domain. In addition, the inherently noisy data do not seem to present a problem, since they are neglected (Kalogirou and Bojic, 2000). Artificial neural network is a type of artificial intelligence technique that mimics the behavior of human brain. It can approximate a nonlinear relationship between the input variables and the output of a complicated system (Yang et al., 2005).

In this study, light concrete walls' sound transmissions were modelled with ANN for 11 different buildings subjected to highway noises at the level of 75 decibels. Due to the fact that dimensioning of outer shell of all thermal insulated buildings in Turkey is to be based on the TSE 825 standard, the modeling of the ANN used for this study has been based on this same standard too. As ANN input parameters  $d_2$ ,  $f$ ,  $M$  were used, while the TS was the output parameter. Where  $d_2$  represents wall thickness;  $M$  is wall density and  $f$ , frequency. During modeling, these values were assigned:  $d_2 = 19, 22, 26, 32$  cm,  $M = 400, 500, 600, 700, 800$   $\text{kg m}^{-3}$ , and  $f = 100, 200, 500, 1000, 2000, 4000$  Hz. The thickness of wall ( $d_2$ ) is calculated from Eq. 2. 120 data sets were obtained from the data list and 60 (1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> climatic regions) of them were chosen for training, whereas 30 (2<sup>nd</sup> climatic region) of them were chosen for testing. 30 data sets (4<sup>th</sup> climatic region) were estimated with the ANN modeling. All the data were

chosen randomly and normalized within the range of 0-1 for the ANN modeling by using the operator given in Eq. 6.

**Table 3.** Recommended category classification and suggested noise criteria range for steady background noise as heard in various indoor occupied functional activity areas

Type of space (and acoustical requirements)	NC Curve	Approximate $L_m$ , dB
1. Broadcast and recording studios (distant microphone pickup used), concert halls, opera houses, and recital halls (for listening to faint musical sounds)	10 10-15	18 18-23
2. Large auditoriums, large drama theaters, and large churches (for very good listening conditions)	Not to exceed 20	28
3. Broadcast, television, and recording studios (close microphone pickup used only)	Not to exceed 25	33
4. Small auditoriums, small theaters, small churches, conference rooms (for very good listening), or executive offices and conference rooms for 50 people (no amplification)	Not to exceed 30	38
5. Bedrooms, sleeping quarters, hospitals, residences, apartments, hotels, motels, etc. (for sleeping, resting, relaxing)	25-40	38-48
6. Private or semiprivate offices, small conference rooms, classrooms, libraries, etc. (for good listening conditions)	30-40	38-48
Living rooms and drawing rooms in dwellings (for conversing or listening to radio and television)	30-40	38-48
7. Large offices, reception areas, retail shops and stores, cafeterias, restaurants, etc. (for moderately good listening conditions)	35-45	43-53
8. Lobbies, laboratory work spaces, drafting and engineering rooms, general secretarial areas (for fair listening conditions)	40-50	48-58
9. Light maintenance shops, industrial plant control rooms, office and computer equipment rooms, kitchens and laundries (for moderately fair listening conditions)	45-55	53-63
10. Shops, garages, etc. (for just acceptable speech and telephone communication). Levels above NC or NCB 60 are not recommended for any office or communication situation	50-60	58-68
11. For work spaces where speech or telephone communication is not required, but where there must be <i>no risk</i> of hearing damage	55-70	63-78

$$Z = \frac{Z_N - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (6)$$

where  $Z_N$  is the normalized value of a variable,  $Z$  is a real value in a parameter,  $Z_{\max}$  and  $Z_{\min}$  are the maximum and minimum values of  $Z$ , respectively. In Fig. 2 ANN architecture used for  $d_2$  is schematically shown. The ANN model developed on Matlab software was tested at the values of 100, 250, 500, 1000 epochs for 2, 3, 4 and 5 neurons respectively. The best result was found at neuron 2.

## RESULTS AND DISCUSSION

Excessive noise seriously harms human health and interferes with people's daily activities at school, at work, at home and during leisure time. It can disturb sleep, cause cardiovascular and psychophysiological effects, reduce performance and provoke annoyance responses and changes in social behaviour. Traffic noise alone is harming the health of almost every third person in the WHO European Region. The 2009 WHO night noise guidelines for Europe provide both evidence and recommendations that countries can easily use to introduce targeted limits for night noise. WHO/Europe uses the evidence on the health effects of noise to identify the needs of vulnerable groups and to offer technical and policy guidance to protect health (WHO, 2012).

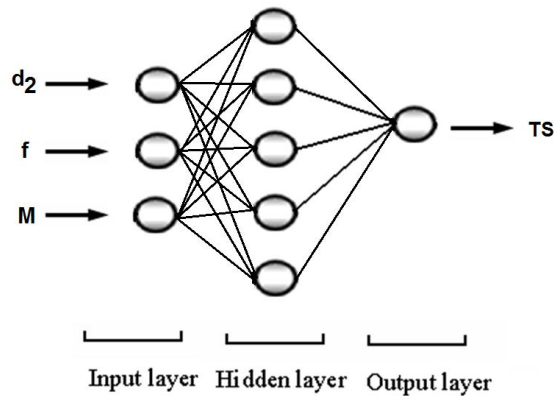


Figure 2. ANN architecture used for  $d_2$

Noise ranges that are considered to cause no health damages at different occasions are presented in Table 3. (Beranek and Ver, 1992) Sound insulation is necessary in areas that receive unacceptably high levels of highway noises and the values for the noise climate found in situations where traffic noise predominates are presented in Table 4 (Croome, 1992).

Table 4. Noise climate found in situations where traffic noise predominates

Group	Location	Noise climate, dB	
		Day	Night
A	Arterial roads with many heavy vehicles and buses (kerbside)	80-68	68-50
B	(i) Major roads with heavy traffic and buses	75-63	61-48
	(ii) Side roads within 14-18 m of A or B group road		
C	(i) Residential roads	70-60	54-44
	(ii) Side roads within 14-18 m of heavy traffic routes		
	(iii) Courtyards of blocks of flats screened from direct view of heavy traffic		
D	Residential roads with local traffic only	65-57	52-44
E	(i) Minor roads	60-52	48-43
	(ii) Gardens of houses with traffic routes more than 61 m distant		
F	Parks, courtyards, gardens in residential areas well away from traffic routes	55-50	46-41

ANNs have been used widely in many application areas. Researchers have been applying the ANN technique successfully in various fields of mathematics, engineering, medicine, economics and many other areas. ANNs have been trained to overcome the limitations of the conventional approaches to solve complex problems. This technique learns from given examples by constructing an input-output mapping in order to perform predictions (Kalogirou, 2000). In this study, analysis was conducted on sound transmission loss of single layered lightweight concrete walls used widely in Turkey and that provide sufficient thermal insulation (based on TSE standards (Tables 5-8), then the transmitted sound was modeled with ANN (Figs.3-6). The analysis of the lightweight concrete walls based on their noise level threshold and the results of the ANN model were investigated in 4 situations.

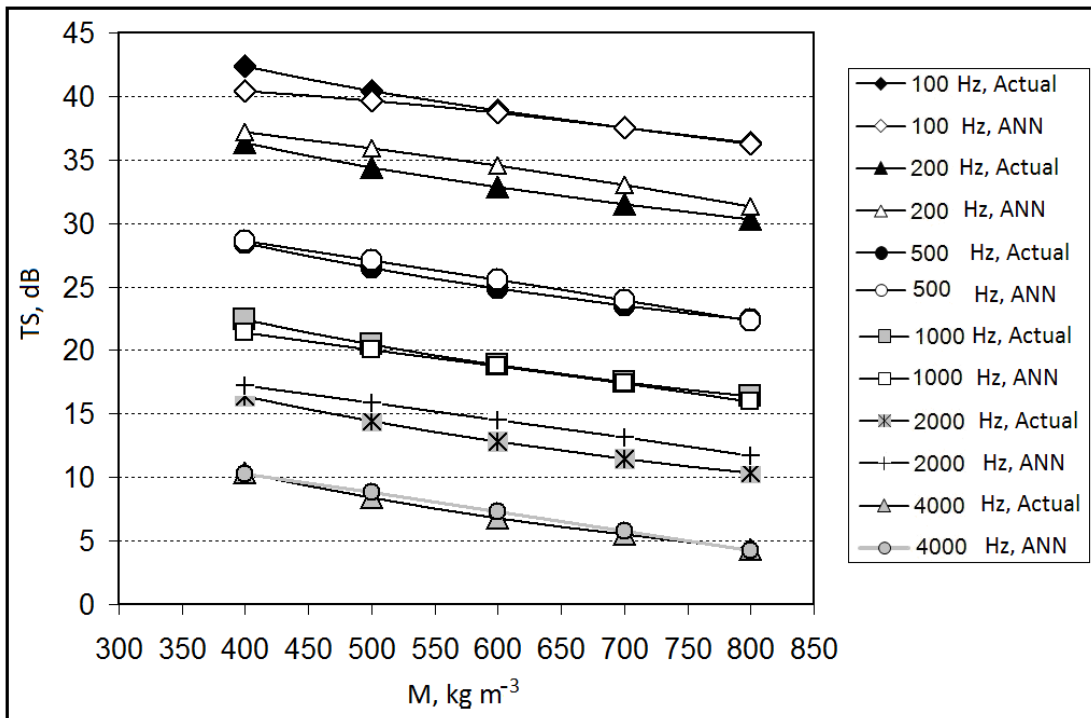


Figure 3. Comparison of actual data with ANN for TS, based on frequency (training-1<sup>st</sup> climatic region)

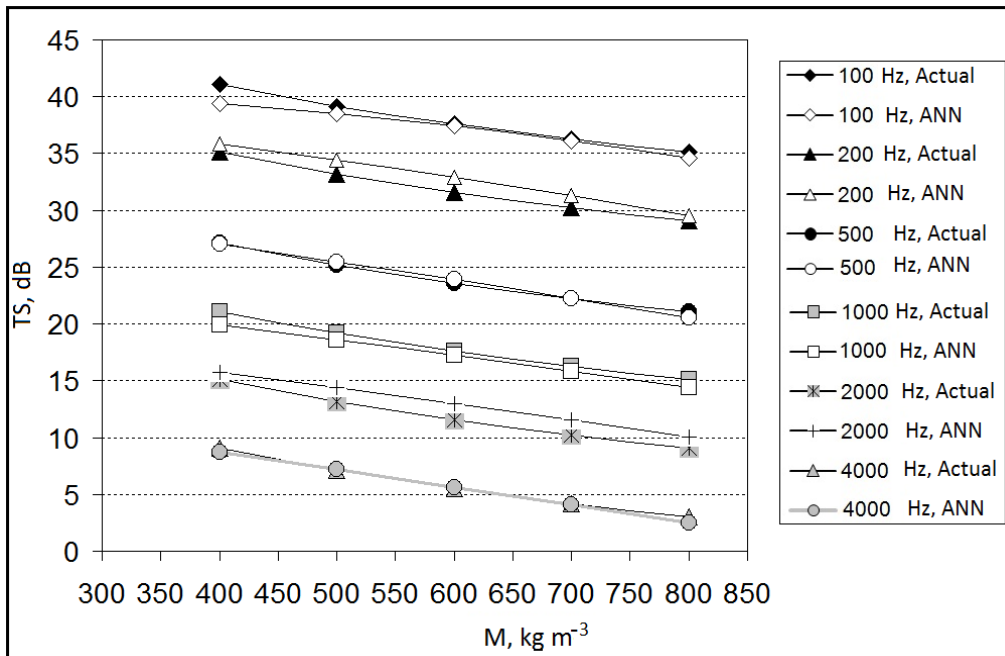


Figure 4. Comparison of actual data with ANN for TS, based on frequencies (test-2<sup>nd</sup> climatic region)

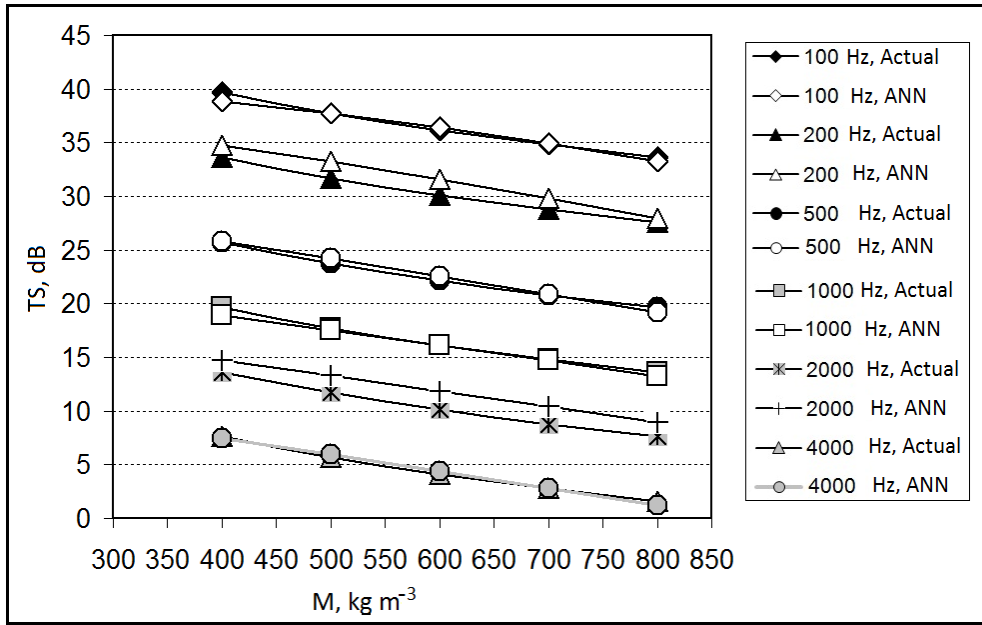


Figure 5. Comparison of actual data with ANN for transmitted sound, based on frequency (training-3<sup>rd</sup> climatic region)

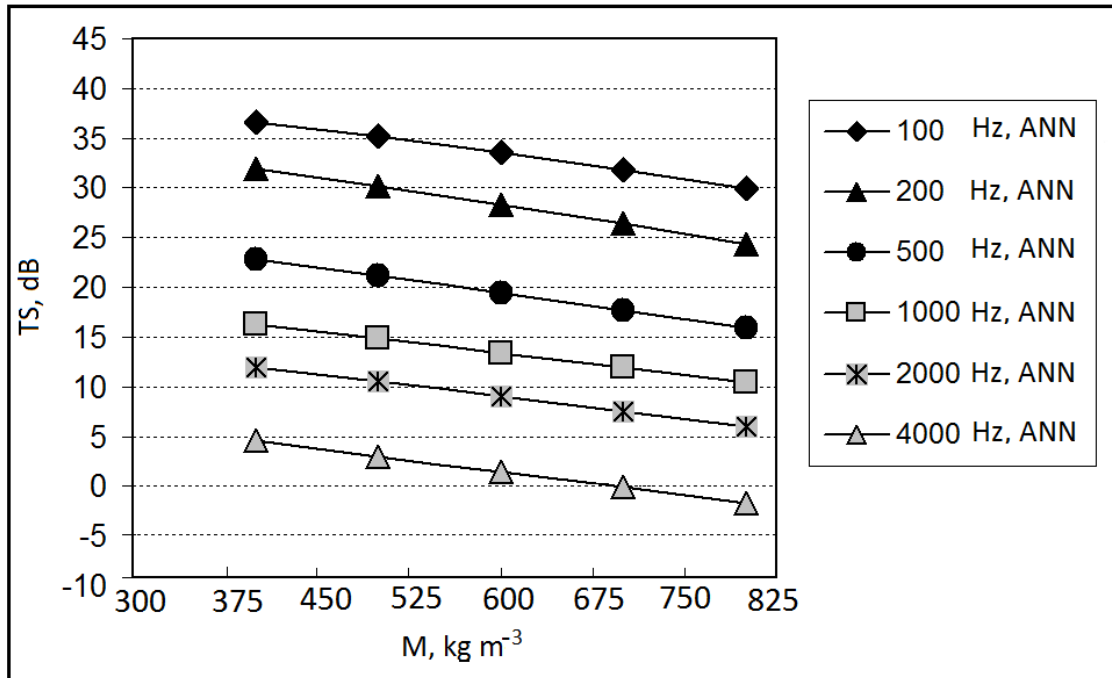


Figure 6. Variations of TS with respect to frequency (ANN-prediction-4<sup>th</sup> climatic region)

**Situation for the 1st Climatic Region of Wall Thickness -  $L_m$  for STL**

According to TSE 825 standard, the lightweight concrete wall thickness sufficient for thermal insulation in the 1st climatic region is  $d_2=19$  cm (Table 1). The values of wall thickness  $d_2$ , density  $M$  and frequency  $f$ , for transmitted sound (TS) analysis ( $\rightarrow L$ ) in the 1<sup>st</sup> climatic region are presented in Table 5. The worst case for the 1<sup>st</sup> climatic region is observed between sections 1 and 5 as given in Table 3. The



values for the 1<sup>st</sup> spaces are as given below;  $\Psi_{L1/1, \text{min value}} = -24.38 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=400 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/1, \text{crv}} = 0.48 \text{ dB}$ ,  $f=1000 \text{ Hz}$ ,  $M=700 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/1, \text{max value}} = 13.68 \text{ dB}$ ,  $f=4000 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ ; As for sections in the 2<sup>nd</sup> spaces, the values are;  $\Psi_{L1/2, \text{min value}} = -19.38 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=400 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/2, \text{crv}} = 0.62 \text{ dB}$ ,  $f=500 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/2, \text{max value}} = 18.68 \text{ dB}$ ,  $f=4000 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ ; in the 3<sup>rd</sup> spaces were found to bear these values;  $\Psi_{L1/3, \text{min value}} = -14.38 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=400 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/3, \text{crv}} = 1.53 \text{ dB}$ ,  $f=500 \text{ Hz}$ ,  $M=500 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/3, \text{max value}} = 23.68 \text{ dB}$ ,  $f=4000 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ ; the study also found that the 4<sup>th</sup> spaces exhibit these entities;  $\Psi_{L1/4, \text{min value}} = -9.38 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=400 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/4, \text{crv}} = 0.16 \text{ dB}$ ,  $f=200 \text{ Hz}$ ,  $M=600 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/4, \text{max value}} = 28.68 \text{ dB}$ ,  $f=4000 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ ; spaces in the 5<sup>th</sup> were found to have these values;  $\Psi_{L1/5, \text{min value}} = -4.38 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=400 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/5, \text{crv}} = 0.48 \text{ dB}$ ,  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $M=700 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\Psi_{L1/5, \text{max value}} = 33.68 \text{ dB}$ ,  $f=4000 \text{ Hz}$ ,  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ . No negative cases for the 1<sup>st</sup> climatic region were found between 6 -11 spaces as listed in Table 3 where there is steady background noise as heard in various indoor occupied functional activity areas. The best cases for spaces 6-11 were observed at  $f=4000 \text{ Hz}$  ve  $M=800 \text{ kg m}^{-3}$ . These are;  $\Psi_{L1/6, \text{max value}} = 43.68 \text{ dB}$ ,  $\Psi_{L1/7, \text{max value}} = 48.68 \text{ dB}$ ,  $\Psi_{L1/8, \text{max value}} = 53.68 \text{ dB}$ ,  $\Psi_{L1/9, \text{max value}} = 58.68 \text{ dB}$ ,  $\Psi_{L1/10, \text{max value}} = 63.68 \text{ dB}$ ,  $\Psi_{L1/11, \text{max value}} = 73.68 \text{ dB}$ . Fig.3 shows variation of ANN data and actual data with respect to frequency and TS for the 1<sup>st</sup> climatic region.

**Table 5.**  $\Psi_L$  for lightweight concrete wall in 1st climatic region

Steady background noise as heard in various indoor occupied functional activity areas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d=19 for f, M	-	-	-	<b>-9.38</b>	<b>-4.38</b>	5.62	10.62	15.62	20.62	25.62	35.62
	-	-	-	<b>-7.45</b>	<b>-2.45</b>	7.55	12.55	17.55	22.55	27.55	37.55
	-	-	-	<b>-5.86</b>	<b>-0.86</b>	9.14	14.14	19.14	24.14	29.14	39.14
	-	-	<b>-9.52</b>	<b>-4.52</b>	0.48	10.48	15.48	20.48	25.48	30.48	40.48
	-	-	<b>-8.36</b>	<b>-3.36</b>	1.64	11.64	16.64	21.64	26.64	31.64	41.64
	-	-	<b>-8.36</b>	<b>-3.36</b>	1.64	11.64	16.64	21.64	26.64	31.64	41.64
	-	-	<b>-6.42</b>	<b>-1.42</b>	3.58	13.58	18.58	23.58	28.58	33.58	43.58
	-	<b>-9.84</b>	<b>-4.84</b>	0.16	5.16	15.16	20.16	25.16	30.16	35.16	45.16
	-	<b>-8.50</b>	<b>-3.50</b>	1.50	6.50	16.50	21.50	26.50	31.50	36.50	46.50
	-	<b>-7.34</b>	<b>-2.34</b>	2.66	7.66	17.66	22.66	27.66	32.66	37.66	47.66
	-	<b>-5.40</b>	<b>-0.40</b>	4.60	9.60	19.60	24.60	29.60	34.60	39.60	49.60
	<b>-8.47</b>	<b>-3.47</b>	1.53	6.53	11.53	21.53	26.53	31.53	36.53	41.53	51.53
	<b>-6.88</b>	<b>-1.88</b>	3.12	8.12	13.12	23.12	28.12	33.12	38.12	43.12	53.12
	<b>-5.54</b>	<b>-0.54</b>	4.46	9.46	14.46	24.46	29.46	34.46	39.46	44.46	54.46
	<b>-4.38</b>	0.62	5.62	10.62	15.62	25.62	30.62	35.62	40.62	45.62	55.62
	<b>-4.38</b>	0.62	5.62	10.62	15.62	25.62	30.62	35.62	40.62	45.62	55.62
	<b>-2.45</b>	2.55	7.55	12.55	17.55	27.55	32.55	37.55	42.55	47.55	57.55
	<b>-0.86</b>	4.14	9.14	14.14	19.14	29.14	34.14	39.14	44.14	49.14	59.14
	0.48	5.48	10.48	15.48	20.48	30.48	35.48	40.48	45.48	50.48	60.48
	1.64	6.64	11.64	16.64	21.64	31.64	36.64	41.64	46.64	51.64	61.64
1.64	6.64	11.64	16.64	21.64	31.64	36.64	41.64	46.64	51.64	61.64	
3.58	8.58	13.58	18.58	23.58	33.58	38.58	43.58	48.58	53.58	63.58	
5.16	10.16	15.16	20.16	25.16	35.16	40.16	45.16	50.16	55.16	65.16	
6.50	11.50	16.50	21.50	26.50	36.50	41.50	46.50	51.50	56.50	66.50	
7.66	12.66	17.66	22.66	27.66	37.66	42.66	47.66	52.66	57.66	67.66	
7.66	12.66	17.66	22.66	27.66	37.66	42.66	47.66	52.66	57.66	67.66	
9.60	14.60	19.60	24.60	29.60	39.60	44.60	49.60	54.60	59.60	69.60	
11.18	16.18	21.18	26.18	31.18	41.18	46.18	51.18	56.18	61.18	71.18	
12.52	17.52	22.52	27.52	32.52	42.52	47.52	52.52	57.52	62.52	72.52	
13.68	18.68	23.68	28.68	33.68	43.68	48.68	53.68	58.68	63.68	73.68	

### Situation for the 2nd Climatic Region of Wall Thickness - $L_m$ for STL

The 2<sup>nd</sup> climatic region according to the TSE 825 standard should have lightweight concrete wall thickness of 22 cm ( $d_2=22$  cm-see Table 1) in order to achieve sufficient thermal insulation. The TS analysis ( $\Psi L$ ) for the 2<sup>nd</sup> climatic region in terms of wall thickness  $d_2$ , density M and frequency, f is presented in Table 6.

The worst case for the 2<sup>nd</sup> climatic region as given in Table 3 occurred on sections 1-5. The values for the 1<sup>st</sup> spaces were found to be;  $\Psi L_{2/1, \text{min value}} = -23.11$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/1, \text{crv}} = 0.41$  dB,  $f=1000$  Hz,  $M=600$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/1, \text{max value}} = 14.95$ ,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; for the 2<sup>nd</sup> spaces, the values were;  $\Psi L_{2/2, \text{min value}} = -18.11$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/2, \text{crv}} = 0.73$  dB,  $f=500$  Hz,  $M=700$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/2, \text{max value}} = 19.95$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; the 3<sup>rd</sup> spaces had these values;  $\Psi L_{2/3, \text{min value}} = -13.11$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/3, \text{crv}} = 0.87$  dB,  $f=500$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/3, \text{max value}} = 24.95$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; values for the 4<sup>th</sup> spaces were;  $\Psi L_{2/4, \text{min value}} = -8.11$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/4, \text{crv}} = 1.43$  dB,  $f=200$  Hz,  $M=600$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/4, \text{max value}} = 29.95$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; the 5<sup>th</sup> space's values were ;  $\Psi L_{2/5, \text{min value}} = -3.11$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/5, \text{crv}} = 0.41$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=600$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{2/5, \text{max value}} = 34.95$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>. In terms of sound transmission for the 2<sup>nd</sup> climatic region, (Table 3) no negative observation was recorded for spaces 6-11. The best case on these spaces (6-11) exhibited these conditions,  $f=4000$  Hz ve  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>, Where the values were;  $\Psi L_{2/6, \text{max value}} = 44.95$  dB,  $\Psi L_{2/7, \text{max value}} = 49.95$  dB,  $\Psi L_{2/8, \text{max value}} = 54.95$  dB,  $\Psi L_{2/9, \text{max value}} = 59.95$  dB,  $\Psi L_{2/10, \text{max value}} = 64.95$  dB,  $\Psi L_{2/11, \text{max value}} = 74.95$  dB. In Fig. 4, variation of actual and ANN data with respect to frequency and TS for the 2<sup>nd</sup> climatic region is presented.

### Situation for 3rd Climatic Region of Wall Thickness - $L_m$ for STL

According to the TSE 825 standard, the thickness of lightweight concrete wall sufficient for thermal insulation for the 3<sup>rd</sup> climatic region is  $d_2=26$  cm (Table 1). The values of  $d_2$ , M and f for TS analysis ( $\Psi L$ ) for the 3<sup>rd</sup> climatic region is presented in Table 7.

$f=200$  Hz,  $M=800$  kg/m<sup>3</sup>;  $\Psi L_{3/3, \text{max value}} = 26.40$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; as for the 4<sup>th</sup> spaces, the values were;  $\Psi L_{3/4, \text{min value}} = -6.66$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/4, \text{crv}} = 1.30$  dB,  $f=200$  Hz,  $M=500$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/4, \text{max value}} = 31.40$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; values for the 5<sup>th</sup> spaces were found to be;  $\Psi L_{3/5, \text{min value}} = -1.66$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/5, \text{crv}} = 0.28$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=500$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/5, \text{max value}} = 36.40$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>. As for the 3<sup>rd</sup> climatic region, among the sections 6-11 in Table 3, no negative aspects in terms of sound level were found for sections 6<sup>th</sup> - 11<sup>th</sup> whereas the best case for 6-11 spaces in the 3<sup>rd</sup> climatic region took space under these conditions of frequency and density,  $f=4000$  Hz and  $M=800$  kg m<sup>-3</sup> respectively. Here, it is found that;  $\Psi L_{3/6, \text{max value}} = 46.40$  dB,  $\Psi L_{3/7, \text{max value}} = 51.40$  dB,  $\Psi L_{3/8, \text{max value}} = 56.40$  dB,  $\Psi L_{3/9, \text{max value}} = 61.40$  dB,  $\Psi L_{3/10, \text{max value}} = 66.40$  dB,  $\Psi L_{3/11, \text{max value}} = 76.40$  dB. Fig. 5 shows variation of ANN and actual data for the 3<sup>rd</sup> climatic region based on frequency and TS.

The most negative case for the 3<sup>rd</sup> climatic region appears on sections 1-5 as shown on Table 3. For the 1<sup>st</sup> spaces, the following values were found;  $\Psi L_{3/1, \text{min value}} = -21.66$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/1, \text{crv}} = 0.28$  dB,  $f=1000$  Hz,  $M=500$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/1, \text{max value}} = 16.40$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; For the 2<sup>nd</sup> spaces, the values found were  $\Psi L_{3/2, \text{min value}} = -16.66$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/2, \text{crv}} = 0.84$  dB,  $f=500$  Hz,  $M=600$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/2, \text{max value}} = 21.40$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; the 3<sup>rd</sup> spaces had;  $\Psi L_{3/3, \text{min value}} = -11.66$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{3/3, \text{crv}} = 0.38$  dB,

**Table 6.**  $\Delta L$  for lightweight concrete wall in 2nd climatic region

Steady background noise as heard in various indoor occupied functional											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	-	-	-	-8.11	-3.11	6.89	11.89	16.89	21.89	26.89	36.89
	-	-	-	-6.17	-1.17	8.83	13.83	18.83	23.83	28.83	38.83
	-	-	-9.59	-4.59	0.41	10.41	15.41	20.41	25.41	30.41	40.41
	-	-	-8.25	-3.25	1.75	11.75	16.75	21.75	26.75	31.75	41.75
	-	-	-7.09	-2.09	2.91	12.91	17.91	22.91	27.91	32.91	42.91
	-	-	-7.09	-2.09	2.91	12.91	17.91	22.91	27.91	32.91	42.91
	-	-	-5.15	-0.15	4.85	14.85	19.85	24.85	29.85	34.85	44.85
	-	-8.57	-3.57	1.43	6.43	16.43	21.43	26.43	31.43	36.43	46.43
	-	-7.23	-2.23	2.77	7.77	17.77	22.77	27.77	32.77	37.77	47.77
	-	-6.07	-1.07	3.93	8.93	18.93	23.93	28.93	33.93	38.93	48.93
	-9.13	-4.13	0.87	5.87	10.87	20.87	25.87	30.87	35.87	40.87	50.87
	-7.19	-2.19	2.81	7.81	12.81	22.81	27.81	32.81	37.81	42.81	52.81
	-5.61	-0.61	4.39	9.39	14.39	24.39	29.39	34.39	39.39	44.39	54.39
	-4.27	0.73	5.73	10.73	15.73	25.73	30.73	35.73	40.73	45.73	55.73
	-3.11	1.89	6.89	11.89	16.89	26.89	31.89	36.89	41.89	46.89	56.89
	-3.11	1.89	6.89	11.89	16.89	26.89	31.89	36.89	41.89	46.89	56.89
	-1.17	3.83	8.83	13.83	18.83	28.83	33.83	38.83	43.83	48.83	58.83
	0.41	5.41	10.41	15.41	20.41	30.41	35.41	40.41	45.41	50.41	60.41
	1.75	6.75	11.75	16.75	21.75	31.75	36.75	41.75	46.75	51.75	61.75
	2.91	7.91	12.91	17.91	22.91	32.91	37.91	42.91	47.91	52.91	62.91
	2.91	7.91	12.91	17.91	22.91	32.91	37.91	42.91	47.91	52.91	62.91
	4.85	9.85	14.85	19.85	24.85	34.85	39.85	44.85	49.85	54.85	64.85
	6.43	11.43	16.43	21.43	26.43	36.43	41.43	46.43	51.43	56.43	66.43
	7.77	12.77	17.77	22.77	27.77	37.77	42.77	47.77	52.77	57.77	67.77
	8.93	13.93	18.93	23.93	28.93	38.93	43.93	48.93	53.93	58.93	68.93
	8.93	13.93	18.93	23.93	28.93	38.93	43.93	48.93	53.93	58.93	68.93
	10.87	15.87	20.87	25.87	30.87	40.87	45.87	50.87	55.87	60.87	70.87
	12.45	17.45	22.45	27.45	32.45	42.45	47.45	52.45	57.45	62.45	72.45
	13.79	18.79	23.79	28.79	33.79	43.79	48.79	53.79	58.79	63.79	73.79
	14.95	19.95	24.95	29.95	34.95	44.95	49.95	54.95	59.95	64.95	74.95

d=22 for f, M

**Table 7.**  $\Psi L$  for lightweight concrete wall in 3rd climatic region

Steady background noise as heard in various indoor occupied functional activity areas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d=26$ for $f, M$	-21.66	-16.66	-11.66	-6.66	-1.66	8.34	13.34	18.34	23.34	28.34	38.34
	-19.72	-14.72	-9.72	-4.72	0.28	10.28	15.28	20.28	25.28	30.28	40.28
	-18.14	-13.14	-8.14	-3.14	1.86	11.86	16.86	21.86	26.86	31.86	41.86
	-16.80	-11.80	-6.80	-1.80	3.20	13.20	18.20	23.20	28.20	33.20	43.20
	-15.64	-10.64	-5.64	-0.64	4.36	14.36	19.36	24.36	29.36	34.36	44.36
	-15.64	-10.64	-5.64	-0.64	4.36	14.36	19.36	24.36	29.36	34.36	44.36
	-13.70	-8.70	-3.70	1.30	6.30	16.30	21.30	26.30	31.30	36.30	46.30
	-12.12	-7.12	-2.12	2.88	7.88	17.88	22.88	27.88	32.88	37.88	47.88
	-10.78	-5.78	-0.78	4.22	9.22	19.22	24.22	29.22	34.22	39.22	49.22
	-9.62	-4.62	0.38	5.38	10.38	20.38	25.38	30.38	35.38	40.38	50.38
	-7.68	-2.68	2.32	7.32	12.32	22.32	27.32	32.32	37.32	42.32	52.32
	-5.74	-0.74	4.26	9.26	14.26	24.26	29.26	34.26	39.26	44.26	54.26
	-4.16	0.84	5.84	10.84	15.84	25.84	30.84	35.84	40.84	45.84	55.84
	-2.82	2.18	7.18	12.18	17.18	27.18	32.18	37.18	42.18	47.18	57.18
	-1.66	3.34	8.34	13.34	18.34	28.34	33.34	38.34	43.34	48.34	58.34
	-1.66	3.34	8.34	13.34	18.34	28.34	33.34	38.34	43.34	48.34	58.34
	0.28	5.28	10.28	15.28	20.28	30.28	35.28	40.28	45.28	50.28	60.28
	1.86	6.86	11.86	16.86	21.86	31.86	36.86	41.86	46.86	51.86	61.86
	3.20	8.20	13.20	18.20	23.20	33.20	38.20	43.20	48.20	53.20	63.20
	4.36	9.36	14.36	19.36	24.36	34.36	39.36	44.36	49.36	54.36	64.36
4.36	9.36	14.36	19.36	24.36	34.36	39.36	44.36	49.36	54.36	64.36	
6.30	11.30	16.30	21.30	26.30	36.30	41.30	46.30	51.30	56.30	66.30	
7.88	12.88	17.88	22.88	27.88	37.88	42.88	47.88	52.88	57.88	67.88	
9.22	14.22	19.22	24.22	29.22	39.22	44.22	49.22	54.22	59.22	69.22	
10.38	15.38	20.38	25.38	30.38	40.38	45.38	50.38	55.38	60.38	70.38	
10.38	15.38	20.38	25.38	30.38	40.38	45.38	50.38	55.38	60.38	70.38	
12.32	17.32	22.32	27.32	32.32	42.32	47.32	52.32	57.32	62.32	72.32	
13.90	18.90	23.90	28.90	33.90	43.90	48.90	53.90	58.90	63.90	73.90	
15.24	20.24	25.24	30.24	35.24	45.24	50.24	55.24	60.24	65.24	75.24	
16.40	21.40	26.40	31.40	36.40	46.40	51.40	56.40	61.40	66.40	76.40	

**Situation for the 4th Climatic Region of Wall Thickness -  $L_m$  for STL**

32 cm is the acceptable thickness of a lightweight concrete wall for thermal insulation for the 4<sup>th</sup> climatic region in TSE 825 (Table 1). TS analysis ( $\Psi L$ ) of  $d_z$ ,  $M$  and  $f$ , for the 4<sup>th</sup> climatic region is shown on Table 8. The 4<sup>th</sup> climatic region has had its worst case between sections 1 and 4 (Table 3). Here, the 1<sup>st</sup> spaces acquired the values of ;  $\Psi L_{4/1, \text{min value}} = -19.86$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/1, \text{crv}} = 0.14$  dB,  $f=500$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/1, \text{max value}} = 18.21$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; the 2<sup>nd</sup> spaces exhibited these values;  $\Psi L_{4/2, \text{min value}} = -14.86$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/2, \text{crv}} = 1.06$  dB,  $f=500$  Hz,  $M=500$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/2, \text{max value}} = 23.21$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; while the 3<sup>rd</sup> spaces indicated;  $\Psi L_{4/3, \text{min value}} = -9.86$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/3, \text{crv}} = 1.03$  dB,  $f=200$  Hz,  $M=700$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/3, \text{max value}} = 28.21$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>; as for the 4<sup>th</sup> spaces, the values were;  $\Psi L_{4/4, \text{min value}} = -4.86$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=400$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/4, \text{crv}} = 0.00$  dB,  $f=100$  Hz,  $M=700$  kg m<sup>-3</sup>;  $\Psi L_{4/4, \text{max value}} = 33.21$  dB,  $f=4000$  Hz,  $M=800$  kg m<sup>-3</sup>. The investigation found no irregularities in terms of sound levels for the 4<sup>th</sup> climatic region between 5-11; while the best case in these

sections (5-11) occurred at  $f=4000$  Hz and  $M=800$  kg  $m^{-3}$ . Here the values are;  $\alpha_{L4/5, \text{ max value}} = 38.21$  dB,  $\alpha_{L4/6, \text{ max value}} = 48.21$  dB,  $\alpha_{L4/7, \text{ max value}} = 53.21$  dB,  $\alpha_{L4/8, \text{ max value}} = 58.21$  dB,  $\alpha_{L4/9, \text{ max value}} = 63.21$  dB,  $\alpha_{L4/10, \text{ max value}} = 68.21$  dB,  $\alpha_{L4/11, \text{ max value}} = 78.21$  dB. Fig. 6 shows variation of ANN and actual data for the 4<sup>th</sup> climatic region based on frequency and TS.

When the Tables 5-8 are evaluated for 1,2,3,4,5 spaces that need strong insulation in Table 3, it is found that the sound transmission losses are not sufficient. These insufficient values were particularly found at these frequencies: 100, 200, 500, 1000 Hz. As for the sections 6-11, the single layer lightweight concrete wall cross sections as recommended by TSE 825, were found to provide sufficient sound transmission loss. This is so because, these areas need no high level sound sensitivity and are generally public areas. With this study, it was found that it is necessary that apart from dimensioning the lightweight single concrete walls for thermal insulation under working frequencies of 100, 200, 500 and 1000 Hz with low densities, sound sensitive spaces described in 1-5 spaces should also be considered in terms of sound transmission losses. In addition, the buildings in the 1<sup>st</sup> climatic region which need lower thermal insulation were also found to have lower inner sound insulation; and as the need for the thermal insulation increases in the 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, and 4<sup>th</sup> climatic regions, the sound insulation increases too. It is therefore determined that thermal and sound transmissions go hand in hand.

**Table 8.**  $\alpha_L$  for lightweight concrete wall in 4th climatic region

		Steady background noise as heard in various indoor occupied functional activity areas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d=32 for f, M	-19.86	-14.86	-9.86	-4.86	0.14	10.14	15.14	20.14	25.14	30.14	40.14
	-17.92	-12.92	-7.92	-2.92	2.08	12.08	17.08	22.08	27.08	32.08	42.08
	-16.33	-11.33	-6.33	-1.33	3.67	13.67	18.67	23.67	28.67	33.67	43.67
	-15.00	-10.00	-5.00	0.00	5.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	45.00
	-13.84	-8.84	-3.84	1.16	6.16	16.16	21.16	26.16	31.16	36.16	46.16
	-13.84	-8.84	-3.84	1.16	6.16	16.16	21.16	26.16	31.16	36.16	46.16
	-11.90	-6.90	-1.90	3.10	8.10	18.10	23.10	28.10	33.10	38.10	48.10
	-10.31	-5.31	-0.31	4.69	9.69	19.69	24.69	29.69	34.69	39.69	49.69
	-8.97	-3.97	1.03	6.03	11.03	21.03	26.03	31.03	36.03	41.03	51.03
	-7.81	-2.81	2.19	7.19	12.19	22.19	27.19	32.19	37.19	42.19	52.19
	-5.88	-0.88	4.12	9.12	14.12	24.12	29.12	34.12	39.12	44.12	54.12
	-3.94	1.06	6.06	11.06	16.06	26.06	31.06	36.06	41.06	46.06	56.06
	-2.35	2.65	7.65	12.65	17.65	27.65	32.65	37.65	42.65	47.65	57.65
	-1.02	3.98	8.98	13.98	18.98	28.98	33.98	38.98	43.98	48.98	58.98
	0.14	5.14	10.14	15.14	20.14	30.14	35.14	40.14	45.14	50.14	60.14
	0.14	5.14	10.14	15.14	20.14	30.14	35.14	40.14	45.14	50.14	60.14
	2.08	7.08	12.08	17.08	22.08	32.08	37.08	42.08	47.08	52.08	62.08
	3.67	8.67	13.67	18.67	23.67	33.67	38.67	43.67	48.67	53.67	63.67
	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	65.00
	6.16	11.16	16.16	21.16	26.16	36.16	41.16	46.16	51.16	56.16	66.16
6.16	11.16	16.16	21.16	26.16	36.16	41.16	46.16	51.16	56.16	66.16	
8.10	13.10	18.10	23.10	28.10	38.10	43.10	48.10	53.10	58.10	68.10	
9.69	14.69	19.69	24.69	29.69	39.69	44.69	49.69	54.69	59.69	69.69	
11.03	16.03	21.03	26.03	31.03	41.03	46.03	51.03	56.03	61.03	71.03	
12.19	17.19	22.19	27.19	32.19	42.19	47.19	52.19	57.19	62.19	72.19	
12.19	17.19	22.19	27.19	32.19	42.19	47.19	52.19	57.19	62.19	72.19	
14.12	19.12	24.12	29.12	34.12	44.12	49.12	54.12	59.12	64.12	74.12	
15.71	20.71	25.71	30.71	35.71	45.71	50.71	55.71	60.71	65.71	75.71	
17.05	22.05	27.05	32.05	37.05	47.05	52.05	57.05	62.05	67.05	77.05	
18.21	23.21	28.21	33.21	38.21	48.21	53.21	58.21	63.21	68.21	78.21	

When the results of ANN modeling for the transmitted sound are evaluated together (Figure 3-6), it is found that the maximum sound transmission occurs on the 1<sup>st</sup> climatic region, at a frequency of 100 Hz, wall density of 400 kgm<sup>-3</sup> and sound level of 42.38 dB (training) while the minimum sound transmission takes space on the 4<sup>th</sup> climatic region and at a frequency of 4000 Hz, density of 800 kgm<sup>-3</sup> and sound level of -1.76 dB (prediction). Some statistical methods are defined as follows: The error during the learning session is called the root-mean-square (RMS) value and is defined as follows (Sözen and Arcaklioglu, 2007):

$$RMS = \left( (1/p) \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

In addition, absolute fraction of variance ( $R^2$ ) and mean absolute percentage error (MAPE) are defined as follows, respectively (Sözen and Arcaklioglu, 2007):

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (8)$$

where  $t$  is target value,  $o$  is output value, and  $p$  is pattern (Sözen and Arcaklioglu, 2007)

$$MAPE = \frac{o - t}{o} \times 100 \quad (9)$$

The statistical values such as RMS,  $R^2$ , MAPE are given in Table 9. When Table 9 is studied, it is found that the ANN values cope well with the actual values.

**Table 9.** The statistical error values for TS

RMS	R <sup>2</sup> (%)	MAPE(%)	ANN
0.89	99.49	2.56	Training
0.15	99.51	1.11	Test

## CONCLUSION

In this study, analysis of sound transmission losses through lightweight concrete walls was conducted against the high way traffic noises. The walls are generally used for thermal insulation purposes in Turkey. Sound transmission was modeled using ANN.

The conclusions drawn in this paper are summarized as follows:

- Sound transmission losses improve with higher frequencies, higher wall densities and increased wall cross sections.
- Regardless of sufficient thermal insulation of single layered lightweight concrete walls as stipulated by the Turkey Institute of Standards (TSE 825), the wall cross sections were found to be insufficient in terms of sound transmission (Figures 5-8).

- Beside thermal insulation of the single layered lightweight concrete walls' regulations, it was found with this study that, it is also necessary to analyze sound transmission lossess, after which the wall cross sections should be sized.
- The ANN was trained and tested by means of toolbox of the MATLAB software on a personal computer.
- Input parameters  $d_2$ ,  $f$ ,  $M$  and output parameter  $TS$  were described.
- In modeling the lightweight concrete walls for sound transmission against the highway noises, the back-propagation algorithm has been implemented to calculate errors and adjust weights of the hidden layer neurons. The sigmoid function was chosen as the transfer function. Number of neurons in the hidden layer and epoch numbers were tested for different values (100, 250, 500 and 1000 epoch). The model was tested on 2, 3, 4 and 5 neurons. A network of 2 neurons was chosen as it yielded the most appropriate results.
- $R^2$  for training the  $TS$  is 99.49 % and  $R^2$  for testing the  $TS$  is 99.51 %. The actual values and ANN results show that ANN can be successfully used for analyzing sound transmission through lightweight concrete walls against highway noises.

## REFERENCES

- Ballagh, K.O., "Accuracy of Prediction Methods for Sound Transmission Los, Inter-Noise 2004", *The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, New Zealand, 2004.
- Bao, C., Pan, J., 1997, "Experimental Study of Different Approaches for Active Control of Sound Transmission Through Double Walls", *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 102, pp. 1664-1670.
- Beranek, L.L., Ver, I. L., 1992, *Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications*. A Wiley-Interscience Publication, New York, p. 633.
- Croome, D. J., 1992, *Noise and the Design of Buildings and Services*, Construction Press, New York, p. 31.
- Jeona, J.Y., Ryu, J. K, Leea, P. J., 2010, "A Quantification Model of Overall Dissatisfaction with Indoor Noise Environment In Residential Buildings", *Applied Acoustics*, Vol. 71, pp. 914-921. 3]
- Julien, L., Noureddine, A., 2009, "Numerical and Experimental Investigation of the Effect of Structural Links on the Sound Transmission of a Lightweight Double Panel Structure", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 324, pp. 712-732.
- Kalogirou, S.A., Bojic, M., 2000, "Artificial Neural Networks for the Prediction of The Energy Consumption of a Passive Solar Building", *Energy*, Vol. 25, pp. 479-491.
- Kalogirou, S.A., 2000, "Applications of Artificial Neural-networks for Energy Systems", *Applied Energy*, Vol. 67, pp. 17-35.
- Kalogirou, S.A., 2003, "Artificial Intelligence for the Modeling and Control of Combustion Processes: a Review", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 29, pp. 515-566.
- Kocabas, F., Korkmaz, M., Sorgucu, U., Donmez, S., 2010, "Modeling Of Heating And Cooling Performance of Counter Flow Type Vortex Tube by Using Artificial Neural Network", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 963-972 [17] Özer, M., 1979, *Yapı Akustği ve Ses Yalıtım*, Arpaz Publication, Istanbul, Turkey, pp.143.
- Kumar, M.M., Stoll, N., Stoll, R., 2006, "An Energy-Gain Bounding Approach to Robust Fuzzy Identification", *Automatica*, Vol. 42, pp. 711-721.
- Matsumoto, T., Uchida, M., Sugaya, H., Tachibana, H., 2006, "Development of Multiple Drywall with High Sound Insulation Performance", *Applied Acoustics*, Vol. 71, pp. 595-608.13]
- Olanrewaju, O.A., Jimoh, A.A., Kholopane, P.A., 2012, "Integrated IDA-ANN-DEA for Assessment and Optimization of Energy Consumption in Industrial Sectors", *Energy*, Vol. 46, pp. 629-635.
- Oldhama, D.J, Mohsen, E.A., 2003, "A Model Investigation of the Acoustical Performance of Courtyard Houses with Respect to Noise from Road Traffic", *Applied Acoustics*, Vol. 12, pp. 215-230.

- Sözen, A., Arcaklioglu, E., 2007, "Exergy Analysis of an Ejector-Absorption Heat Transformer Using Artificial Neural Network Approach", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, 481-491.
- Safa, M., Samarasinghe, S., 2013, "Modelling Fuel Consumption in Wheat Production Using Artificial Neural Networks", *Energy*, Vol. 49, pp. 337-343.
- Tosun, M., Dincer, K., 2011, "Modelling of a Thermal Insulation System Based on the Coldest Temperature Conditions by Using Artificial Neural Networks to Determine Performance of Building for Wall Types in Turkey", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 34, pp. 362-373.
- TS 825, *Thermal Insulation Requirements for Buildings*, Ankara, Turkey, 2008.
- Vigran, T.E., 2009, "Predicting the Sound Reduction Index of Finite Size Specimen by a Simplified Spatial Windowing Technique", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 325, pp. 507-512.
- Yang, J., Rivard, H., Zmeureanu, R., 2005, "On-line Building Energy Prediction Using Adaptive Artificial Neural Networks", *Energy and Buildings*, Vol. 37, pp. 1250-1259.
- Wang, J., Lu, T.J, Woodhouse, J., Langley, R.S, Evans, J., 2005, "Sound Transmission Through Lightweight Double-Leaf Partitions: Theoretical Modelling", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 286, pp. 817-847.
- WHO, <http://www.euro.who.int/en/who-we-are/policy-documents> (Accessed 05 May 2012).s
- Zhang, C.L., 2005, "Generalized Correlation of Refrigerant Mass Flow Rate Through Adiabatic Capillary Tubes using Artificial Neural Network", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 506-514.





## DISTRICT DESIGN AND ROUTE PLANNING FOR CUSTOMER-RELATED FIELD OPERATIONS OF NATURAL GAS DISTRIBUTION SYSTEMS: A CASE STUDY

<sup>1</sup>Gözde Can ATASAGUN, <sup>2</sup>Emine AKHÜSEYİN, <sup>3</sup>Yakup KARA, <sup>4</sup>Ismail KARAOĞLAN

<sup>1,2,4</sup>Department of Industrial Engineering, Selçuk University, Konya, Turkey

<sup>3</sup>YENMAK Inc., Konya, Turkey

<sup>1</sup>gozdecan@selcuk.edu.tr, <sup>2</sup>emineceylan0@gmail.com, <sup>3</sup>ykara@selcuk.edu.tr, <sup>4</sup>ikaraoglan@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 30.11.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.12.2017)

**ABSTRACT:** Approximately 24% of the world energy requirement is supplied by natural gas. A natural gas distribution system in a city consists of four main processes, i.e. construction, operating, internal installations, and customer services, which are connected to each other. In this study, customer services processes of the distribution system which are directly related to customers is considered. Mathematical formulations are presented for customer services processes such as district design, route planning and mobile team workload assignment, and applied on one of the authorized natural gas distribution company in Turkey. Performance of the proposed formulations is compared with the current system by means of the number of mobile teams and amount of workloads. The computational studies show that the number of mobile teams of the proposed system is 37% lower than the current system.

**Key Words:** Mathematical modeling, Natural gas distribution

### Doğalgaz Dağıtım Sistemlerinde Müşteriye Bağlı Saha Operasyonları İçin Bölgesel Ayrım ve Rota Planlaması: Bir Örnek Uygulama

**ÖZ:** Dünya enerji ihtiyacının yaklaşık % 24'ü doğalgazdan karşılanmaktadır. Bir şehirde, doğal gaz dağıtım sistemi, yapım, işletme, iç tesisat ve müşteri hizmetleri olmak üzere birbirine bağlı dört ana süreçten oluşur. Bu çalışmada, dağıtım sisteminin müşteri ile doğrudan ilişkili olan müşteri hizmetleri süreçleri ele alınmıştır. Bölgesel ayrım, rota planlaması ve mobil ekip iş yükü tahsisi gibi müşteri hizmetleri süreçleri için matematiksel modeller önerilmiş ve Türkiye'de yetkili doğal gaz dağıtım şirketlerinden birisinde uygulanmıştır. Önerilen modellerin performansı, mobil ekip sayısı ve iş yükü miktarı açısından mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, önerilen sistemin mobil ekip sayısının mevcut sistemden % 37 daha düşük olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Matematiksel modelleme, Doğal gaz dağıtımı

## INTRODUCTION

Natural gas is a primary energy resource which consists of ethane, methane, propane and butane hydrocarbons. Natural gas is preferred to other fossil fuels because of the low environmental damage, low cost and rapid burning. Approximately 24% of the world energy requirement is supplied by natural gas (Energy Information Administration, 2006).

Turkey is located at the strategic cross roads between the abundant petroleum and natural gas reserves of the Middle / Near East and primary consumers in Europe and America (Kemal Ozturk and Hepbasli, 2004). Besides being an important natural gas transmitter, Turkey is one of the main consumers in Europe/Near East region. The use of natural gas in Turkey has begun in 1976 with the discovery of natural gas resources in Thrace region, and it has remained limited until the first natural

gas import from Union of Soviet Socialist Republics in 1987. Distribution of natural gas in Turkey from 1987 to 2003 has been performed in only a few cities and conducted under the authority of those municipalities. After 2003, the authority of the distribution of natural gas has given to the private sector companies. The number of cities performing natural gas distribution has increased to 72 since 2015.

A natural gas distribution system consists of four main processes which are tightly related to each other. These processes are described as given below:

- **Construction:** Related to the construction of pipeline through the city.
- **Operating:** Includes periodical control, maintenance, repairing the constructed network, and testing the gas-filled network.
- **Internal Installations:** Responsible for the construction, control, maintenance, repairing and gas supply operations for in-building gas installations.
- **Customer Services:** Deal with the general operations such as billing, customer satisfaction, cut off and supply gas, terminating the contract and gas metering.

The distribution company which carries out the above mentioned services is liable to build up, manage and continuously improve the system by the laws. The main purpose of the system is to supply gas to the consumers continuously and safely. All activities which are performed for this purpose are supported by the laws and regulations very strongly.

In this study, six different customer-related operations of the distribution system are considered. Effectiveness of these operations is important for sustainability of the customer satisfaction and low operating costs. These operations are given in Table 1.

**Table 1.** Field operations studied in the study

No	Operation Name	Group	Definition
O1	Installation Control	G1	In the case of a subscriber change in a certain address, the instalment is tested and made available for the new customer for safely using.
O2	Meter Dismounting	G1	Dismounting the natural gas meter due to various reasons (Illegal use, repair and calibration etc.)
O3	Meter Mounting	G1	Mounting the natural gas meter which was dismounted before.
O4	Cut Off the Gas Due To Contract Termination	G2	If a customer in a certain address terminates the contract, the gas is cut off.
O5	Cut Off the Gas Due To Debt	G2	If a customer doesn't pay the debt till the due date which is determined by the regulations, the contract is terminated and the gas is cut off.
O6	Supply the Gas After Payment	G2	If a customer, whose natural gas meter was cut off, pays the debt the gas is re-supplied.

It's known that a major part of customer complaints about the natural gas services are directly related to these operations. The distribution companies want to reduce these complaints by trying to operate these processes faster. But this situation requires more workers (mobile teams) performing these operations and increases operation costs. The main purpose of this study is to propose a solution methodology to perform these field operations in time which is determined by the laws and regulations with minimum number of mobile teams. For this purpose, mathematical formulations have been developed for planning the customer services and workload assignments of the mobile teams, and applied on one of the authorized natural gas distribution company of Turkey.

The solution methodology includes two main steps. In the first step, the neighborhoods of the city which are provided services by the company are grouped into a number of districts. In the second step, service plan of the mobile teams to the neighborhoods which are grouped into districts are determined. In both steps, the Mixed Integer Programming (MIP) formulations have been used. In the first step, the

problem is considered as district design problem and presented a new MIP formulation considering both spatial contiguity and compactness features which fills an important gap in this area. After that, for each district a multiple travelling salesman problem is described and solved using a MIP formulation from the literature.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 presents an analysis of the current system and Section 3 shows the problem definition and MIP formulations for both steps. Experimental results are given in Section 4 and concluding remarks are presented in Section 5.

## ANALYSIS OF THE CURRENT SYSTEM AND SUGGESTIONS

Operations of distribution system services are separated into two groups, namely G1 and G2 (see Table 1), and these groups are assigned to two different mobile teams, namely E1 and E2. Installation control and mounting meters and dismounting meters operations are in the group of G1 and these operations are carried out by E1 mobile teams. Gas cut off and gas supply operations are in the group of G2 and these operations are carried out by the E2 mobile teams. Company managers believe that such a grouping makes easy to manage the operations and mobile teams.

In the current system, approximately 98% of E1 operations are installation controls. Company managers want to control the instalment in 3 working days after contract. For this purpose, 136 neighbourhoods in the city which are served by the company grouped into 3 districts considering workload and proximity. E1 mobile teams control the installation for two days of the week in each district. For G2 operations, there is no constraint about the districts in a working day. These operations are executed in accordance with the work orders. All of the mobile teams' workloads and routes to be followed are empirically determined. The company works in 6 days, except Sunday.

At the end of each day, following steps are examined to determine the next day's mobile team workloads,

- i. Demands of customers are collected for each district.
- ii. G2 operations for each district and all operations including last two days in the districts which will be operated next day are determined.
- iii. The number of mobile teams, workloads and routes for each mobile team are determined using digital maps and empirical data.
- iv. The plans are printed to give to the mobile teams at the beginning of the next day.

Note that, the customers of each district are served in two days of the week for G2 operations. Therefore, in Step-ii the demands for the other days are accumulated and served their service days. For example, districts D1, D2 and D3 are served in Monday-Thursday, Tuesday-Friday and Wednesday-Saturday, respectively. At the end of Wednesday, demands of the district D1 for G1 operations which are received in Monday, Tuesday and Wednesday are accumulated and served in Thursday that is the service day of the district D1. Mobile teams have a flexible working time depends on the workloads which starts at 9:00 am and ends at 5:30 pm.

In the current system, city is grouped into 3 districts considering closeness neighbourhoods from each other. The number of neighbourhoods and their workloads (average number of operations) in each district are shown in Table 2.

**Table 2.** Workloads in each district

Districts	Number of neighbourhoods	Average workload
District 1	72	4,850
District 2	37	4,702
District 3	27	5,830

Totally, there are 123,777 natural gas subscribers in the neighborhoods which consume natural gas. The number of subscribers varies between 157 and 12,376 depends on the size and development of the neighborhood. The difference in the number of the subscribers affects the amount of demand.

The new system should be designed considering the following weaknesses of the current system, legislation constraints and policies, and expectations of company managers.

Empirically determined workloads and routes cause several problems such as load deviation between mobile teams, high routing costs etc. Moreover, mobile teams may change the routes according to their own empirical data and may use their new routes. So these changes may cause deviations on the time which is informed to the customer about starting the processes. If the time changes, the mobile teams will arrive the customers early or late. Early arrive causes that some customers are not at home and teams have to wait for the customers or revisit the customer later. On the other hand, lateness causes customer dissatisfaction, since they maybe are no home too. Therefore, it is suggested that determination of districts, assignments of workloads to the mobile teams and defining of corresponding routes should be determined using specific solution methodologies and should not be changed through the day.

Mobile teams are divided into two groups. The first group (E1) carries out the operations in G1 group (i.e. installation control, mounting and dismounting gas meters) and the second group (E2) carries out the operations in G2 group (i.e. cut off and supply of gas). E1 mobile teams consist of technicians but E2 mobile teams are not qualified for the operations in G1 group. This grouping requires more mobile teams, investment (purchasing new vehicles) and operational costs (routing cost including fuel cost). In the proposed system, it is suggested that one type of mobile teams will be assigned to all operations instead of two different types of mobile teams.

Grouping the neighbourhoods into three districts and each district's installation control (O1) operations for two days of the week are continued in the proposed system. However neighbourhoods will be re-grouped by smoothing workload distributions. O1, O3, O4 and O6 operations will be performed in 6 days, except Sunday. O2 and O5 operations will be performed in weekdays. Mobile teams have to drive away from the company at 08.30 and drive back to the company at 5:30 pm. Workloads and routings of the each mobile team have to be determined by the minimizing total number of mobile teams.

## DEFINITION OF THE PROBLEMS FOR THE NEW SYSTEM

In this section we define the problem that determining the number of mobile teams and related routes under the restrictions given in previous section with minimum cost. To achieve this goal, we divide the problem into two sub-problems which are described in detail as given in the following subsections.

### Districting Problem

In the literature, the problem of dividing a district into smaller sub-districts and assignment of neighborhoods into these sub-districts by minimizing the population difference among the sub-districts is called Political Districting Problem (PDP). Some of the application areas of PDP in practice can be found in electoral district design, sales territory design, power meter reading, designing the local authority services such as street sweeping, garbage collection etc. (Tasnádi, 2011; Ricca et al., 2013) The PDP is formally defined as follows.

Let  $G = (N, E)$  be a connected graph where  $N = 1 \dots n$  is the set of nodes (neighborhoods) and  $E = \{(i, j) : i, j \in N\}$  is the set of edges that represent connectivity of neighborhoods *i.e.* there is an arc between two neighborhoods sharing at least one common border. Various attributes are associated with each node  $j \in N$  summarized as given below:

- geographical coordinates of the center of the districts  $(X_j, Y_j)$
- geographical coordinates of the boundaries of the districts (*i.e.* Northernmost, Southernmost, Westernmost, Easternmost points as  $N_j, S_j, W_j, E_j$ )
- area, perimeter, number of dwelling in the districts  $(A_j, Per_j, D_j)$

The PDP is to determine the predefined number of groups (*ND*) of neighborhoods (or territories, counties, townships) that minimizes some given measures such as population balance (all districts should have nearly the same populations) and/or compactness (each district closely and neatly packed together, thus a round-shaped district is deemed to be acceptable, while an octopus-or an eel-like one is not) under following restrictions:

- *Integrity*: Each neighborhood cannot be split between two or more districts.
- *Contiguity*: The neighborhood units of each district should be geographically contiguous, that is, one can walk from any point in the district to any other point of it without ever leaving the district.

PDP has been studied for 50 years and numerous solution techniques have been developed for solving the problem. We refer the interested readers for the solution techniques to the review papers of Duque et al. (2007), Tasnádi (2011) and Ricca et al. (2013). We also refer to the Song et al. (2013) for the variety of common measures of urban land use mix.

Because of the computational complexity of the PDP, classical heuristic approaches and meta-heuristic approaches have been successfully implemented to the problem. Ricca and Simone (2008) have developed four different meta-heuristic techniques (namely Multistart Descent Search, Tabu Search, Simulated Annealing, and Old Bachelor Acceptance) and evaluated the performance of the algorithms on five Italian Regions where the number of the districts varies from 246 to 1208. Bozkaya et al. (2011) have proposed a decision support system including multi-criteria mathematical model, tabu search and geographical information system to design the electoral district design for the city of Edmonton. Royuela and Duque (2013) have considered the identification of housing market segmentation and proposed a spatially constrained clustering heuristic for the problem. This heuristic includes the problem specific initial solution construction procedure and tabu search as a local search procedure. The heuristic is applied to the housing market in the city of Barcelona (Spain).

In addition to heuristic methods, there is a considerable amount of paper using a mathematical modelling approach as a solution method for the PDP in the literature. These models can be grouped following modelling approaches;

**Location approach:** These papers consider the PDP as a warehouse location-allocation problem (WLAP) and use the modelling approaches for the WLAP to develop the model for the PDP (Weaver and Hess, 1963; Hess et al., 1965; George et al., 1997; Salazar-Aguilar et al., 2011b; Salazar-Aguilar et al., 2012; Ríos-Mercado and López-Pérez, 2013; Salazar-Aguilar et al., 2013). In these models, predefined number of districts is selected as the center of the territories and other districts are assigned to these territories.

**Set Partitioning Approach:** In this approach, feasible combinations of districts are determined and some of them are selected using set partitioning formulation (Garfinkel and Nemhauser, 1970; Nygreen, 1988; Mehrotra et al., 1998). The main difficulty for this approach is to determine the feasible combination of districts since the number of them can be huge. Therefore, the solution time of the methodology is considerably high.

**Network Flow Approach:** The PDP is converted to network flow problem by extending the current graph (Nemoto and Hotta, 2003). Then, the problem is reformulated using standard network flow models and solved using commercial optimization software. Although, there is no experimental result provided by the authors (Nemoto and Hotta, 2003), it can be easily observed that the network extension is a major weakness in this approach.

**Quadratic Modelling Approach:** Li et al. (2007) have proposed a quadratic model for the PDP by considering population equality and compactness. The authors applied the formulation for the design of the congressional districts of the State of New York having 62 territories and 29 districts. Salazar-Aguilar et al. (2011a) have developed another quadratic model for the PDP. The authors have also proposed new valid inequalities to strength the model and a branch-and-cut procedure to obtain optimal solutions. Experimental results have shown that the solution time of the algorithm is significantly lower than other models especially for the larger instances.

In PDP, one of the main difficulties is determination of a compact shape of districts (compactness). In most of the papers, the authors consider the distance between centers of districts ( $d_{ij}; i, j \in N$ ), and try to minimize the sum of the distances between district pairs (Salazar-Aguilar et al., 2011b; Salazar-Aguilar et al., 2012; Ríos-Mercado and López-Pérez, 2013; Salazar-Aguilar et al., 2013) or minimize the maximum distance between district pairs (Salazar-Aguilar et al., 2011b; Salazar-Aguilar et al., 2012; Ríos-Mercado and López-Pérez, 2013; Salazar-Aguilar et al., 2013). However, there is some deficiency for this approach. Consider the neighborhood in city as illustrated in Figure 1.



**Figure 1.** A sample neighborhood in city

The shape of this district is amorphous and determining the center point of the district ( $X_j, Y_j$ ) is difficult, therefore the miscalculation of distance between districts is possible. In order to eliminate this deficiency, we developed a new calculation scheme for compactness as the difference between Northernmost ( $N_q$ ) and Southernmost ( $S_q$ ) coordinates (i.e. latitudes) and Westernmost ( $W_q$ ) and Easternmost ( $E_q$ ) coordinates (i.e. longitudes).

To define the model, we first expand the graph with only one node (base location of the company) as follows: Let  $\bar{G} = (\bar{N}, \bar{E})$  be a connected graph where  $\bar{N} = \{0\} \cup N$  is the set of nodes in which "0" and  $N$  represent the base location of the company and neighborhoods, respectively, and  $\bar{E} = \{(i, j): i, j \in \bar{N}\}$  is the set of edges represent connectivity of neighborhoods. The edge set  $\bar{E}$  is composed of the original edge set ( $E$ ) and edges connecting the base location and all neighbors ( $\bar{E} = E \cup e_{01} \cup e_{02} \cup \dots \cup e_{0N}$ ).

The decision variables and the proposed formulation which is inspired by a flow based formulation for the location routing problem (Karaoglan et al., 2012) are as follows:

**Decision Variables:**

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if a neighbourhood unit } i \text{ directly connected to unit } j (\forall (i, j) \in \bar{E}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_{iq} = \begin{cases} 1 & \text{if neighbourhood unit } i \text{ is assigned to district } q (i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- $F_{ij}$  : Temporary variable to control the workload-balance among districts ( $\forall (i, j) \in \bar{E}$ )
- $\bar{N}_q$  : The northernmost coordinate of neighborhood units which are assigned to district  $q$  ( $q = 1 \dots ND$ )
- $\bar{S}_q$  : The southernmost coordinate of neighborhood units which are assigned to district  $q$  ( $q = 1 \dots ND$ )
- $\bar{E}_q$  : The easternmost coordinate of neighborhood units which are assigned to district  $q$  ( $q = 1 \dots ND$ )
- $\bar{W}_q$  : The westernmost coordinate of neighbourhood units which are assigned to district  $q$  ( $q = 1 \dots ND$ )

The formulation of the mathematical model as follows:

**Model:**

$$\text{Minimize } Z_1 = \max_{(j=1 \dots N)} (F_{0j}) \tag{1}$$

$$\text{Minimize } Z_2 = \max_{(q=1 \dots ND)} \left( (N_q - S_q) + (E_q - W_q) \right) \tag{2}$$

**Subject To:**

$$\sum_{j=1}^N x_{0j} = ND \tag{3}$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} = 1 \quad j = 1 \dots N \tag{4}$$

$$\sum_{i=0}^N F_{ij} - \sum_{i=1}^N F_{ji} = D_j \quad j = 1 \dots N \tag{5}$$

$$F_{ij} \leq Mx_{ij} \quad i, j = 0 \dots N \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^N F_{0j} = \sum_{j=1}^N D_j \tag{7}$$

$$\sum_{q=1}^{ND} z_{iq} = 1 \quad i = 1 \dots N \tag{8}$$

$$x_{ij} + z_{iq} + \sum_{p \neq q} z_{ip} \leq 2 \quad i, j = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{9}$$

$$x_{0i} + x_{0j} + z_{iq} + z_{jq} \leq 3 \quad i, j = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{10}$$

$$N_i - \bar{N}_q \leq (1 - z_{iq})M \quad i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{11}$$

$$\bar{S}_q - S_i \leq (1 - z_{iq})M \quad i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{12}$$

$$E_i - \bar{E}_q \leq (1 - z_{iq})M \quad i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{13}$$

$$\bar{W}_q - W_i \leq (1 - z_{iq})M \quad i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{14}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1 \dots N \tag{15}$$

$$z_{iq} \in \{0,1\} \quad i = 1 \dots N; q = 1 \dots ND \tag{16}$$

$$\bar{N}_q, \bar{S}_q, \bar{W}_q, \bar{E}_q \geq 0 \quad q = 1 \dots ND \tag{17}$$

$$F_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1 \dots N \tag{18}$$

where  $M$  is relatively large number and  $x_{ij}$  is set to zero when  $(i, j) \notin \bar{E}$ . The first objective function (1) minimizes the maximum workloads among districts. Similarly, the second objective function (2) minimizes the maximum compactness measure which is calculated as the sum of the differences between northernmost/southernmost and easternmost/westernmost coordinates.

Constraint (3) ensures that the number of districts must be equal to the predefined number of districts. Constraint set (4) ensures that each neighborhood unit is associated with depot or another neighborhood unit.

Constraint sets (5)-(7) are flow conservation constraints and define the workload of districts. Constraint set (5) guaranties that the difference between incoming and outgoing arcs is equal to the workload (number of dwelling) for each district. The role of the constraint set (6) is to eliminate the positive flow on unselected connections, and constraint (7) ensures the outgoing workload from the base location is equal to the total workload.

Constraint sets (8)-(10) organize the assignment of nodes and feasible connectivity of districts. Each node must be assigned to one and only one district by constraint set (8). While, constraint set (9) implies that two neighborhood units are assigned to the same district when they are connected, constraint set (10) ensures that the two different neighborhood units leaving from the depot as different branches are not assigned to the same district.

Constraint sets (11)-(14) evaluate the endpoint of the districts for each direction (i.e. north, south, west and east) for each district.

Finally, constraint sets (15)-(18) are known as integrality constraints which define the nature of the decision variables.

As can be seen easily, because of the maxi-min structure objective functions (1) and (2) the model is non-linear. In order to linearize the model, the following additional variables and constraints are included:

**Additional Decision Variables:**

$MF$  : Maximum workload amongst districts

$MC$  : Maximum compactness amongst districts

**Model:**

Minimize  $Z_1 = MF$  (19)

Minimize  $Z_2 = MC$  (20)

**Subject To** (3)-(18) and

$MF \leq F_{0j}$   $j = 1 \dots N$  (21)

$MC \leq (N_q - S_q) + (E_q - W_q)$   $q = 1 \dots ND$  (22)

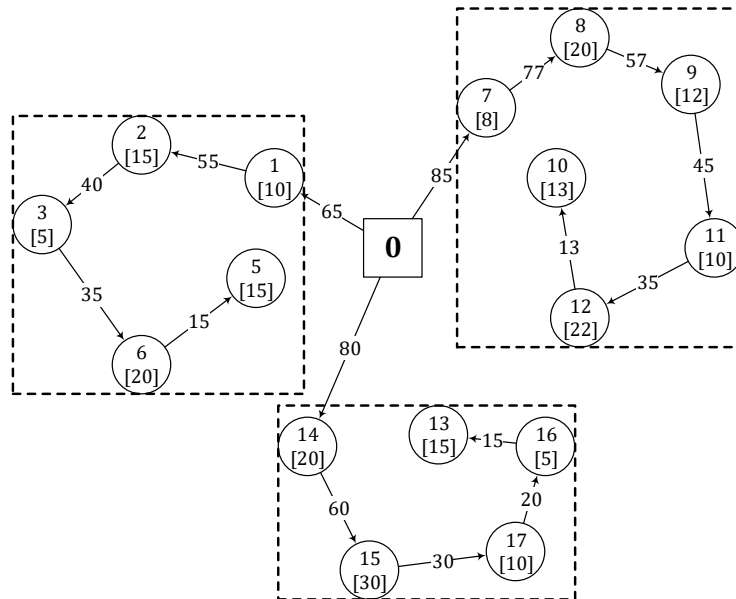
$MF, MC \geq 0$  (23)

The model has a multi objective structure and several solution methodologies can be used to solve it (i.e. sequential solution, normalization of objective functions to a single one). In this paper we solved this model in two stages. At the first stage, the model was solved by minimizing the maximum workloads among districts (i.e. equation (19)). At the second stage, a new constraint is added to the model using the optimal solution of the first stage ( $Z_1^*$ ) as given below;

$0.9Z_1^* \leq MF \leq 1.1Z_1^*$   $j = 1 \dots N$  (24)

Constraint (24) gives flexibility for the maximum workload to obtain more compact districts.

The network representation of the case study can be found in Figure 2. In this sample includes 17 neighborhood having demand (number of operation for the particular day) between 5 and 30 (the number in brackets). The solution gives us there are three districts whose total demands are  $F_{0,1} = 65$ ,  $F_{0,7} = 85$  and  $F_{0,14} = 80$ , respectively.



**Figure 2.** The network representation for a sample problem



## Route Planning Model

The problem of assigning daily operations to mobile teams with the objective of minimizing the number of mobile teams and defining the routes of teams corresponds to "travelling salesman problem with side constraints" in the literature. The proposed model for route planning of mobile teams is developed based on the model presented by Kara and Bektaş (2006). The proposed model is given below:

### Indices:

$N$  : number of nodes

$i, j$  : neighborhood unit

### Parameters:

$P_i$  : processing time of neighbourhood unit  $i$

$T$  : workday length

$t_{ij}$  : transition time from neighborhood unit  $i$  to neighbourhood  $j$

### Decision Variables:

$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if any vehicle travels directly from neighbourhood unit } i \text{ to } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

$K_i$  : time to start task at neighborhood unit  $i$

$m$  : total number of mobile team

### Model:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij} y_{ij} \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{0j} = m \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{i0} = m \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (29)$$

$$K_i - K_j + T y_{ij} + (T - (P_i + P_j + t_{ij} + t_{ji})) y_{ji} \leq T - (P_i + t_{ij}) \quad i, j = 1, \dots, N \quad (30)$$

$$t_{0i} \leq K_i \leq T - (t_{i0} + P_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (31)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, N \quad (32)$$

$$m \geq 0 \quad (33)$$

The objective function (25) minimizes the total time. Constraint sets (26) and (27) identify the number of mobile team leaving and entering from the base location. Constraint sets (28) and (29) ensure that the numbers of entering and leaving arcs to each neighborhood units are one. Constraint sets (30) and (31) are called as subtour elimination and time constraint. Finally, constraint sets (32) and (33) are integrality constraints.

The first four constraints define the number of mobile teams and ensure that each neighborhood unit is visited once. The remaining constraints are known as Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints in the literature (Miller et al., 1960).

The proposed mathematical models are the main novelty and contribution of this study for the literature. Although the models are proposed based on the necessity of the natural gas industry, they can easily be applied to other industries such as electricity distribution, water distribution, telecommunication, etc.

## COMPUTATIONAL RESULTS

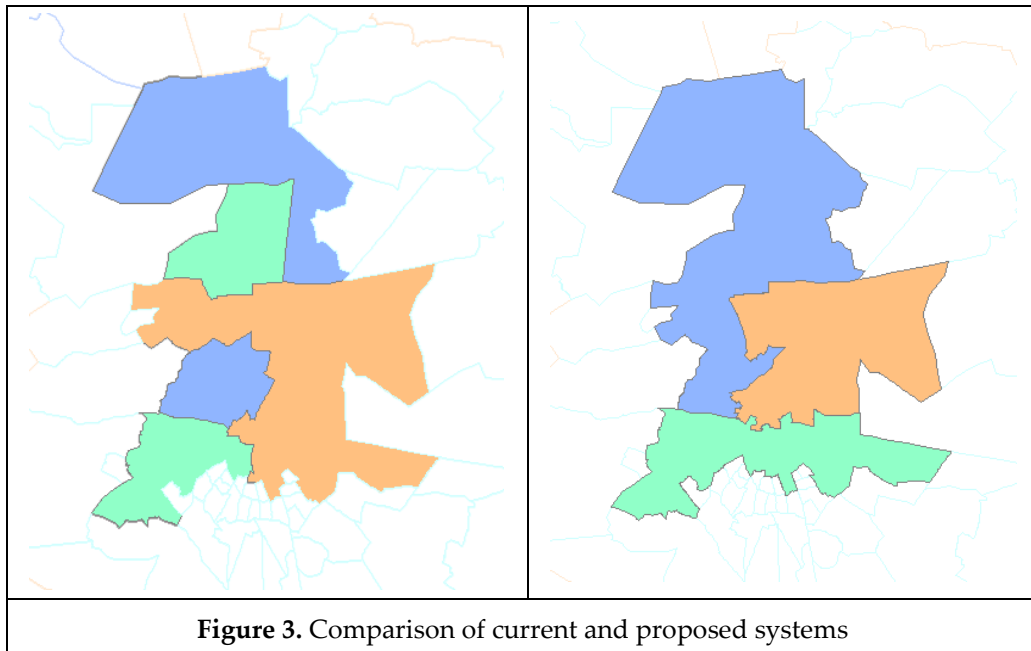
This section presents our computational results to investigate the performance of the proposed formulation. The state-of-the-art LP/MIP solver CPLEX (version 10.2) is used to solve the MIP

formulation. We used the default CPLEX parameters to solve the formulation, and the total computation time for CPLEX has been limited to one hour (3600 s). All experiments were performed on computer equipped with 2.4 GHz and 2 GB memory.

The current system and proposed system are compared with workload balance and number of mobile teams required. For these systems, the number of neighbourhood units and number of workloads are shown in Table 3 and graphical representation can be found in Figure 3.

**Table 3.** Number of Neighborhood Units and Workloads

Current system			Proposed system		
District	Number of neighborhood units	Average workload	District	Number of neighborhood units	Average workload
1	72	4,850	1	16	4,227
2	37	4,702	2	66	5,590
3	27	5,830	3	54	5,565



According to these results the maximum workload is found as 5,590 while it was 5,830 for the current system. The required number of mobile teams is also compared with the current and proposed system and the results are shown in Table 4. According to the required number of mobile teams, current system needs to 1,035 teams×month while for the proposed system it is identified as 639 teams×month. These results show that the proposed system requires less workforces than the current system requires.

**Table 4.** Comparison of the number of mobile teams required (teams×month)

	<b>Current system</b>	<b>Proposed system</b>
<b>January</b>	80	42
<b>February</b>	65	42
<b>March</b>	104	57
<b>April</b>	100	58
<b>May</b>	87	49
<b>June</b>	83	53
<b>July</b>	73	46
<b>August</b>	76	49
<b>September</b>	90	63
<b>October</b>	91	67
<b>November</b>	94	58
<b>December</b>	91	55
<b>Total</b>	<b>1,035</b>	<b>639</b>

## CONCLUSIONS

In this study, we proposed new mathematical models for the workload balance and route planning of mobile teams under the time constraints which is identified by the law and regulations about the customer services in natural gas system. The proposed system is implemented on a natural gas distribution company in Turkey.

Solution of the problem is performed in two stages. At the first stage, 136 neighborhood units which are served by the company are grouped into three districts. The proposed mathematical models fill an important gap in the literature with regard to compactness and smoothness. The second stage is related to assigning mobile teams to districts to planning services using the mathematical model of multiple travelling salesman problem.

The computational results show that the proposed system is well suited for the real-life usage. The computational effort, compared with the current system by means of the number of mobile teams, determining the districts and number of workloads. The computational results show that the number of mobile teams of proposed system is 37% lower than the current system.

## REFERENCES

- Bozkaya, B., Erkut, E., Haight, D., Laporte, G., 2011, "Designing New Electoral Districts for the City of Edmonton", *Interfaces*, Vol. 41 (6), pp. 534-547.
- Duque, J. C., Ramos, R., Suriñach, J., 2007, "Supervised Regionalization Methods: A survey", *International Regional Science Review*, Vol. 30 (3), pp. 195-220.
- Energy Information Administration, 2006, *Energy Information Administration*, International Energy Outlook. Chapter 4: Natural Gas p.
- Garfinkel, R. S., Nemhauser, G. L., 1970, "Optimal Political Districting by Implicit Enumeration Techniques", *Management Science*, Vol.16 (8), pp .B495-B508.
- George, J. A., Lamar, B. W., Wallace, C. A., 1997, "Political District Determination using Large-Scale Network Optimization", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 31 (1), pp. 11-28.
- Hess, S. W., Weaver, J. B., Siegfeldt, H. J., Whelan, J. N., Zitlau, P. A., 1965, "Nonpartisan Political Redistricting by Computer", *Operations Research*, Vol. 13 (6), pp. 998-1006.

- Kara, I., Bektas, T., 2006, "Integer Linear Programming Formulations of Multiple Salesman Problems and Its Variations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 174 (3), pp. 1449-1458.
- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I., Dengiz, B., 2012, "The Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery: Formulations and a Heuristic Approach", *Omega*, Vol. 40 (4), pp. 465-477.
- Kemal Ozturk, H., Hepbasli, A., 2004, "Natural Gas Implementation in Turkey. Part 2: Natural Gas Pipeline Projects", *Energy Sources*, Vol. 26 (3), pp. 287-297.
- Li, Z., Wang, R., Wang, Y., "A Quadratic Programming Model for Political Districting Problem", *In Proceedings of the First International Symposium on Optimization and System Biology (OSB)*, Beijing, China, August 8–10, 2007.
- Mehrotra, A., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., 1998, "An Optimization Based Heuristic for Political Districting", *Management Science*, Vol. 44 (8), pp. 1100-1114.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., Zemlin, R. A., 1960, "Integer Programming Formulations and Travelling Salesman Problems", *Journal of the Association of Computing Machinery*, Vol. 7, pp. 326-329.
- Nemoto, T., Hotta, K., 2003, "Modelling and Solution of the Problem of Optimal Electoral Districting", *Communications of the OR Society of Japan*, Vol. 48, pp. 300–306.
- Nygreen, B., 1988, "European Assembly Constituencies for Wales - Comparing of Methods for Solving a Political Districting Problem", *Mathematical Programming*, Vol. 42 (1-3), pp. 159-169.
- Ricca, F., Simeone, B., 2008, "Local Search Algorithms for Political Districting", *European Journal of Operational Research*, Vol. 189 (3), pp. 1409-1426.
- Ricca, F., Scozzari, A., Simeone, B., 2013, "Political Districting: From Classical Models to Recent Approaches", *Annals of Operations Research*, Vol. 204 (1), pp. 271-299.
- Ríos-Mercado, R. Z., López-Pérez, J. F., 2013, "Commercial Territory Design Planning with Realignment and Disjoint Assignment Requirements", *Omega*, Vol. 41 (3), pp. 525-535.
- Royuela, V., Duque, J. C., 2013, "HouSI: Heuristic for Delimitation of Housing Submarkets and Price Homogeneous Areas", *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 37 (1), pp. 59-69.
- Salazar-Aguilar, M. A., Ríos-Mercado, R. Z., Cabrera-Ríos, M., 2011a, "New Models for Commercial Territory Design", *Networks and Spatial Economics*, Vol. 11 (3), pp. 487-507.
- Salazar-Aguilar, M. A., Ríos-Mercado, R. Z., González-Velarde, J. L., 2011b, "A Bi-Objective Programming Model for Designing Compact and Balanced Territories in Commercial Districting", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19 (5), pp. 885-895.
- Salazar-Aguilar, M. A., Ríos-Mercado, R. Z., González-Velarde, J. L., Molina, J., 2012, "Multiobjective Scatter Search for a Commercial Territory Design Problem", *Annals of Operations Research*, Vol. 199 (1), pp. 343-360.
- Salazar-Aguilar, M. A., Ríos-Mercado, R. Z., González-Velarde, J. L., 2013, "GRASP Strategies for a Bi-Objective Commercial Territory Design Problem", *Journal of Heuristics*, Vol. 19 (2), pp. 179-200.
- Song, Y., Merlin, L., Rodriguez, D., 2013, "Comparing Measures of Urban Land Use Mix", *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 42, pp. 1-13.
- Tasnádi, A., 2011, "The Political Districting Problem: A survey", *Society and Economy*, Vol. 33 (3), pp. 543-554.
- Weaver, J. B., Hess, S. W., 1963, "A Procedure for Nonpartisan Districting: Development of Computer Techniques", *The Yale Law Journal*, Vol. 73 (2), pp. 288-308.



## KÖMÜR MADENLERİNDE KULLANILAN SABANLARIN ÖNEMİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

Niyazi BİLİM

*Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA*  
[bilim@selcuk.edu.tr](mailto:bilim@selcuk.edu.tr)

(Geliş/Received: 10.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 02.02.2018)

**ÖZ:** Yenilenebilir enerji kaynakları dünyadaki enerji ihtiyacını karşılayamadığından, günümüzde fosil yakıtlar enerji üretiminin ana unsuru olmaya devam etmektedir. Dünyadaki elektrik enerjisinin % 41'i kömürden elde edilmektedir. Gelecek yıllarda da kömürün enerji üretiminde liderliğini devam ettireceği ön görülmektedir. Ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamak için kömüre olan bu büyük talep sebebiyle, üretim kapasitesinin artırılmasında etkili yöntemlerden olan tam mekanize kazı sistemleri yaygınlaşmıştır. Maden mekanizasyon ve otomasyon sistemleri, cevher üretimlerinin artmasına, birim üretim maliyetlerinin düşmesine ve iş güvenliğine önemli katkılar sağlamaktadır. Yeraltı mekanize kömür madenciliğinde, tamburlu kesici-yükleyiciler ile sabanlar günümüzde sıklıkla tercih edilen makinalardır. Kalın damarlı kömür madenleri dünyada tükenmeye başladığından dolayı, ince damarlı kömür madenlerinin önemi artmaya başlamıştır. Bu nedenle ince kömür damarlarının üretiminde sabanların rolü artmıştır ve artmaya devam edecektir. Günümüzde sabanların kullanım alanları, tipleri ve seçim kriterleri ile ilgili çalışmaların çok az olduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amacıyla bu çalışmanın oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemizdeki ince kömür damarlarının mekanize bir şekilde üretilebileceği konusunda farkındalık oluşturmak diğer bir hedefdir. Bu çalışmada, kömürün ülkemiz için önemi vurgulanarak kömürün enerjide kullanımı ile ilgili bazı istatistikler verilmiştir. İlk olarak kömür kazısında kullanılan sabanların tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Daha sonra, sabanların kullanım alanları, tamburlu kesiciler ile farkları, dünyadaki saban üretici firmalar ve sabanları hakkında teknik bilgiler verilmiştir. Son olarak, ülkemizde sabanların kullanım durumu hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Kömür kazısı, Kömür sabanı, Mekanize kazı

### Importance and Selection Criteria of Plows Used in Coal Mining

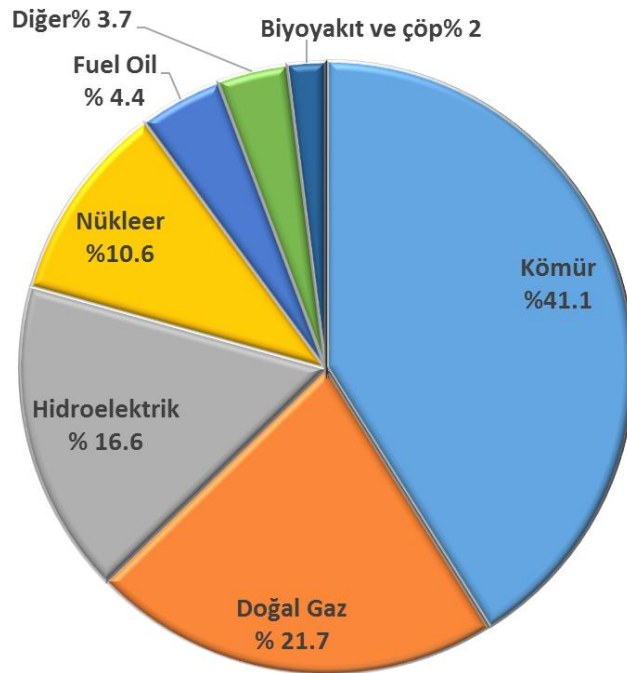
**ABSTRACT:** Since renewable energy sources cannot supply the world's energy needs, fossil fuels are still the main energy source nowadays. 41% of the world's electric production is obtained from coal. There is no doubt that coal will not lose its leadership in energy production in the coming years. Because of this great demand, which is now an elimination for the energy needs of the countries, full-scale excavation systems are getting widespread. In addition, mine mechanization and automation systems have contributed to increasing ore production, thus reducing unit production costs and improving work safety. Today, drum shearers and plows are preferred machines in underground-mechanized coal mining. Since thick seam coal mines are going to run out, coal mining will soon return to thin seam mining. For this reason, the role of plows in the production of thin coal seams will increase gradually. In this study, the historical development of the plows used in coal excavation was first explained. Later, information was given on the usage areas of plows, differences compared to drum cutters and producer companies and their plows in the world. Finally, assessments were made on the use of plows in our country.

*Key Words:* Coal excavation, Coal plow, Mechanized excavation

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

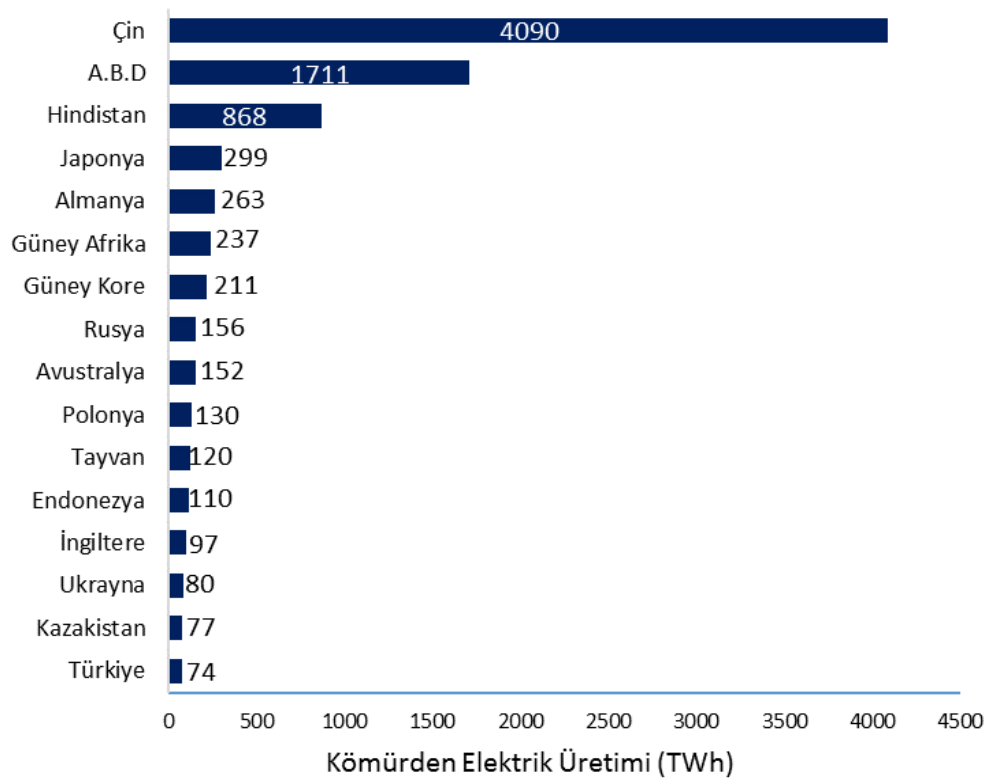
Geçmişten günümüze kadar yeraltı ve yerüstünde yapılan kazılarda değişik metotlar uygulanmıştır. Günümüzde artan nüfusa paralel olarak talep artmış ve bu talepleri karşılamak için çok yüksek miktarlarda yeraltı zenginlik kaynaklarının üretilmesi gündeme gelmiştir. Yüksek miktarlarda cevher üretmek için daha etkin ve teknolojik bir yöntem olan mekanize kazıya doğru bir eğilim bulunmaktadır. Mekanize kazının diğer kazı türlerine göre birçok avantajları olmasından dolayı, mekanik kazıya uygun maden işletmeleri mekanizasyona yönelmektedirler. Yüksek yatırımlar gerektiren madencilik sektöründe, en uygun verimlilik düzeyini yakalamak ve işletme maliyetlerini düşürmek için hazırlık ve üretim gibi madencilik her aşamasında teknolojik gelişmelere paralel olarak, makina ile kazı kaçınılmaz hale gelmiştir.

Dünyada fosil kökenli yakıtlar, özellikle de kömür, hem enerji üretiminde hem de demir-çelik endüstrisinde halen vazgeçilmez bir enerji çeşidi olarak kullanılmaya devam etmektedir. Ülkemizde son yıllarda kömüre verilen önem artmıştır, dolayısıyla hem üretim miktarlarında hem de kömür arama sondajlarında önemli bir artış gözlenmektedir. Kömür kısa vadede ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanmasında ve enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılmasında vazgeçilmez bir enerji türü olmaya devam edecektir. Şekil 1’de görüldüğü gibi, günümüzde dünya elektrik enerjisi üretiminin %41’i kömürden karşılanmaktadır (IEA, 2015). Dünya geneline baktığımızda gelişmiş ülkelerde de bile kömür halen vazgeçilmez bir enerji türüdür (Şekil 2). Ayrıca 2040 yılına kadar kömürün dünyada kullanımının artarak devam edeceği tahmin edilmektedir (EIA, 2016). Ülkemiz kömürden elektrik enerjisi üretiminde dünya sıralamasına göre istenilen konumda değildir. (Şekil 2). Bu nedenle, kömür yakıtlı termik santrallerin hızla artırılması konusunda araştırmalar ve çalışmalar yapılmalıdır. Son yıllarda da bu yönde çok güzel atılımlar yapılmaktadır. Ülke olarak hedefimiz, kömürden elektrik üretiminde ilk on arasında bulunmak olmalıdır.



Şekil 1. Dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin kaynak türlerine göre dağılımı (IEA, 2015)

Figure 1. Distribution of electricity energy production in the world according to source types



Şekil 2. Dünyada kömürden elektrik enerjisi üreten ülkelerin sıralaması (IEA, 2015)

Figure 2. Ranking of the countries that produce electricity from coal in the World

Ülkemizde kullanılan doğal gazın % 99'u ithal edilmektedir (Doğal gaz Piyasası Sektör Raporu, 2014). Ülkemizin elektrik üretiminin büyük bir kısmı bu ithal edilen enerji çeşidinden sağlanmaktadır. Bu sorun nedeniyle doğal gazdan elektrik üretimini azaltarak, kendi öz kaynaklarımızdan bu ihtiyacın karşılanmasına ve dışa bağımlılığın azaltılmasına çalışılmalıdır.

Ülkemizde Eylül 2015 verilerine göre % 41 olan doğal gazdan elektrik üretim oranı, Nisan 2017 'de % 33'e düşmüştür (Karakış 2015; Demirtaş, 2017). Görüldüğü gibi son 1,5 yılda % 8 civarında bir azalma olmuştur. Bu durum enerji ithalatımızın azaltılması için iyi bir hamledir. Fakat ülkemizin enerjide yurtdışına bağımlılığı yüksek seviyelerdedir. Enerjide dışa bağımlılığın yüksek olması enerji pazarında güvenilirlik ve fiyat istikrarı bakımından endişeleri beraberinde getirmekte, cari açığın artmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ülkemizin yerli kaynaklarının daha geniş biçimde değerlendirilmesinin sağlanması özellikle de kömürden enerji üretimine önem verilmesi gerekmektedir (Bilim, 2016; Kekeç ve Bilim, 2014).

Dünyada sanayileşmenin ve nüfusun artmasına paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç da artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Sanayileşmeyle birlikte kömüre karşı büyük bir talep oluşmuştur. Kömüre olan bu ihtiyacın karşılanabilmesi için insan gücünün esas alındığı üretim şekillerinden, makinaların aktif rol alacağı üretim tiplerine doğru bir kayma olmuştur. Günümüzde madenlerde mekanizasyonun hatta otomasyonun kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Maden mekanizasyonunun bugünkü duruma gelmesi kömür madenciliği sayesinde olmuştur. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemli bir enerji kaynağı olan kömürün yüksek miktarlarda üretilebilmesi ve birim maliyetinin düşük olmasının sağlanabilmesi için mekanize kazıya geçmek kaçınılmaz olmuştur. Kömür madenciliği için geliştirilen sistemler daha sonraları diğer cevher ve tünel çalışmalarına da ön ayak olmuştur.

Yeraltı maden işletmeciliğinde tam mekanize üretim sistemlerinin uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Kazı aracı olarak saban veya tamburlu kesici-yükleyiciler, tahkimat olarak kalkan (şild) tipi

yürüyen tahkimatlar, nakliyat aracı olarak zincirli ve bantlı konveyörler, yeraltı madenciliğinde etkin ve verimli olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda mekanize kazı makinalarının metro, inşaat, tünel ve maden sektörlerinde kullanımı ülkemizde yaygınlaşmaktadır. Bu makinalar kazma ve yükleme işlemlerini aynı anda yapabilmeye özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı bir vardiyadaki üretim kapasitesi hem yüksek olmakta, hem de işgücü ihtiyacı az olmaktadır. Bunun gibi birçok avantajı nedeniyle tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle yeraltı kömür işletmelerinde bu makinalarla üretim yapılmaya başlanmıştır.

### **KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE MEKANİZE KAZI (MECHANIZED EXCAVATION IN MINING)**

Yeraltı madenciliği ilk olarak insan gücüne dayalı olarak başlamış, daha sonra delme-patlatma ve martopikör kullanılmaya başlanmıştır. 20. yüzyılın başında sanayi devrimi ile kömüre olan ihtiyaç artmıştır. Uzun ayak yöntemi ile kömür üretiminde kapasite artırmak amacıyla yapılan mekanik kazı çalışmaları ile potkabaç, saban ve tamburlu kesici-yükleyiciler geliştirilmiştir. Kazı işlemlerinin makinalar ile yapılması sonucunda büyük miktarlarda üretim imkânı sağlanmış olup, çalışan işçi sayısında da azalma sağlanmıştır (Bilim, 2007).

Yirminci yüzyılın başlarında ilk olarak üretimde kullanılmaya başlanan potkabaç makinaları kullanılmaya başlanmıştır. 1950'li yılların başında saban ve tamburlu kesici makinaları üretimde kullanılmaya başlanmış böylece üretimde artış gözlenmiştir (Altındağ ve Güney, 1994).

Uzun ayak kömür madenciliğinde tamburlu kesici-yükleyici makinalar ile sabanlar günümüzde sıklıkla tercih edilen makinalardır. Her iki makine ile üretilen cevherin taşınması için zincirli konveyör ve tavanın duraylılığını sağlamak için de yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır. Bu iki makine arasında seçim yapmak için birçok faktör devreye girer. Bu faktörlerden önemlileri; cevherin fiziko-mekanik, petrografik ve mineralojik özellikleri, tavan ve taban taşının durumu, ayak eğimi, ondülasyonlar, faylar, damar kalınlığı şeklindedir (Myszkowski ve Paschedag, 2008; Beitler ve diğ., 2013).

### **Kömür Sabanının Tarihsel Gelişimi (Historical Development of Coal Plow)**

Mekanize kazı sistemleri gelişimini kömür madenciliğine borçludur. Mekanize kazı sistemleri 19. yüzyılda kömür üretiminde kullanılmasıyla başlamıştır. 1930'lu yılların ortalarında potkabaç makinesi ile kazılan kömürün yüklenmesi denemeleri yapılmıştır. Kazı arınında boydan boya potkabaç çekilerek daha sonra kazılması yerine arın boyunca kazı yapma düşüncesi, kömür sabanının bulunmasına neden olmuştur. Kesici uçlara sahip bir makinenin arın boyunca çekilerek kazı yapılması düşüncesi ile de kömür sabanı geliştirilmiştir.

Kömür sabanları 1990'lı yıllarda Avrupa'da ince kömür damarlarının üretiminde çok ekonomik bir teknoloji olarak bilinmektedir. Ancak, kalın damarlı kömür üretim madenciliğine geçiş ile birlikte bu teknoloji önemini kaybetmiştir. Günümüzde ise ince kömür damarlarının ekonomik olarak üretilmesi fikrinin tekrar gündeme gelmesiyle, saban teknolojisinin kullanımına tekrar başlanmıştır (Gondek ve diğ., 2011). Sabanlar 1950 ile 1980 yılları arasında Almanya'da kömür madenlerinde çok sıklıkla kullanılmıştır (Bilgin ve diğ., 2014).

Sabanların kazı prensibi; iki tahrik ünitesi arasında gerilmiş olan zincire (daha önceleri halat) bağlı bir şekilde arın boyunca gidip gelirken damardan ince dilimler sıyırması esasına dayanır. Klasik tip çalışmada, sabanın damara batabilmesi için, yürüyen tahkimat ünitelerindeki konveyörü öteleme silindirlerinin tümü, kömür damarının kazılabilirliğine bağlı olarak sürekli olarak ortalama 100 bar civarındaki bir basınç altında olup, konveyöre bağlı olan sabanı belli bir kuvvetle arına doğru bastırmaktadır (Şimşir, 1995). Sabanların çalışma prensibi icatlarından bu yana pek değişiklik göstermemiştir. Gelişmeleri genellikle hızları, güçleri ve mekanizasyon-otomasyon sistemleri yönünde olmuştur.



Kömür sabanı bugünkü şeklini alıncaya kadar birçok safhalardan geçmiştir. Kömürü kesmek amacıyla 1912 yılında "Dilim kesme" (slicing cutting) ismiyle ilk patent alınmıştır (Paschedag, 2014). 1937 yılında, Ibbenbüren kömür ocaklarında kömürde çift sürer gibi kazı yapabilen bir alet, sabanın ilk aşaması olmuştur. İlk uygulaması, yeraltında demiryolları için kullanılan ray demirine kama şeklinde bir kesicinin kaynak yapılarak taban yolundaki lokomotifin altına bağli bir halat ile çekilmesi şeklinde olmuştur. Daha sonraları lokomotif yerine ayak başına yerleştirilen bir vinç ile halat çekilmeye başlamıştır. Demirin kömür cephesinde ileri geri hareketi esnasında yaklaşık 15 cm genişliğinde bir kömür şeridi kesilebilmekteydi. Ancak arına fazla bir yük uygulanamaması kazı genişliğinin ve derinliğinin az olması en büyük sorunlar olmuştur. Bu sistemle kömürün çift sürer gibi kazılabileceği ilk kez ispatlanmıştır. (Eskikaya, 1969).

Kömür madenlerinde tam mekanizasyona geçiş tarihi olarak 1940 kabul edilmektedir Fakat kömürü kesen makineler için alınan patentler daha eski tarihlere dayanmaktadır. Sabanın zincirli olukla birlikte çalıştırılması mekanize kazıda yeni bir çığır açmıştır. Zincirli oluğun sabana gıdaj görevi gördüğü yavaş saban, 1941'de uygulanmış ve kesme ile oluğa yükleme birlikte yapılmıştır. 1941 yılında kömür sabanı olarak ilk patent alınmıştır. Bu saban Konrad Grebe isimli bir mühendis tarafından icat edilmiştir. İlk kömür sabanı olarak patenti alınan bu saban, Ibbenbüren kömür işletmesi atölyesinde yapılmış ve kullanılmıştır. Günümüzdeki sabanlarla kıyaslandığında 0,3 m/sn (1,8 m/dk)'lık i yavaş bir hıza ve 2x40 kW gibi küçük bir güce sahiptir. Yavaş saban olarak adlandırılan bu ekipman daha sonraki yıllarda geliştirilmiş ve 1947 yılında ise, Westfalia Luenen firmasında çalışan Wilhelm Löbbe isimli bir mühendis, yeraltında mekanize bir şekilde kömür üretimi için daha önce icat edilen sabanın modernize edilmiş halini üretmiştir. Löbbe ayrıca yeraltında sabanla birlikte çalışabilecek zincirli konveyörü de geliştirmiş ve bu zincirli konveyörlü mekanize sistem 1942 yılında Polonya'da kullanılmıştır. Löbbe sabanın üretim performansını artırmak için kesme hızını artırıp kesme derinliğini düşürme fikrini üretmiştir. Bu amaç doğrultusunda, 1949 yılında Wilhelm Löbbe hızlı saban olarak adlandırılan sabanı geliştirmiştir. Geliştirilen bu saban, hızlı saban adını almış ve 1949 yılında Almanya'daki Friedrich-Heinrich madeninde kullanılmıştır. Bu hızlı saban ile günlük 1000 tonun üzerinde üretim yapılabilmekte ve bu saban tipi ile yaklaşık 0,4 m/sn çekme hızı ve 5-15 cm arası kesme derinliği elde edilmektedir. Halat ile çekme yerini 22 mm'lik sonsuz zincire bırakmış ve saban zinciri ve konveyör zincirinin çekilmesi aynı motorla yapılmıştır.

Wilhelm Löbbe o yıllarda başarılarıyla ün kazandığı için Alman hükümeti elde etmiş olduğı bu başarılarından dolayı adına pul bastırılmıştır. 1980'lerin ortalarına doğru sabanların kurulu güçleri 2x250 kW civarlarına, hızları ise 1,8 m/sn civarlarına yükselmiştir. 1990'lara gelindiğinde, kurulu güçleri 2x315 kW yükselmiştir (Paschedag, 2011; Paschedag 2014). Günümüzde güçleri 2x800 kW ve hızları da 3,6 m/sn'lere kadar yükselmiştir.

Saban hızlarının ve güçlerinin artması dışında, gelişimleri ile ilgili önemli buluşlar ile 1990'lara kadar karşılaşılmamıştır. Bu yıllarda kesme derinliğini otomatik olarak belirleyen saban türü icat edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Yürüyen tahkimatın silindirlerinde kullanılan darbe sensörleri-elektromanyetik valfler ve her bir yürüyen tahkimat ünitesinde bulunan elektronik kontrol üniteleri sayesinde, daha öncesi sistemlerin en büyük eksikliğini üstesinden gelinmiştir. Bu sistem sayesinde, yürüyen tahkimat sistemleri üzerindeki elektronik sistemler vasıtasıyla kazı derinliği en uygun şekilde belirlenebilmektedir. Günümüzde artık yüksek performans ihtiyaçlarına cevap verebilen, kesme derinliğini otomatik ayarlayabilen, ondülasyonlara uyum sağlayabilen, yüksek eğimlerde bile çalışabilen sabanlar kullanılmaya başlanmıştır. Sabanlar en çok yeraltı kömür madenciliğinde kullanım alanı bulmuş olmasına rağmen, fosfat ve boksit madenciliğinde de kullanılmaktadır

Sabanları genellikle Alman firmaları geliştirmiş olsa da, Japonya, Çek Cumhuriyeti ve Rusya gibi ülkelerde değişik tip ve modelde sabanlar üretmişlerdir.

İnce damarlı kömürlerin kazanılması düşüncesi arttıkça, gelecekte uzunayak kömür madenciliğinde saban kullanımı önemli bir hale gelecektir. Dolayısıyla saban teknolojileri fazla dikkat çekecektir (Beitler, 2013).

### KÖMÜR SABANLARI (Coal Plow)

Saban, ön ve arka kısmında kesici uçlar bulunan, taban taşı veya konveyör sacı üzerinde kayarak hareket eden, 368 tona (çekme dayanımı 1400 MPa'a kadar çıkabilen) kadar dayanabilen bir zincirle ayak boyunca ileri geri çekilen, sıyırma (rende) şeklinde kazı prensibi olan ve saatte 3500 ton üretim kapasitesine kadar çıkabilen, genellikle yeraltı kömür madenciliğinde tercih edilen bir makinedir. Her iki ucunda yer alan ana ve yardımcı tahrik üniteleri, sabanı 30-216 m/dak hızla hareket ettirirler. Kesme işlemi sırasında saban, ayak konveyörünün göçük tarafına bağlı hidrolik silindirlerle arına bastırılır. Tahrik motorlarından sisteme verilen gücün sadece % 30-60'ı kesme ve yükleme işinde kullanılmakta, geri kalanı sürtünmelerin yenilmesinde harcanmaktadır.

Saban ile kazı, yumuşak ile orta sert kömürler için daha uygun olmasına karşın, günümüzde sert kömürlerde de saban rahatlıkla kullanılabilir. Sağlam ara kesmeler ve olası küçük atımlı faylar sabanın çalışmasını zorlaştırır. Günümüzde üretilen sabanlar ile 0,6-2,3 m arasındaki damar kalınlıklarında, 60° derecelik ayak eğimlerinde kazı mümkündür. Kesme derinlikleri kayaca ve damara bağlı özelliklere göre değişmekle birlikte 4-25 cm arasında değişmektedir. 216 m/dak gibi yüksek hızlara ve saatte 3500 ton gibi kapasitelere çıkabilmektedirler.

Sabanların ilk üretimlerinde sabanı ve konveyörü arına doğru bastırmak için hidrolik pistonlar kullanılmaktaydı. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte, saban ve buna bağlı olan zincirli konveyörün arkasında (göçük tarafında) yürüyen tahkimatlarla desteklenen tam mekanize bir üretim sistemi kullanılmaktadır. Bu tahkimat sistemleri ile birlikte kullanılması sonucunda hem daha güvenli bir çalışma ortamı oluşmuş, hem de tam mekanize üretim sürecine geçilmiştir. Ayrıca bu tahkimatlar sayesinde arına daha fazla ve düzenli bir baskı oluşturulması neticesinde, daha derin dilimler halinde kazı yapmak da mümkün olmuştur.

Geçmişten günümüze sabanlar ile su jetleri ve martopikör gibi makinaların beraber kullanılması konusunda bazı araştırmalar yapılmıştır (Aktaş, 1986). Fakat beraber kullanımlarının getirdiği bazı zorluklardan dolayı çok fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Sabanlı kazının diğer kazı tekniklerine göre birçok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Yüksek damar eğimlerinde kolaylıkla kullanılabilmesi
- İnce damarlarda kullanılabilmesi
- Ondülasyonlu damarlara uyum sağlayabilmesi
- Daha az yatırım gerektirmesi
- Üretilen kömürün iri parçalı oluşu
- Daha az toz oluşturması
- Otomasyona uyum sağlayabilmesi
- İş sağlığı ve güvenliği açısından avantajlı olması

Kömür sabanı ile kazısı uygun olan ince kömür damarlarında yapılan kazılar, diğer mekanize kazılara kıyasla daha ekonomik olabilmektedir. 1,5-1,7 m damar kalınlıklarındaki kömür kazılarında aynı şartlarda kıyaslama yapıldığında benzer tam mekanize kazı sistemlerine oranlara maliyetler %19 düşüktür (Gondek ve diğ., 2011). Günümüzde sabanlar tam mekanize ve otomasyon sistemleri ile beraber kullanılmaktadır (Şekil 3).



**Şekil 3.** Tam mekanize kazı sistemi (Cat.com., 2017)  
*Figure 3. Fully Mechanized Excavation System*

Kazma, yükleme, taşıma ve tahkimat işlemlerinin beraber yürütüldüğü sistemlere uyumlu olduklarından dolayı ince ve eğimli damarlarda tercih edilmeye başlanmışlardır.

#### **Kömür Sabanı Tipleri (Types of Coal Plow)**

1990'lı yılların ortalarına doğru dünyada artık yalnızca iki tipte saban üretilmeye başlanmıştır. Taban plakası üzerinde hareket eden koparıcı saban (Reisshakenhobel) ve konveyörün üzerindeki çelik kısım üzerinde hareket eden kayıcı saban (Gleithobel). 1956 yılında koparıcı sabanın (Reisshakenhobel) ilk prototipi olan saban Westfalia Luenen ve daha sonra Beien Company tarafından geliştirilmiştir.

1960 yılında ise taban plakası üzerinde hareket yerine bir rampa üzerinde kayan ve kayıcı saban (Gleithobel) olarak adlandırılan sabanın prototipi olan saban Westfalia Luenen firması tarafından üretilmiştir. 1963 yılında ilk kayıcı saban üretilmiştir. 1947 yılına kadar sabanlar halat ile çekilirken, 1947 yılından sonra zincir kullanılmaya başlanmıştır.

#### **Koparıcı Saban - Reisshakenhobel (Base Plate Plow)**

Koparıcı sabanın (Reisshakenhobel) tabanı konveyör altında hareket eden çelik bir levhaya tutturulmuştur. Bu çelik levha zemindeki eşitsizliğini düzeltmeyi sağlamaktadır. Sağlam taban taşıma ve düşük dayanımlı kömürlerde uygundur. Göçük tarafındaki zincirlere ulaşım daha kolay olduğu için ince damarlarda daha verimlidir (Şekil 4, 5a ve 5b). Genellikle ince kömür damarları ve yumuşak kömürler için dizayn edilmişlerdir. Fakat diğer damar koşullarına göre farklı şartlarda da kullanılabilirlerdir.

Koparıcı sabanın en önemli özelliği sonsuz zincirin ve saban motorlarının konveyörün ayak arkasına bakan kısmına yerleştirilmiş olmasıdır. Saban gövdesine bağlı menteşeli bir taban plakası konveyörün altından geçerek diğer kenarda çekme zincirine bağlanmaktadır. Çekme ve dönüş zincirleri konveyör kenarına bağlı kapalı kanallar içinde hareket etmektedir.



Şekil 4. Koparıcı saban (Ostroj.cz., 2017),  
Figure 4. Base Plate Plow (Ostroj.cz., 2017)



Şekil 5a. Koparıcı saban (Cat.com., 2017),  
Figure 5a. Base Plate Plow (Cat.com., 2017),



Şekil 5b. Koparıcı saban (mackina-westfalia.com., 2017),  
Figure 5b. Base Plate Plow (mackina-westfalia.com., 2017),

Koparıcı saban sisteminde taban kazı seviyesinin korunması daha başarılı olurken ayrıca az sayıda keski kullanılır. Böylece arna uygulanan kuvvet, izafi olarak daha büyük olmaktadır. Koparıcı sabanın

boyutları diğer tiplere göre daha küçüktür. Arın tarafındaki gövdesi daha dardır. Böylece daha küçük tahkimatsız bir alanda kazı yapabilmektedir. Bu nedenle, zayıf tavan şartları için önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Daha çok yumuşak ve orta sertlikteki kömür damarları için geliştirilmiş olan koparıcı saban 1970'li yıllarda Almanya'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde daha da geliştirilen bu tip sabanlar, damar özelliklerine göre 0,6 metreden 1,6 metre damar kalınlığına ve 60° eğime kadar kullanılabilirler. İlerleme hızları 2,5 m/sn ve kesme derinlikleri 19 cm'ye kadar çıkmıştır.

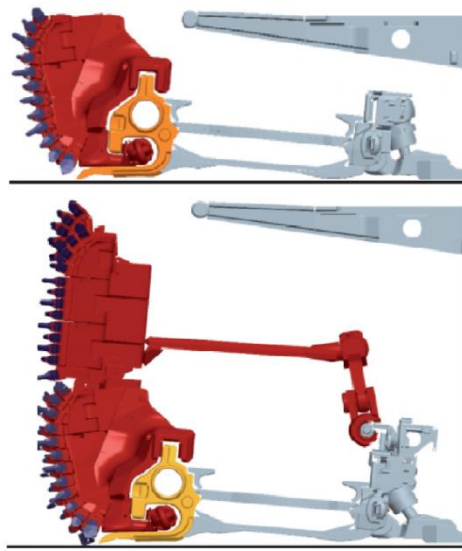
#### **Kayıcı Saban – Gleithobel (Gliding Plow)**

Saban gövdesine bağlı menteşeli bir taban plakası konveyörün altından geçerek diğer kenarda çekme zincirine bağlanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda koparıcı saban sistemlerinde taban ile konveyör arasında hareket eden taban plakasının yüksek sürtünme kuvvetlerine neden olduğu, çekme kuvvetlerinin çoğunluğunun bu sürtünmenin yenilmesinde ve kazılan kömürün konveyöre yüklenmesinde harcandığını ortaya çıkarmıştır. Bu sorunlar kayıcı saban sistemlerinin geliştirilmesi fikrine neden olmuştur. 1960'lı yıllarda geliştirilen kayıcı sabanda taban plakası kaldırılmış, böylece sürtünme için harcanan kuvvet azaltılarak kesmeye daha fazla kuvvet sağlanmış ve daha sert kömürlerin kesilmesi mümkün olmuştur.

Kayıcı saban, konveyörün ayak tarafındaki kısmının üzerindeki eğimli çelik plâka üzerinde kaymakta ve sabanı çeken zincir bu plaka içinde oluşturulan kanallar içinde hareket etmektedir. Ayarlanabilir alt kesici bıçaklar ve ayak gerisine bakan kısma yerleştirilmiş hidrolik pistonlar sayesinde taban kazı seviyesi kontrol edilebilmektedir.

Kayıcı saban (Gleithobel) arın tarafındaki zincir hareketi, çelik plâkalar üzerinde kayarak hareket etmesi ve sınırlandırılmış kesme derinliği, dolayısıyla sürtünme kayıplarının azalması sonucu, tesis edilen enerjinin daha büyük bir kısmının keskilere gelmesine olanak vermektedir. Ayrıca saban geçişinde oluşun kalkmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Kayıcı saban (Gleithobel) sürtünmeden dolayı oluşan enerji kayıplarının daha az olması ve dolayısıyla sert formasyonlarda da kullanılabilmesi nedeniyle, günümüzde daha fazla tercih edilen bir saban türü olmuştur. Buna rağmen günümüzde bu iki tip sabanın da üretimi halen devam etmektedir.

Kayıcı sabanın yeraltında şartlara bağlı olarak dizaynının değiştirilebilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Kesici kafa üzerine ek kesici kafalar eklenerek kesme yükseklikleri artırılıp azaltılabilmektedir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Kesici kafanın modifiye edilmesi (Cat.com., 2017)

*Figure 6. Modification of the cutting head(Cat.com., 2017)*

Bu sistemde konveyörün altından kömür arınına kadar uzanan bir kayma plakası bulunmaktadır. Kayıcı saban sisteminin bazı avantajları aşağıda sunulmuştur.

- Emniyet ve sağlamlığı nedeniyle özellikle çok eğimli damarlar için avantajlı olmaktadır.
- Belirlenen bir derinlikte kesme yapabilmektedir.
- Taban kazısı kontrolü kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Taban plakası çelik plaka üzerinde kaydığından, sürtünme kuvveti nedeniyle kayıp daha az olmaktadır.

Kayıcı saban genellikle orta sert ve sert kömür damarları için geliştirilmiştir. Günümüzde daha da geliştirilen bu tip sabanlar, damar özelliklerine göre 0,8 metreden 2,3 metre damar kalınlığına ve 60° eğime kadar kullanılabilirler. İlerleme hızları 3,6 m/sn'ye ve kesme derinlikleri 21 cm'e kadar çıkmıştır (Şekil 7 ve 8).

Geliştirilen bu iki sabanın en önemli farkları; kayıcı sabanda, (Gleithobel) sabanı çeken zincir arın tarafında ve aynı zamanda konveyörün üzerinde hareket etmektedir. Koparıcı sabanda (Reisshakenhobel) ise sabanı çeken zincir ve saban motorları göçük tarafında olup, saban konveyörün altındaki taban plâkası üzerinde hareket etmektedir.



**Şekil 7.** Kayıcı saban (Zmgs.cn., 2017),

*Figure 7. Gliding Plow (Zmgs.cn., 2017),*

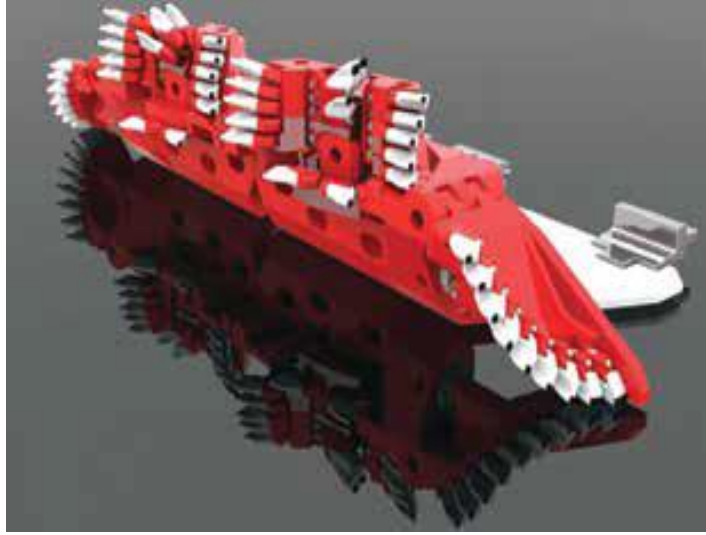


**Şekil 8.** Kayıcı saban (Cat.com, 2017),

*Figure 8. Gliding Plow (Cat.com, 2017),*

**Taban plakalı kayıcı saban (Kılıç tipi), (Gliding Plow with floor plate)**

Taban plakalı kayıcı saban son yıllarda geliştirilmiş olup, Gleithobel ve Reissshakenhobel sistemlerinin özellik ve avantajlarını birleştiren bir sabandır. Bu sistemde konveyörün altından kömür arınına kadar uzanan bir kayma plakası bulunmaktadır. Bu kayma plakasının ucu kömür arınına dayanarak, kayıcı sabanda olduğu gibi belirli bir derinlikte kesme yapılmasını sağlamaktadır. Koparıcı sabanda olduğu gibi, saban gövdesine bağlı bir taban plâkası, konveyör altı ile kayma plâkası arasında kaymakta olup, sonsuz zincir konveyörün ayak gerisine bakan kısmındaki kanallar içinde hareket etmektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Taban plakalı kayıcı saban (halbach-braun.de, 2017),

*Figure 9. Gliding Plow with floor plate(halbach-braun.de, 2017),*

**KÖMÜR SABANI SEÇİMİ (SELECTION of COAL PLOW)**

Kömür sabanlarının seçiminde birçok faktör etkilidir. Örneğin, kömür sertliği, tavan ve taban şartları, ayak eğimi, ondülasyonlar, tavan basıncı seçimde önemli rol oynarlar. İnce kömür damarlarında tamburlu kesicilere nazaran daha avantajlı olmaları nedeniyle sabanlar günümüzde birçok kömür madeninde kullanılmaya başlanmıştır (Tang, 2011). Ayrıca sabanlar, otomasyon sistemine uyum sağlayabilmesi sayesinde kömür sertliğine göre kesme hızı parametrelerini ayarlayarak kesme performansını artırabilmektedir. Ayrıca uzaktan kumanda ile yönetilmesi sayesinde ortamda operatörün bulunmasına gerek olmaması nedeniyle iş güvenliği açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

Kömür sabanının seçiminde birçok parametre birden değerlendirilmelidir. İlk olarak tamburlu kesici-yükleyici makine ile artıları ve eksileri analiz edilmelidir. Sabanın uygun olduğuna karar verildiği takdirde, sabanın kullanılacağı madenin fiziksel özellikleri, iş güvenliği şartları, kömürün mekanik özellikleri, jeolojik yapı, su durumu, süreksizlik durumları, damar eğimi, tavan ve taban şartları gibi durumlar analiz edilerek hangi tip sabanın maden için uygun olduğuna karar verilmelidir. Son olarak da, bu saban tipini üreten firmalar içerisinde uygun olan model seçilmelidir. Günümüzde saban üretimi yapan uluslararası firma sayısı çok azdır. Az sayıdaki bu üretici firmaların isimleri ve internet adresleri Çizelge 1’de verilmiştir. Araştırmacı ve uygulayıcılar kömür madenlerinde saban ile kazının uygun olduğuna karar verdikten sonra bu firmaların portföyünde bulunan tiplerden seçim yapacaklardır. Fakat dikkat edilmesi gereken en önemli husus işletmenin kaya madde ve kütle özellikleri ile işletmenin diğer şartlarına (eğim, su durumu, tavan basıncı vb) uygun seçilmesidir. Genel

seçim kriterleri için Şekil 10'daki diagramdan yararlanılabilir. Fakat ayrıntılı bir seçim için yukarıda belirtilen şartların belirlenerek seçilmesi çok önemlidir.

**Çizelge 1.** Günümüzde kömür sabanı üretimi yapan uluslararası firmalar

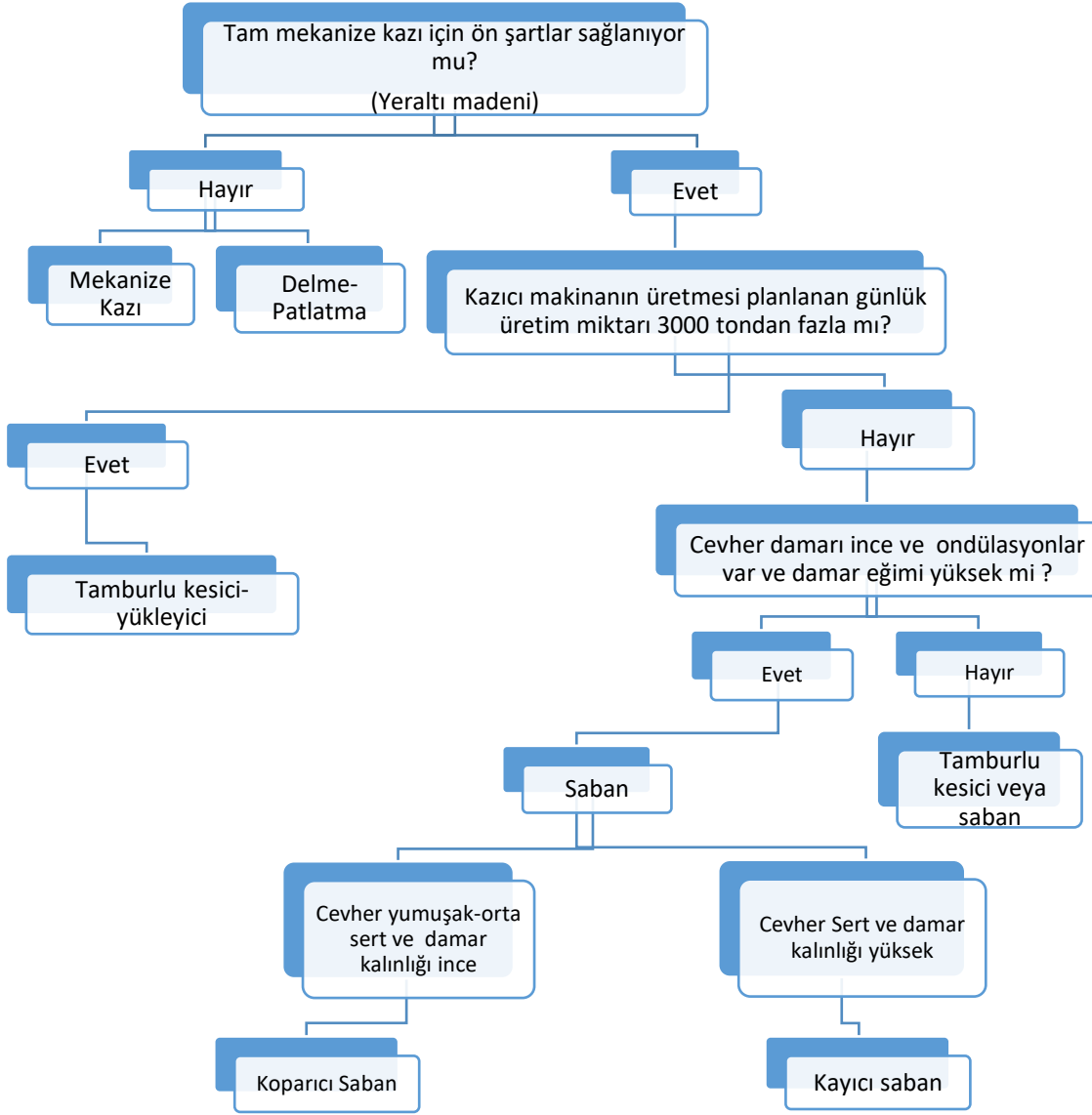
*Table 1.* International companies that produce coal plows today

Firma Adı	Web Adresi
Caterpillar	<a href="http://www.cat.com">www.cat.com</a>
Ostroj	<a href="http://www.ostroj.cz">www.ostroj.cz</a>
Zhangjiakou Coal Mining Machinery	<a href="http://www.zmgs.cn">www.zmgs.cn</a>
Halbach & Braun	<a href="http://www.halbach-braun.de">www.halbach-braun.de</a>
Mackina-Westfalia	<a href="http://www.mackina-westfalia.com">www.mackina-westfalia.com</a>
Svet Shakhtyora	<a href="http://www.shaht.kharkov.ua">www.shaht.kharkov.ua</a>

## SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Günümüzde artan nüfus, teknolojik gelişme ve üretim ihtiyacına paralel olarak tam mekanize kazı sistemi son yıllarda vazgeçilmez bir duruma gelmiştir. Özellikle enerjiye olan talebin gün geçtikçe artmasıyla, kömür üretiminin daha ekonomik ve büyük miktarlarda yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, kömür üretiminde tam mekanize kazı sistemine geçiş süreci hızlanmış, hatta otomasyon sistemi kullanımına doğru bir eğilim gelişmiştir. Son yıllarda kömür üretiminde sabanların kullanımı tekrar artmaya başlamıştır. Kalın kömür damarlarının dünyada azalmaya başlaması nedeniyle, ince-orta kömür damarlarının ekonomik olarak kazanılması önem kazanmıştır. Orta ve ince kömür damarlarında (0,6-2,3 m) sabanların kullanımı gün geçtikçe artmaya devam edecektir. Çünkü günümüzde kömür kazısında kullanılan kazıcı makineler içerisinde ince ve ondülasyonlu damarlara en iyi uyum sağlayan kazıcı makine sabandır. Ayrıca 60°'ye kadar eğimli olan damarlarda bile kullanılabilir olması diğer kazıcı makinalara en önemli üstünlüklerinden bir tanesidir. Dünyada kalın kömür damarlarının zamanla azalmasına bağlı olarak sabanın önemi de beraberinde artacaktır. Sonuç olarak yumuşak ve orta sert kömür madenlerinde ve ince ve orta yükseklikteki damarlarda saban kullanımı günümüzde giderek artmakta ve artmaya devam edecektir.





Şekil 10. Kömür sabanın seçimi için oluşturulan hiyerarşi diyagramı

Figure 10. Hierarchy diagram for the selection of coal plow

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altındağ, R., Güney, A., 1994, "Dünya'da ve Türkiye'de Uzun Ayak Kömür Madenciliğinde Mekanizasyonun Rolü", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi 15.Yıl Sempozyumu*, 391-397.
- Aktaş, H., 1986, "Hidromekanik Kazıda Gelişmeler", *Madencilik*, Haziran, Cilt: 25, Sayı: 2, ss. 17-23.
- Beitler, S., Holm, M., Arndt, T., Mozar, A., Junker, M., Bohn, C., 2013, "A Shield-Data-Based Horizon Control Approach for Thin Seam Coal Mining Utilizing Plow Technology", *2013. Proceedings of the 30th ISARC*, Montréal, Canada, 955-962.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014, *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries*, CRC Pres, Taylor & Francis Group, London Newyork. ISBN: 13: 978-1-4665-8475-4, 355p.

- Bilim, N., 2007, *Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi*, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 270s.
- Bilim, N., 2016. "Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Dışa Bağımlılığın Azaltılması İçin Uygulanması Gereken Politikalar", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi (SUJEST)*, Cilt: 4, Sayı: 2, ss. 145-154.
- Cat.com, 2017. [http://www.cat.com/tr\\_TR/products/new/equipment/underground-longwall/plows.html](http://www.cat.com/tr_TR/products/new/equipment/underground-longwall/plows.html)
- Demirtaş, L., 2017., *Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) Aylık Enerji İstatistikleri Raporu-4*, Nisan 2017".
- Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2014, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2015.
- EIA, 2016, *International Energy Outlook 2016*, U.S. Energy Information Administration (EIA), DOE/EIA-0484 (2016) May 2016, 276p.
- Eskikaya, S., 1969, *Kömür İstihsalinde Kazı Mekanizasyonu*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 212s.
- Gondek, H., Frydryšek, K. Ševčík, A., 2011, *Mining Machines in Technical Practice (Short Introduction)*, VŠB– Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 102s.
- Halbach-braun.de, 2017. <http://www.halbach-braun.de/index.php/de/produkte>
- IEA (International Energy Agency), 2015, *Electricity Information*, 2015, 11 s.
- Karakış, E., 2015, *Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) Aylık Enerji İstatistikleri Raporu*, Eylül 2015, 10 s.
- Kekeç, B., Bilim, N., 2014, "The Importance and State of Coal Industry in Turkey's Energy Policy", *31st Annual International Pittsburgh Coal Conference 2014 (PCC 2014)*, Pittsburgh, USA, 928-946, 6-9 October 2014.
- Mackina-westfalia.com, 2017, <http://www.mackina-westfalia.com/en/mining-products/cut/s3g-plough-2.html>
- Myszkowski, M., Paschedag, U., 2008, *Longwall Mining in Seam of Medium Thickness– Comparisons of Plow and Shearer Performance Under Compareable Conditions*, Lünen, Germany: Bucyres.
- Ostroj.cz, 2017, OSTROJ a.s. Coal Plough Systems. <http://www.ostroj.cz/en/coal-plough-systems>
- Paschedag, U., 201., *Plow Technology- History and Today's State of the Art*, *International Mining Forum*, New Techniques and Technologies in Thin Coal Seam Exploitation, 1-14.
- Paschedag, U., 2014, *Plow Technology - History and the State of the Industry*, *Caterpillar Global Mining*, Mining.cat.com, 17s.
- Şimşir, F., 1995, "Sabanlı Uzunayaklarda Yol-Kontrollü Öteleme Yönteminin İrdelenmesi", *Madencilik*, Cilt: 34, Sayı: 4, ss. 3-10.
- Tang D. X., 2011, "Operational Experiences of Automated Plow Systems in Tiefsa, China", *Proceedings of the International Mining forum 2011*, Bogdanka, Poland, 29-35, November 2011.
- Zmgs.cn. 2017. <http://www.zmgs.cn/wy/products/plough.asp>



## HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ KULLANILARAK KARIŞIK AKIŞLI BİR KALP DESTEK POMPASININ TASARIMI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Fehmi MUTLU, <sup>2</sup>Rafet YAPICI

<sup>1,2</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bl. Selçuklu/Konya TÜRKİYE  
fhmmtl92@gmail.com, <sup>2</sup>rafet@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 22.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 31.01.2018)

**ÖZ:** Kalp yetersizliği, kalbin vücudun ihtiyacı olan yeterli kanı pompalayamadığı bir kalp rahatsızlığıdır. Sol ventrikül kalp destek pompaları, kalbin sol ventrikülünden kanın aort atar damarına pompalanmasına yardımcı olurlar. Bu çalışmada, heliko-santrifüj karışık akışlı bir sol ventrikül kalp destek pompasının tasarımı, pompa tasarım programları kullanılarak yapıldı. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metodu ile pompanın hidrodinamik performansı belirlendi. Pompanın sayısal performans sonuçları kullanılarak hidrolik verime göre optimum pompa tasarımı gerçekleştirildi. Kurulan deney düzeneğinde farklı dönme hızlarında bu pompanın basıncı, debisi ve tükettiği güç ölçüldü ve ölçülen bu değerler ile deneysel hidrodinamik performans eğrileri belirlendi. Deneyde ve HAD analizinde, çalışma akışkanı kan ile aynı viskozitede olan su-gliserin çözeltisi (hacimce %40 gliserin ve %60 su) kullanıldı. Karşılaştırma yapılması için su ile de deney ve HAD analizleri yapıldı. Pompanın deneysel ve sayısal performans sonuçlarına göre, basınç farkındaki sapma oranının yüksek debilerde %1'den daha düşük ve düşük debilerde ise yaklaşık %5,7 olarak görüldü. Bu yetişkin kalp destek pompalarının sağlaması gereken 5 L/dak debideki 100 mmHg basınç değeri, 5100 dev/dak dönme hızında elde edildi. Bu noktada pompanın hidrolik verimi %52,1, genel verimi %30,9 ve maksimum cidar kayma gerilmesi 166 Pa olarak belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Mini heliko-santrifüj / karışık akışlı pompa, Sol ventrikül kalp destek pompası,

### A Mixed Flow Heart Assist Pump Design and Investigation of Its Performance Using Computational Fluid Dynamics

**ABSTRACT:** Heart failure is a heart disease in which the heart cannot pump enough blood to meet the body's needs. Left ventricular heart assist pumps help to pump the blood from the left ventricle of the heart to the aorta artery. In this study, the design of a helico-centrifugal mixed-flow heart assist pump was made using the pump design programs. The hydrodynamic performance of the pump was determined by the computational fluid dynamics (CFD) method. Using the pump's numerical performance results, the optimum pump design was performed according to the hydraulic efficiency. Pressure, flow rate and power consumption of pump at different rotational speeds were measured in the experimental setup and experimental hydrodynamic performance curves were determined with these measured values. In the experiment and CFD analysis, the working fluid was a water-glycerin solution (by volume 40% glycerin and 60% water) which has the same viscosity as blood. Also, for comparison; experiments and CFD analysis were performed with water. According to the experimental and numerical performance results of the pump, the deviation ratio of the pressure difference was calculated to be less than 1% at high flow rates and approximately 5.7% at low flow rates. The pressure of 100 mmHg at 5 L / min flow rate, which must be provide by the adults heart assist pumps was achieved at rotation speed of 5100 rpm. At this point, the hydraulic and overall efficiency of the pump and the

maximum wall shear stress in the pump was determined to be the 52.1%, 30.9% and 166 Pa, respectively.

**Key Words:** *Computational fluid dynamics (CFD), Mini-helico-centrifugal/ mixed-flow pump, Left ventricular heart assist pump.*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalp yetersizliği kalp hastalıklarından birisidir. Bu hastalık, kalbin çalışma performansının düşmesinden dolayı, doku ve organların ihtiyacı olan kanı pompalayamaması sonucunu ortaya çıkmaktadır. Kalp yetersizliği, her yaşta görülmekle birlikte ilerleyen yaşlarda görülme sıklığı artar. Türkiye’de yapılan çalışmalara göre 2 milyonun üzerinde insanda kalp yetersizliği olduğu düşünülmektedir (Degertekin ve diğ., 2012). Kalp yetersizliğinin ilaçla tedavisi yapılmakla birlikte hastalığın ilerlemesiyle kalp nakli yapılması gerekebilmektedir. Ancak uygun ve yeterli sayıda vericinin (donör) bulunamamasından dolayı hastaların hayatta kalması için mekanik destek cihazlarına gerek duyulmaktadır. Bu cihazlardan biri olan mekanik kalp destek pompaları (ventrikül destek pompaları), kısa ve uzun dönemli olarak hastalarda, kalbin kanı pompalamasını desteklemektedir. Kalp destek pompaları iyileşme ya da kalp nakli için köprü olarak yaygın bir şekilde kullanılmakta, hatta son dönem kalp yetersizliği olan hastalar için hedef tedavi olarak da kullanılmaktadır (Bunzel ve diğ., 2007).

Günümüzde geliştirilen iki temel kalp destek pompası tipi: dönel (rotadinamik) sürekli akış tipi pompalar ve pozitif yer değiştirmeli (deplasmanlı) kalp destek pompalarıdır. Pozitif yer değiştirmeli pompalar, kalp ile benzer bir şekilde (nabızlı olarak) kanı pompalamasına rağmen, hareketli parça sayısının fazla olması, büyük boyutları ve mekanik arızaları gibi istenmeyen durumları da vardır. Dönel sürekli akış pompaların; küçük boyutları, basit tasarımları (pozitif deplasmanlı pompalarla karşılaştırıldığında), daha az hareketli parçaları ve düşük güç tüketimi gibi avantajları mevcuttur (Fraser ve diğ., 2011). Rotadinamik pompalar özgül hızlarına göre; santrifüj, karışık akışlı ve eksenel akışlı pompalar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır. Santrifüj akışlı pompalar verim açısından karşılaştırıldığında eksenel akışlı pompalardan daha verimliler (Anderson ve diğ., 2000) ve pozitif deplasmanlı pompalara göre daha az sorunları bulunmaktadır (Olsen 2000). Kan pompalarının tipik olarak verimleri 20-30% arasındadır (Fraser ve diğ., 2011).

Ventrikül destek pompaları (VADs), kalbin sol ventrikül, sağ ventrikül veya her iki ventriküle destek vermesi için implante (nakil) edilebilmektedir. Sol ventrikül destek pompaları, kanın kalbin sol ventrikülünden (karıncık), aort atar damarına pompalanmasına destek olurlar. Ventrikül destek pompaları birçok hastaya hâlihazırda fayda sağlamış olmasına rağmen üzerinde çözülmeye çalışılan bazı sorunlara da sahiptirler. Bu sorunların en başında gelenleri, kanın hasar görerek hemolize uğraması ve pıhtılaşmasıdır (Genovese ve diğ., 2009; Thompson ve diğ., 2003).

Çalışmamızın birinci amacı, pompa tasarım programları kullanarak karışık akışlı bir kalp destek pompası tasarımının yapılması, ikinci amacı, HAD simülasyonu ve deneysel olarak bu pompanın hidrodinamik performansının belirlenmesi ve son amacı ise sayısal sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmaktır.

Bu çalışma; karışık akışlı bir kalp destek pompası tasarımı, HAD ile onun simülasyonu ve optimizasyonu, imalatı, kurulan test düzeneğinde denenmesi ve simülasyonla deney sonuçlarının karşılaştırılması olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır.

## MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

### Çark ve Salyangozun Tasarımı (Design of Impeller and Volute)

Çalışmamızın ilk aşamasında, bir heliko-santrifüj karışık akışlı sol ventrikül kalp destek pompasının çark ve salyangozunun tasarımı yapıldı. Literatürdeki çalışmalarda sol ventrikül kalp destek pompalarının karşılaması gereken hidrolik performans parametreleri olarak, 5 L/dak debide 100 mmHg

basınç değerleri alınmaktadır (Behbahani ve diğ., 2009). Bu çalışmada heliko-santrifüj sol ventrikül kalp destek pompasının tasarım parametreleri olarak, 6000 dev/dak dönme hızı, 100 mmHg basınç ve 5 L/dak debi değerleri alındı. Pompanın çark ve salyangozunun tasarımında, ANSYS Vista CPD ve ANSYS BladeGen pompa tasarım programları ve katı modellemesinde SolidWorks tasarım programı kullanıldı.

Çark tasarımı için, ANSYS Vista CPD programının çark kısmına başlangıç tasarım değerleri (5 L/dak debi, 100 mmHg basınç ve 6000 dev/dak dönme hızı) girildi. Geometri sekmesi altında bulunan; çark kanat sayısı, göbek kanat açısı, örtü kanat açısı gibi parametrelerin sayısal değerleri girilerek bir model oluşturuldu. Oluşturulan model BladeGen modülüne aktarıldı. Burada kanadın giriş ve çıkış uç kısımlarının şekli ve kanat profili gibi özellikleri ayarlandı. ANSYS Vista CPD programı ile bu çarka uygun bir salyangoz modeli oluşturuldu. Çark ve salyangozun tasarımında gerçekleştirilen bu adımlardan sonra oluşturulan bir katı model ANSYS Fluent analiz programı ile bir dizi simülasyon denemeleri yapılarak, pompa verimi ve kalp destek pompasının karşılaması gereken hidrolik değerler açısından optimum çark ve salyangozun ortaya çıkması sağlandı. Nihai olarak ortaya çıkan çark ve salyangozun katı modeli, Şekil 1’de verildi. Tasarlanan pompanın ait bilgiler ise Çizelge 1’de verildi.

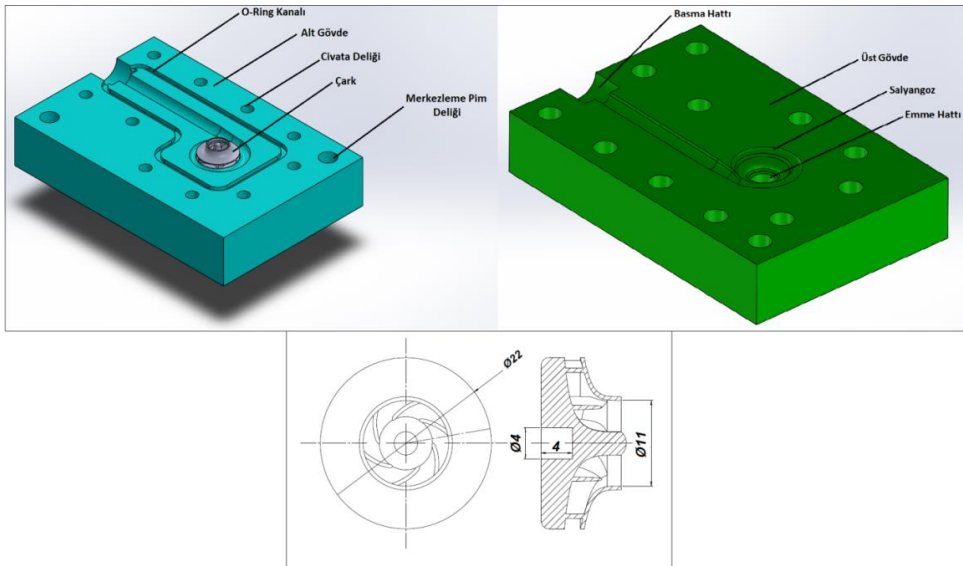
Pompa tasarım süreci genellikle boyutsuz özgül hız ve özgül çap parametrelerinin belirlenmesi ile başlar. Heliko-santrifüj karışık akışlı kalp destek pompasının özgül hızı (yada SI sisteminde tip numarası olarak da bilinir) aşağıdaki denklemle hesaplandı:

$$n_s = \frac{N_s Q^{0.5}}{\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)^{0.75}} \quad (1)$$

Özgül çapın hesaplandığı denklem ise

$$d_s = \frac{D \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)^{0.25}}{Q^{0.5}} \quad (2)$$

şeklinde. Bu denklemlerdeki  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) yoğunluk,  $\Delta P$  (Pa) basınç,  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) debi,  $N_s$  (rad/s) pompa hızı ve  $D$  (m) çaptır. Kalp destek pompalarının tasarımında, pompa geometrisinin etkisinin incelendiği bir çalışmada (Mozafari ve diğ., 2017), en yüksek verimin elde edilebilmesi için, özgül hız ve özgül çap arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmamızda Çizelge 1’de belirtilen özgül hız ve özgül çap değerlerinin, Mozafari ve arkadaşlarının bu çalışmadaki 0,88 özgül hız için 4,63 özgül çap değerine uygun olduğu görüldü.



Şekil 1. Pompa çark ve salyangozun katı modeli

Figure 1. Solid model of pump impeller and volute

**Çizelge 1.** Pompanın tasarım parametreleri ve çalışma koşulları

*Table 1. Design parameters and operating conditions of pump*

Debi (L/dak)	Tasarım Parametreleri		Çark çapı (mm)	Pompa hızı aralığı		Boyutsuz özgül hız (n <sub>s</sub> )	Boyutsuz özgül çap (d <sub>s</sub> )
	Basınç (mmHg)	Pompa hızı (dev/dak)		Minimum (dev/dak)	Maksimum (dev/dak)		
5	100	6000	22	5000	7000	0,85	4,60

### HAD Modellemesi (CFD Modeling)

Çalışmanın ikinci aşamasında, katı modeli oluşturulan kalp destek pompasının HAD analizleri, ANSYS Fluent 18.1 programı kullanılarak yapıldı. HAD simülasyonlarının yapıldığı RNG  $k-\varepsilon$  türbülans modeline ait  $k-\varepsilon$  denklemleri, “renormalizasyon grup” RNG metodu denen bir matematiksel teknik kullanılarak, anlık Navier-Stokes denklemlerinden çıkarılmıştır.

### Türbülans modeli (Turbulence model)

İki denklemlilik türbülans modellerinden biri olan standart  $k-\varepsilon$  türbülans modeli, daha önceki birçok kalp destek pompası çalışmasında kullanıldı (Zhang ve diğ., 2008). Bu modelde  $k$  ve  $\varepsilon$  sırasıyla, türbülans kinetik enerjisi ve onun kayıp hızıdır. Birçok araştırma ve mühendislik çalışmasında kullanılan bu modelin bazı zayıf tarafları bulunmaktadır. Akışın tamamen türbülanslı kabul edilmesi ve moleküler viskozitenin etkilerinin önemsiz varsayılması ve bunun yalnızca yüksek Reynolds sayılı türbülanslı akışlar için geçerli olması modelin eksiklikleridir (Fraser ve diğ., 2011). Bu sebepten dolayı standart  $k-\varepsilon$  türbülans modelinin geliştirilmiş bir çeşidi olan RNG  $k-\varepsilon$  modeli, bu çalışmada HAD analizleri için türbülans modeli olarak seçildi. Modelde sonuçların doğruluğunu arttırmak için, duvar yakını iyileştirme seçeneklerinden “ölçeklenebilir duvar fonksiyonu” seçildi (Mozafari ve diğ., 2017). RNG  $k-\varepsilon$  modelinin standart  $k-\varepsilon$  modeliyle benzerlikleri olmakla birlikte geliştirilmiş yanları da vardır. Bunlar:

- RNG modelindeki  $\varepsilon$ - denklemleri, standart  $k-\varepsilon$  modelindeki  $\varepsilon$ - denklemlere göre ek bir terim içerir. Bu ek terim, hızlı şekil değiştiren akışlarda sonucun doğruluğunu arttırmaktadır ve RNG  $k-\varepsilon$  modelinin, standart  $k-\varepsilon$  modelinden en önemli farkıdır.
- RNG modeli, türbülans üzerine girdabın etkisini hesaba katarak, girdaplı akışların doğruluğunu artırır.
- Bu model, türbülans Prandtl sayılarını sabit almaz; analitik bir formül kullanarak hesaplar.
- Standart  $k-\varepsilon$  modeli yüksek Reynolds sayılı bir model iken, RNG  $k-\varepsilon$  modeli düşük Reynolds sayılarının etkilerini de hesaplayan efektif viskozite ( $\mu_{eff}$ ) için analitik olarak türetilmiş diferansiyel formül sağlar (Ansys Fluent Theory Guide, 2017).

Daimi sıkıştırılmaz akış için RNG  $k-\varepsilon$  modelinde kullanılan  $k$  ve  $\varepsilon$  denklemleri aşağıdaki gibidir:  
Türbülans kinetik enerjisi  $k$ - denklemleri;

$$\rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t S^2 - \rho \varepsilon \quad (3)$$

Türbülans kinetik enerjisinin kayıp hızı  $\varepsilon$ - denklemleri;

$$\rho u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} \mu_t S^2 - \rho C_{2\varepsilon}^* \varepsilon) \quad (4)$$

Denklem (4)'deki  $C_{2\varepsilon}^*$  katsayısının hesabı aşağıdaki denklemle yapılır:

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \quad (5)$$

Bu denklemin sağ tarafındaki ikinci (ek) terim, RNG  $k-\varepsilon$  modelinin standart  $k-\varepsilon$  modelinden ana farkını gösterir.

Türbülans viskozitesinin, efektif viskozitenin ve  $\eta$  katsayısının hesabı sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak yapılır:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t \quad (7)$$

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon} \quad (8)$$

Bu denklemlerde kullanılan  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  ve  $C_\mu$  model sabitleri RNG teorisinden analitik olarak çıkarılan sabitlerdir. Ayrıca denklemlerde kullanılan diğer katsayılar  $\eta_0=4,38$  ve  $\beta=0,012$ 'dir (Ansys Fluent Theory Guide, 2017).

Bu modelde girdap veya dönmelerin türbülansa etkilerini hesaba katmak için türbülans viskozitesi aşağıdaki gibi modifiye edilmiştir:

$$\mu_t = \mu_{t0} f(\alpha_s, \Omega, \frac{k}{\varepsilon}) \quad (9)$$

Burada  $\mu_{t0}$ , Denklem (6) kullanılarak girdap modifikasyonu olmadan hesaplanan türbülans viskozitesi değeridir.  $\Omega$ , ANSYS Fluent içinde değerlendirilen girdap sayısı ve  $\alpha_s$  girdap sabitidir ve akışın kuvvetli veya zayıf girdaplı olup olmadığına göre farklı değerler alır.

Bu model denklemlerindeki ters efektif Prandtl sayıları  $\alpha_k$  ve  $\alpha_\varepsilon$ , RNG teorisi tarafından analitik olarak çıkarılan aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu_{\text{mol}}}{\mu_{\text{eff}}} \quad (10)$$

burada  $\alpha_0 = 1,0$ 'dir.

#### Sınır şartları (Boundary Conditions)

Tüm analizlerde pompanın giriş yüzeyinde *kütlesel debisi girişi* ve çıkış yüzeyinde *basınç çıkışı* sınır şartı olarak kullanıldı. Çarkın dönme hızına ve yönüne göre çark içindeki sıvıya dönme verildi. Pompanın girişinde ve çıkışında türbülansı tanımlamak için türbülans şiddeti ve hidrolik çap kullanıldı. Pompanın giriş ve çıkış yüzeylerindeki hidrolik çapların değerleri ve her kütle debisi için Denklem (11) ile türbülans şiddeti hesaplanarak değeri girildi. Kaymama sınır şartı kabulü gereğince, akışkanın temas ettiği çark duvarına göre hızı, sıfır olacak şekilde ayarlandı.

HAD analizlerinde, kalp destek pompasının çalışma koşullarına uygun olarak +x yönünde 9,81 m/s<sup>2</sup> yerçekimi ivmesi değeri girildi. Sonuçların karşılaştırılması için önce çalışma sıvısı olarak su ile analizler gerçekleştirildi. Literatürdeki çalışmalarda, kalp destek pompası deney ve HAD analizlerinde Newtonyen bir akışkan olan su-gliserin çözeltisi kullanıldığı belirtilmiştir (Zhang ve diğ., 2008; Chua ve Akamatsu, 2000). Sonra analizlerde ve deneylerde kana benzemesi için çalışma sıvısı olarak, Newtonyen ve sıkıştırılmaz bir akışkan olan su-gliserin çözeltisi (hacimce %40 gliserin ve %60 su) kullanıldı (Untaroiu ve diğ.,2005). Su-gliserin çözeltinin yoğunluğu ve viskozitesi sırasıyla, 1,1x10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> ve

$3,5 \times 10^{-3}$  Pa.s olarak ölçüldü. Bu değerlerin (Hu ve diğ., 2012)'nin deneysel çalışmaları ile uyumlu olduğu görüldü.

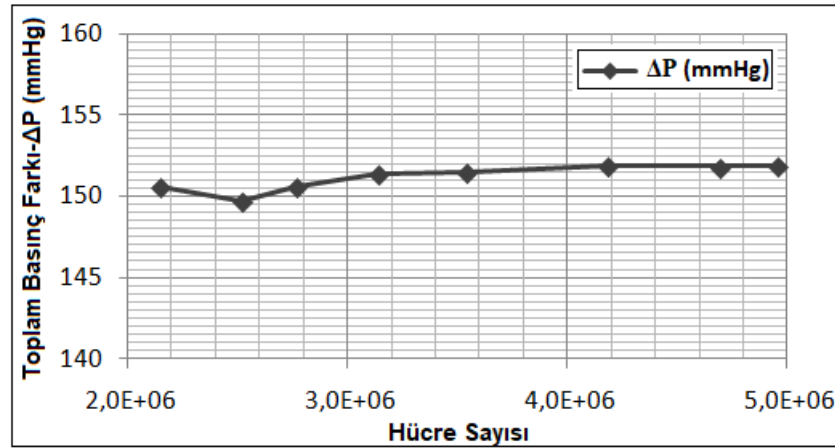
Basınç-hız birleştirilmiş çözücünde, süreklilik ve momentum denklemleri ve türbülans denklemlerinde, ikinci dereceden ayrıklaştırma şemaları kullanıldı. Analizlerde akış, "daimi bir akış" olarak kabul edildi. HAD çözümleri,  $9 \times 10^{-5}$  yakınsama kriteri değerine kadar yapıldı.

HAD analizlerinde pompanın giriş ve çıkışında türbülans şiddetinin değeri aşağıdaki denklem ile hesaplandı:

$$T\dot{\gamma} = 0,16 \cdot Re^{-1/8} \quad (11)$$

### Çözüm ağı oluşturma (Meshing)

Çark ve salyangoz katı modelinin akış bölgesinde önce *Fine 50* düzeyinde çözüm ağı oluşturuldu. Sonra HAD analizlerinde hesaplanan sonucun doğruluğunu arttırmak ve çözümün yakınsamasını sağlamak için, basınç gradyanı ve  $y^+$  adaptasyonu uygulanarak daha yüksek hücre sayılı ve kaliteli çözüm ağı elde edildi. Tasarım değerleri olan 6000 dev/dak dönme sayısı ve 5 L/dak debide analizler yapılarak, çeşitli hücre sayılarında elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çözüm ağı bağımsızlık testine göre yaklaşık 1.800.000 düğüm noktası ve 4.700.000 hücre sayısında sonra basınç farkı değerlerinin değişmediği görüldü.



Şekil 2. Çözüm ağı hücre sayısı ve toplam basınç farkı arasındaki ilişki  
Figure 2. Relationship between mesh cell number and total pressure difference

### Pompa hidrolik ve genel verimi (Pump hydraulic and overall efficiency)

Pompanın hidrolik verimi, her analiz sonunda farklı debilerde, tork ve toplam basınç farkı değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemle belirlendi:

$$\eta_h = \frac{Q\Delta P}{T\Omega} \quad (12)$$

Burada  $\eta_h$  pompanın hidrolik verimini,  $Q$  birimi ( $m^3/s$ ) cinsinden pompanın debisini,  $\Delta P$  toplam basınç farkını (Pa),  $T$  mil torkunu (Nm) ve  $\Omega$  ise açısal hızı (rad/s) temsil etmektedir. Pompanın çıkışı ile girişi arasındaki toplam (statik + dinamik) basınç farkı aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$\Delta P = P_{tç} - P_{tg} \quad (13)$$

Pompanın genel verimi, deneysel çalışmada pompanın elektrik motoru ile birlikte tükettiği güç ile hesaplandı. Pompanın genel verimi aşağıdaki denklemle bulundu:



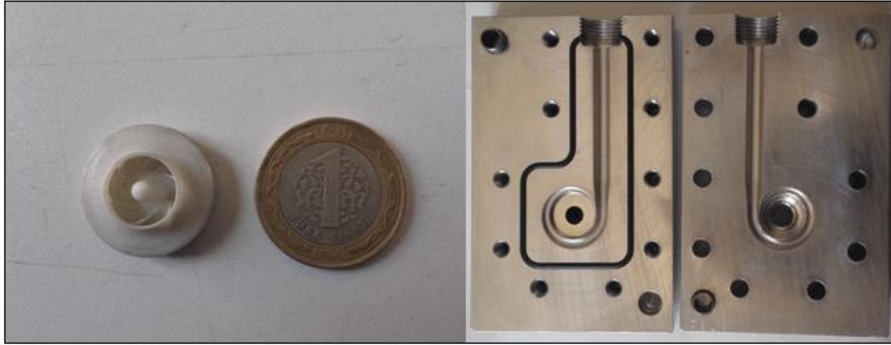
$$\eta = \frac{Q\Delta P}{W_{mil}} \quad (14)$$

Burada mil gücü ( $W_{mil}$ ), elektrik motorunun yükte ve boşta çektiği güçler arasındaki farktır.

### İmalat ve Deney Sistemi (Manufacturing and Experiment System)

#### Çark ve salyangozun imalatı (Manufacturing of impeller and volute)

Çalışmanın üçüncü aşamasında, tasarımı ve HAD analizi yapılan çark ve salyangozun deneysel ortamda performansını belirlemek amacıyla çark ve salyangozun prototiplerinin imalatı yapıldı. Katı modeli oluşturulan pompa çarkı PA2200 naylon malzemeden, lazer sinterleme yöntemi ile imal edildi. Üretilen çarkın resmi Şekil 3'de görülmektedir. Salyangozun ise deney düzeneğinde kolay bir şekilde test edilmesi için dikdörtgen prizması şeklindeki bir gövde işlenerek imal edildi. CNC dik işlem tezgâhu yardımıyla, alüminyum malzemeden alt ve üst kısım olarak iki parça şeklinde imalatı yapıldı. Bu gövdenin, kolay imal edilmesi ve paslanmaya uğramasının engellenmesi için alüminyum malzeme tercih edildi. İmalatı yapılan salyangoz alt ve üst kısımlarının resmi de, Şekil 3'de görülmektedir. Deneysel çalışmada salyangozdan sıvı sızıntısını engellemek için alt gövdeye, Ø3 mm çapında O-ring kanalı açıldı. Pompanın mili paslanmaz çelik malzemeden imal edildi. Mil ile gövde arasındaki boşluktan sıvı sızıntısını engellemek için ise, 6x16x7 mm (sırasıyla iç çap, dış çap ve genişlik) boyutlarında döner mil keçesi kullanıldı. Milin yataklanmasında ise, 625 numaralı bilyeli rulman kullanıldı.



**Şekil 3.** Pompa çark ve salyangozunun prototipi

*Figure 3. Prototype of pump impeller and volute*

#### Deney seti (Experimental setup)

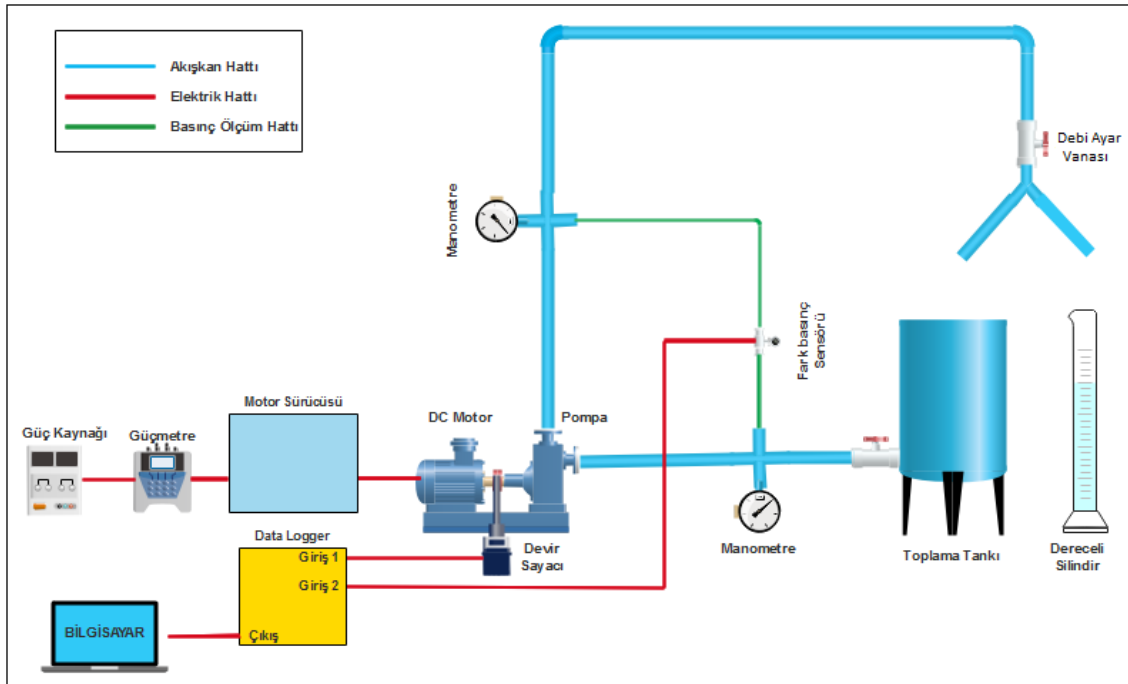
Çalışmanın dördüncü aşamasında, kalp destek pompasının deneysel performansı belirlendi. Bu amaçla kullanılan deney düzeneğinin şeması Şekil 4'de görülmektedir. Deney düzeneğinde bir adet atmosfere açık sıvı toplama tankı bulunmaktadır. İş akışkanı, esnek ve şeffaf hortumlar (dış çapı 16 mm ve iç çapı 10,5 mm) içinde dolaşmaktadır. Deney düzeneğinin basma hattında bulunan debi ayar vanası ile sistemden geçen sıvının debisi ayarlandı. Bu debi ayar vanası tam açık konumda iken maksimum debi, vananın aşamalı kısılması ile birlikte farklı debi ve basınç değerlerinin meydana gelmesi sağlandı.

Pompanın toplam basınç farkı, %0,25 hassasiyete sahip bir fark basınç sensörü (Valcom 27D) ile ölçüldü. Basınç ölçümleri, pompanın giriş ve çıkışında bulunan basınç prizleri üzerinden yapıldı. Giriş ve çıkışta bulunan bu iki noktadan ayrıca manometreler yardımıyla basınç ölçüm kontrolü yapıldı. Akan sıvının debisi ise, 2000 mL ± 20mL hassasiyetli bir dereceli silindirik kap ile akan sıvı hacmi ve kronometre yardımıyla da akma zamanı ölçülerek hesaplandı.

Yüksek hızlı DC elektrik motoru ile pompa miline tahrik verildi. Elektrik motorun devir ölçümü bir endüktif yakınlık sensörü (Sick IME1603) ile yapıldı. Bu sensörün kontrolü ise, %0,05 ölçme

hassasiyetine sahip dijital foto takometre (Lutron DT2236) ile yapıldı. Motorun tükettiği gücün ölçümü ise %1 hassasiyete sahip DC güç metre ile yapıldı.

Pompanın deneysel ortamda hidrodinamik karakteristiklerini elde etmek ve karşılaştırma yapmak için, deneyde önce iş akışkanı olarak su kullanıldı. Sonra, pompanın kanla benzer bir iş akışkanı olan su-gliserin çözeltisi (hacimde %40 gliserin ve %60 su) ile de deneyler yapıldı (Untaroiu ve diğ.; 2005). Ölçülen ve ölçülen değerlerle hesaplanan performans parametreleri kullanılarak, pompanın farklı devir sayılarında su-gliserin çözeltisinde hidrodinamik performans eğrileri oluşturuldu. Su ve gliserin moleküllerinin her ikisi de polar moleküller olduğundan her oranda birbiri içerisinde homojen olarak karışmaktadır. Ölçüm esnasında pompanın su ve gliserin karışımını deney düzeneğinde sirkülasyon yaptırması karışımın homojen kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca su-gliserin çözeltisinden deneylerinin başında numune alınarak tüm deney esnasında ayrı bir yerde bekletildi ve herhangi bir çökelme sonucu ayrışmanın olmadığı gözlemlendi.



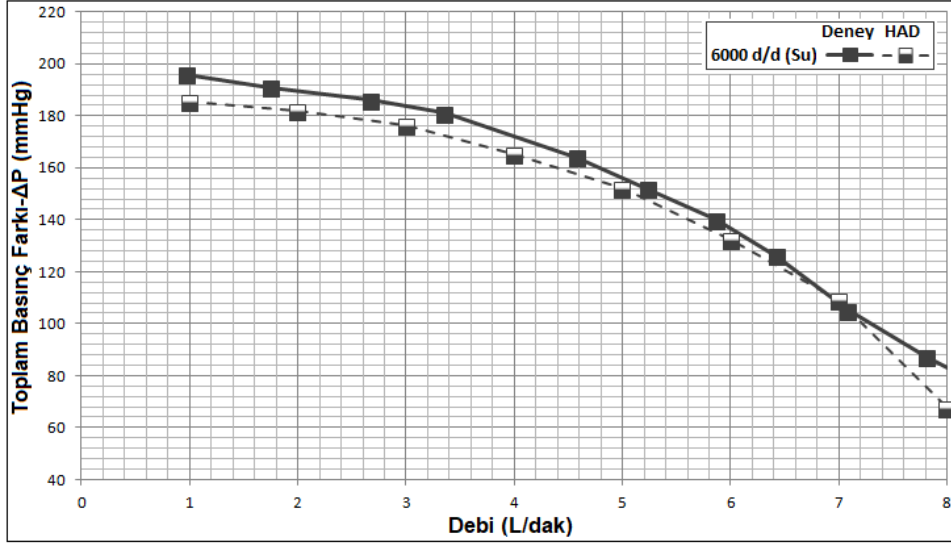
Şekil 4. Deney düzeneğinin şeması

Figure 4. Scheme of experiment setup

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

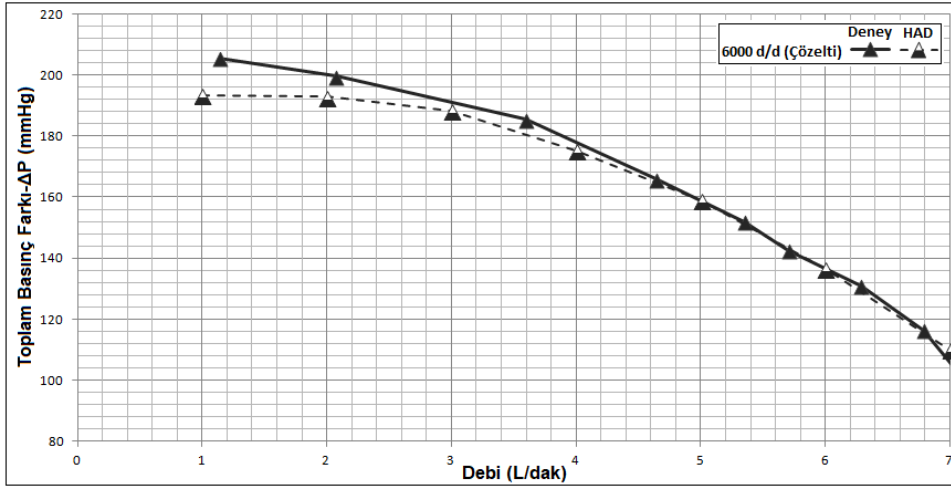
Çalışmanın son aşamasında tasarlanarak üretilen pompanın 5000 ila 7000 dev/dak aralığında su ve su-gliserin çözeltisi için simülasyonla ve deneyle belirlenen performansı kıyaslanmıştır. Heliko-santrifüj karışık akışlı kalp destek pompasının 6000 dev/dak dönme hızında, su ve su-gliserin çözeltisindeki hidrodinamik performans eğrileri sırayla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildi. Pompanın iş akışkanı su ile oluşturulan hidrodinamik karakteristiklerinin grafiğinde (Şekil 5) yüksek debilerde, deney ve HAD analiz sonuçları arasındaki sapma oranının % 1'den düşük olduğu görüldü. Aynı grafikte düşük debilerde deney ve HAD analiz sonuçları arasındaki farkın en yüksek olduğu yerde (1 L/dak debide) yaklaşık %4,8 olduğu görüldü. Benzer bir eğilim iş akışkanı olarak gliserin-su çözeltisinde de görülmektedir. Şekil 6'daki grafikte iş akışkanı olarak gliserin-su çözeltisinin deney ve HAD analizi sonuçları arasındaki farkın en yüksek olduğu yerde (1 L/dak debide) fark yaklaşık % 5,7 olduğu görüldü. Deney ve HAD analizi arasındaki düşük debilerde farkın yüksek, yüksek debilerde ise farkın düşük olmasının sebebi, RNG  $k-\epsilon$  türbülans modeliyle yapılan çözümde diferansiyel viskozite modeli opsiyonunun kullanılmamasıdır. Ancak kalp destek pompaları daha spesifik cihazlar olduğu için düşük-yüksek Reynolds sayısı aralığında çalışmaktadırlar. Bu sebepten dolayı düşük debilerde akışın Reynolds sayısı

düşmekte ve türbülans modelinin çözümünde, grafiklerde de görüldüğü gibi (Şekil 5 ve 6) biraz daha büyük sapma oranı oluşmaktadır. Sol ventrikül kalp destek pompalarının karşılaması gereken 5 L/dak debide 100 mmHg basınç ise 5100 dev/dak dönme hızında elde edilmiştir.



Şekil 5. Su için deney ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 5. Comparison of experimental and CFD results for water



Şekil 6. Su-gliserin çözeltisi için deney ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 6. Comparison of experiment and CFD results for water-glycerin solution

Pompaların HAD analizi veya deneysel sonuçlarının daha az sayıda parametre ile ifade edilmesi ve genelleştirilebilmesi için, onların hidrodinamik performans eğrileri, basınç ve debi katsayıları gibi boyutsuz parametreler kullanılarak gösterilir. Boyutsuz parametreler yardımıyla gösterim metodunun daha önceki (Kafagy ve diğ., 2015; Wu ve diğ., 2001) çalışmalarda da kullanıldığı görüldü. Pompaların iki boyutsuz performans parametresi olan basınç katsayısı ( $\psi$ ) ve debi katsayısının ( $\Phi$ ) boyutsuz ifadeleri aşağıda sırayla verilmiştir:

$$\psi = C_{\psi} \left( \frac{\Delta P}{\rho N^2 R^2} \right) \quad (15)$$

$$\Phi = C_{\Phi} \left( \frac{Q}{NR^3} \right) \quad (16)$$

Burada  $Q$  debiyi ( $L/dak$ ),  $N$  çarkın dönme hızını ( $dev/dak$ ),  $R$  çark yarıçapını ( $mm$ ),  $\Delta P$  pompa basıncını ( $mmHg$ ) ve  $\rho$  yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) temsil eder.  $C_\psi$  sabiti basınç faktörü ve  $C_\phi$  sabiti debi faktörüdür. Bu faktörlerin değerleri sırasıyla,  $1,2157 \times 10^{10}$  ve  $1,5195 \times 10^5$  dir (Chopski ve diğ., 2016).

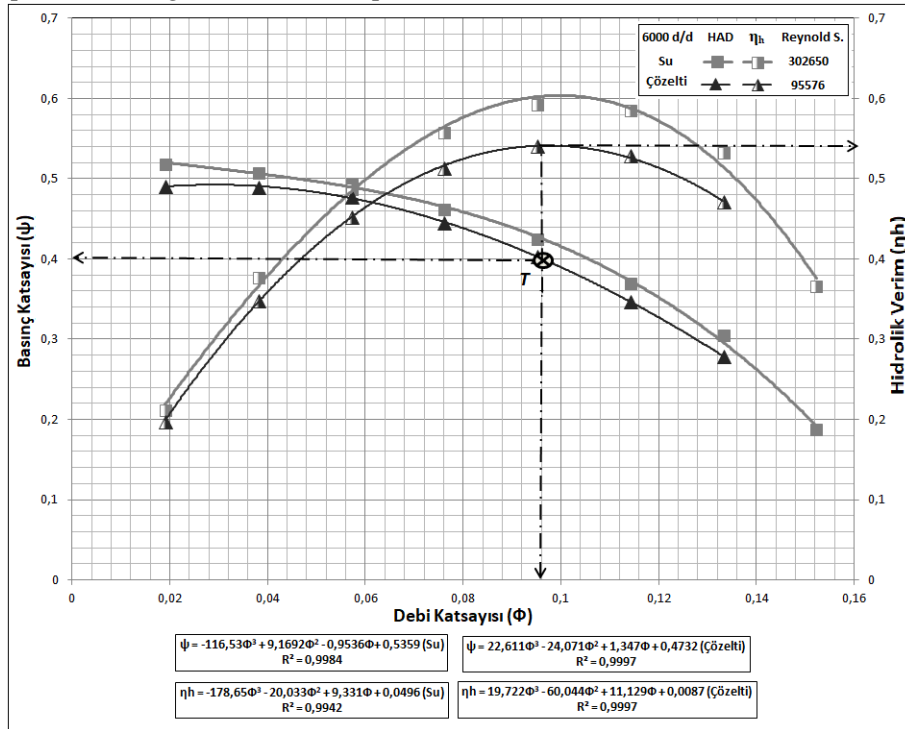
Tasarım noktasında; genel verim, basınç ve debi katsayılarının ölçüm belirsizlikleri sırasıyla %2,46, %1,57 ve %2,06 olarak hesaplandı.

Pompa çarkının su ve su-gliserin iş akışkanlarında farklı devirlerdeki Reynolds sayısı aşağıdaki ifadeyle hesaplandı:

$$Re = \frac{\rho \Omega D^2}{\mu} \quad (17)$$

Burada  $\mu$  dinamik viskoziteyi ( $Pa.s$ ),  $\Omega$  çarkın dönme hızını ( $rad/s$ ),  $D$  çark çapını ( $m$ ) ve  $\rho$  akışkan yoğunluğunu ( $kg/m^3$ ) göstermektedir. Pürüzlülük değeri ( $\epsilon$ ) plastik borular için sıfır olduğundan, bağıl pürüzlülük ( $\epsilon/D=0$ ) dir.

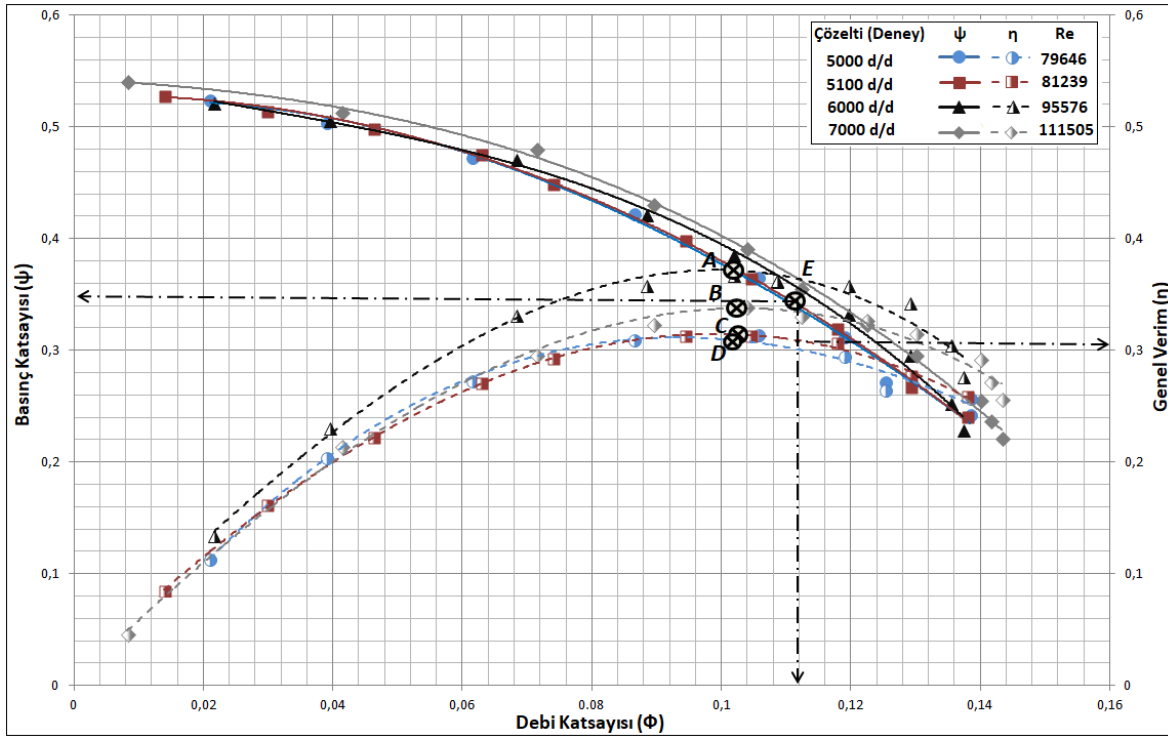
Şekil 7'de heliko-santrifüj pompanın, su ve su-gliserin çözeltisinin 6000 dev/dak dönme hızında hidrodinamik performans eğrileri ve onların polinom denklemleri verildi.



Şekil 7. Boyutsuz parametrelere göre HAD performans eğrileri

Figure 7. HAD performance curves according to dimensionless parameters

Heliko-santrifüj karışık akışlı pompanın su-gliserin çözeltisinde farklı devirlerde deneysel hidrodinamik performans eğrileri Şekil 8'de gösterildi. Bu performans eğrilerinde, pompa basınç katsayısı ve genel veriminin debi katsayısı ile değişimi görülmektedir. Bu Şekil'de pompa genel verimine ait uydurulan polinom eğrileri üzerindeki noktalar (A,B,C ve D), pompanın farklı devirlerde çalıştığı en verimli yerleri göstermektedir. 6000 dev/dak dönme hızında pompanın en verimli çalıştığı noktada (A noktası), pompa genel verimi yaklaşık %36,8 olarak elde edildi.



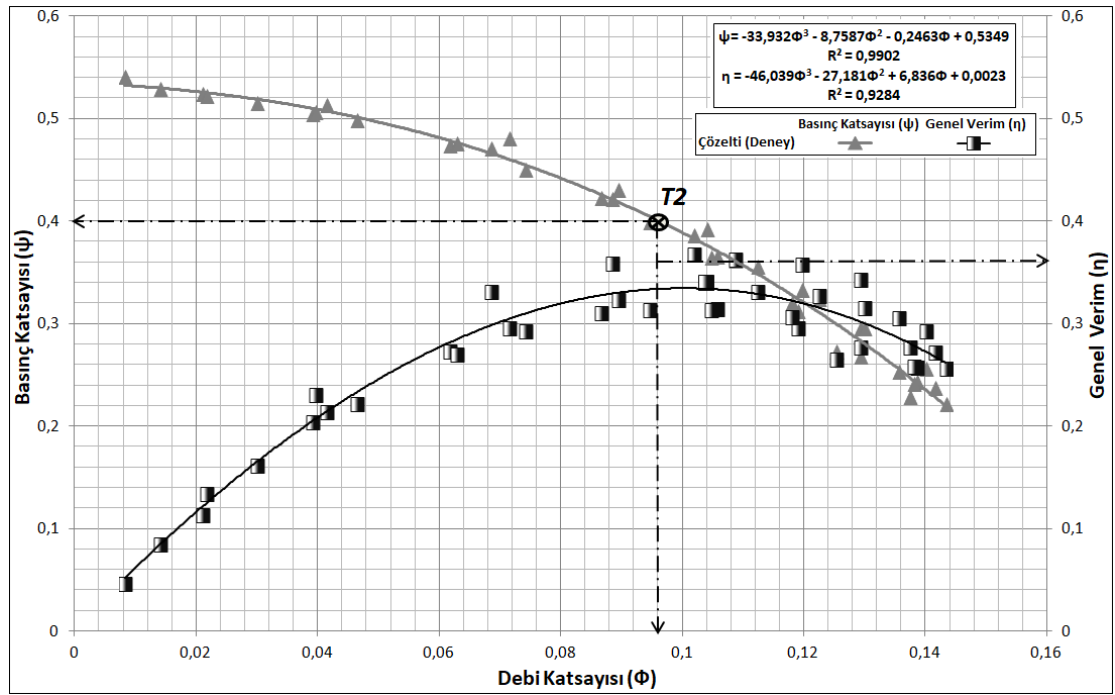
Şekil 8. Boyutsuz parametrelere göre farklı devirlerde deneysel hidrodinamik performans eğrileri

Figure 8. Experimental hydrodynamic performance curves at different rotational speeds according to dimensionless parameters

Pompanın su-gliserin çözeltisi için, dört farklı devir sayısında deneysel hidrodinamik performans verilerinin regresyon analiziyle uydurulan  $\psi=f(\phi)$  ve  $\eta=f(\phi)$  eğrileri ve bu eğrilerin 3. dereceden polinom denklemleri Şekil 9'da gösterildi. Buradaki  $R^2$  değeri eğrilerin korelasyon katsayısıdır. Bu şekil üzerinde verilen bilgilere göre, yaklaşık 80.000 ila 111.000 Reynolds sayısı aralığında korelasyon katsayısının ( $R^2=0,92-0,99$ ) yüksek olması,  $\psi$  ve  $\eta$  eğrilerinin ayrı ayrı tek bir eğri şeklinde gösterilebileceğini ifade etmektedir.

Şekil 7'deki grafikte HAD analizinde çözelti için tasarım debisinde ( $T$  noktası) 6000 dev/dak dönme hızında pompa hidrolik verimi yaklaşık %54,1 ve Şekil 9'daki grafikte tasarım debisinde ( $T2$  noktası) genel verimin ise yaklaşık %36 olduğu görülmektedir. 5 L/dak debide 100 mmHg basıncın elde edildiği ( $E$  noktası) 5100 dev/dak dönme hızında, pompanın genel verimi %30,9 ve hidrolik verim ise %52,1'dir.

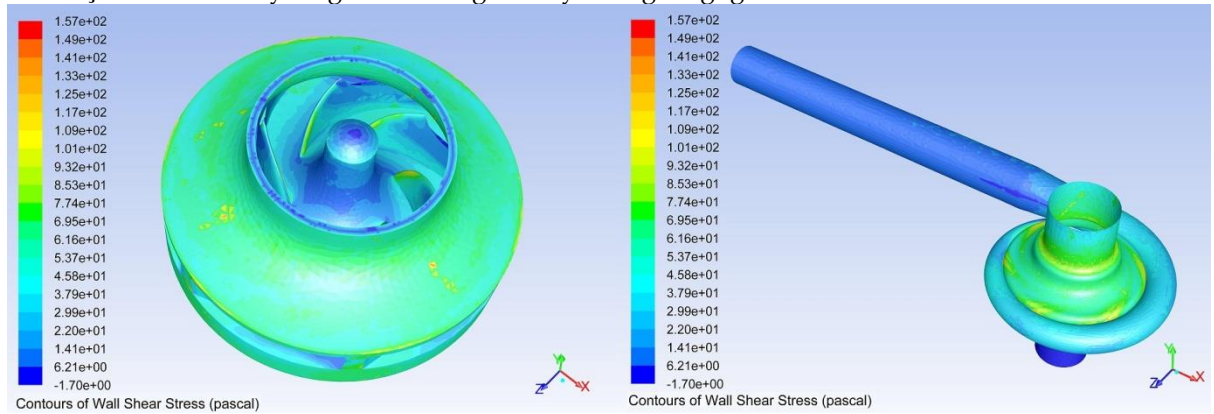
Karışık akışlı pompalar üzerine yapılan bir çalışmada (Wu ve diğ., 2001), 6000 dev/dak dönme hızında 6 L/dak debide yaklaşık %33 hidrolik verim elde edildiği belirtilmiştir. Farklı bir karışık akışlı kalp destek pompası üzerine yapılan çalışmada (Carrier ve diğ., 2006), 11000 dev/dak dönme hızında 100 mmHg basınç ve 5 L/dak debide, hidrolik verimin %44 olduğu ifade edilmektedir. Üç farklı karışık akışlı pompa tasarımı üzerinde yapılan bir çalışmada (Arvand ve diğ., 2004), 100 mmHg basınçta 5 L/dak debide; pompa tipine göre %24, %30,5 ve %33,5 gibi hidrolik verimler elde edilmiştir. Genel olarak literatürdeki karışık akışlı pompalar ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında iyi bir sonuç elde edildiği söylenebilir.



Şekil 9. Tüm deneysel verilere göre uydurulan hidrodinamik performans eğrileri

Figure 9. Hydrodynamic performance curves fitted by according to all experimental datas

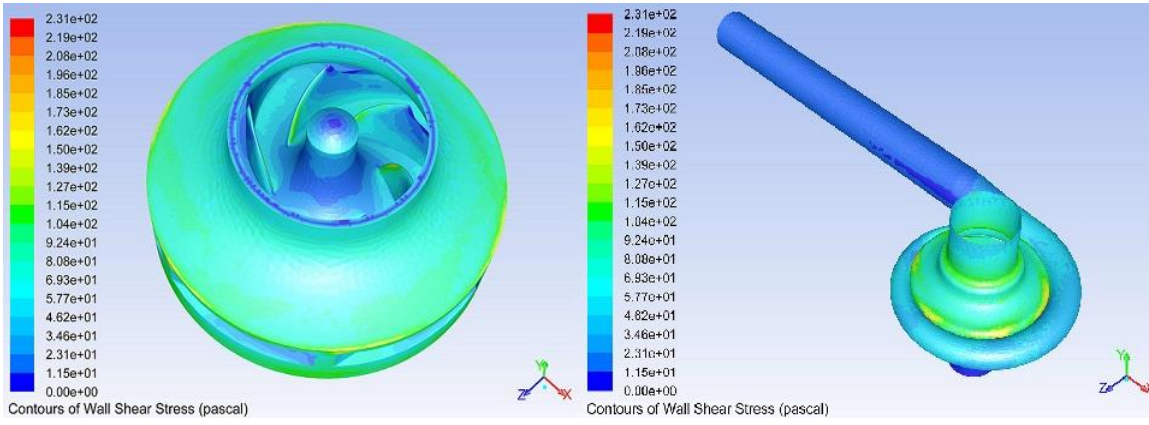
Heliko-santrifüj karışık akışlı pompanın çark ve salyangozunda, iş akışkanı su ile 6000 dev/dak dönme hızında gerçekleştirilen HAD analizlerinde belirlenen cidar kayma gerilmesi konturları Şekil 10'da verildi. Çarkta meydana gelen cidar kayma gerilmelerinin en yüksek olduğu yerler kanatların uç kısımları ve çarkla salyangoz arasındaki dar bölgelerdir. Bu bölgelerde meydana gelen en büyük cidar kayma gerilmesi yaklaşık 157 Pa olarak gözlemlendi. Su ile yapılan analizlerde, su-gliserin çözeltisinden daha düşük bir cidar kayma gerilmesi değeri meydana geldiği görüldü.



Şekil 10. Su için HAD simülasyonu ile belirlenen cidar kayma gerilmeleri

Figure 10. Wall shear stress determined by CFD simulation for water

Su-gliserin çözeltisi kullanılarak yapılan HAD analizi sonucunda belirlenen, çark ve salyangozda meydana gelen cidar kayma gerilmesi konturları Şekil 11'de görülmektedir. Tasarım noktasında (5 L/dak ve 6000 dev/dak) su-gliserin çözeltisinde çark ve salyangozda oluşan maksimum cidar kayma gerilmesi yaklaşık 231 Pa olarak belirlendi. Ancak su-gliserin çözeltisinde, yetişkin kalp destek pompalarının muhtemel (yaygın) çalışma noktası olan, 100 mmHg basınç ve 5 L/dak debi değerinin gerçekleştiği 5100 dev/dak dönme hızında, 166 Pa değerinde bir maksimum cidar kayma gerilmesi oluşmaktadır.



**Şekil 11.** Su-gliserin çözeltisi için HAD simülasyonu ile belirlenen cidar kayma gerilmeleri

*Figure 11. Wall shear stress determined by CFD simulation for water-glycerin solution*

Kayma gerilmesinin kırmızı kan hücrelerine verdiği zararın incelendiği bir çalışmada (Leverett ve diğ., 1972), kayma gerilmesi için eşik değerin 150 Pa olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda kalp destek pompasının 5100 dev/dak cidar kayma gerilmesinin, bu eşik değere yakın olduğu görüldü. Kan hasarı genellikle kayma gerilmesinin büyüklüğünün yanı sıra bu kayma gerilmesine maruz kalma süresinin de önemli olduğu aynı çalışmada vurgulanmaktadır. (Arvand ve diğ., 2004) tarafından üç farklı karışık akışlı pompa tasarımı kullanılarak yapılan çalışmada, aynı çalışma noktasında (100 mmHg basınçta 5 L/dak debi); 380, 430 ve 290 Pa değerinde maksimum kayma gerilmelerinin olduğu belirtilmektedir. Dört farklı santrifüj kalp destek pompası tasarımının olduğu başka bir çalışmada (Yu ve diğ., 2000), 5 L/dak debide 84-105 mmHg basınç aralığında, maksimum cidar kayma gerilmelerinin kanat giriş ucu kısmında; 220, 230, 267 ve 273 Pa olduğu belirtilmiştir.

#### ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH CONCLUSIONS)

Çalışmamızda pompa tasarım programları kullanarak bir heliko-santrifüj karışık akışlı kalp destek pompasının tasarımı, prototipinin üretimi, HAD analiziyle ve deneysel ortamda hidrodinamik performansının belirlenmesi ve performans eğrilerini kullanarak sonuçların karşılaştırılması yapıldı. Analiz ve deneysel çalışmalarda iş akışkanı olarak, su ve su-gliserin çözeltisi kullanılarak pompanın farklı akışkanlardaki hidrodinamik performansı belirlendi. Hidrodinamik performans eğrilerinde farklı dönme hızlarında pompanın en verimli noktaları belirlendi. Bu sayısal ve deneysel çalışmada, su-gliserin çözeltisi kullanan literatürdeki kalp destek pompaları ile karşılaştırıldığında hidrolik verim açısından iyi bir sonuç elde edilmiştir. Pompanın maksimum cidar kayma gerilmesinin, literatürde kırmızı kan hücrelerine zarar verecek eşik kayma gerilmesi değerine (150 Pa) yakın olduğu görülmüştür. Tasarım noktasında çalışma halinde pompadaki maksimum cidar kayma gerilmelerinin, çark ve salyangozun arasındaki dar kısımlarında meydana geldiği görüldü. Sonraki çalışmalarda, bu bölgelerdeki cidar kayma gerilmelerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. RNG  $k-\epsilon$  türbülans modeli ile yapılan HAD simülasyonu ve deneysel çalışmalardan elde edilen hidrodinamik performans eğrilerinin düşük sapma oranı ile birbirine yakın olduğu görüldü. Bu türbülans modelinin literatürdeki birçok araştırmada da gözlendiği gibi kalp destek pompalarının tasarımında ve deneysel çalışmaların doğrulanmasında iyi sonuçlar veren bir model olduğu belirtilebilir. Çalışmamızın daha sonraki aşamalarında pompanın vücuda takılabilir bir tasarımının yapılması, yataklama sisteminin geliştirilmesi, cidar kayma gerilmelerinin eşik değerin altına indirilmesi ve bu gerilmelerin meydana getirdiği hemoliz indeksinin belirlenmesi planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR (RESOURCES)

- Anderson, J., Wood, H. G., Allaire, P. E., Olsen, D. B., 2000, "Numerical Analysis of Blood Flow in the Clearance Regions of a Continuous Flow Artificial Heart Pump", *Artificial Organs*, Vol. 24(6), pp. 492-500.
- ANSYS, 2017, "Ansys Fluent Theory Guide, Release 18.0 edition", ANSYS, Inc., Canonsburg, PA.
- Arvand, A., Hahn, N., Hormes, M., Akdis M., Martin, M., Reul H., 2004, "Comparison of Hydraulic and Hemolytic Properties of Different İmpeller Designs of an İmplantable Rotary Blood Pump by Computational Fluid Dynamics", *Artificial Organs*, Vol. 28(10), pp. 892-898.
- Behbahani, M., Behr, M., Hormes, M., Steinseifer, U., Arora, D., Coronado, O., Pasquali, M., 2009, "A Review of Computational Fluid Dynamics Analysis of Blood Pumps", *European Journal of Applied Mathematics*, Vol. 20(4), pp. 363-397.
- Bunzel, B., Laederach-Hofmann, K., Wieselthaler, G., Roethy, W., Wolner, E., 2007, "Mechanical Circulatory Support as a Bridge to Heart Transplantation: What Remains? Long-term Emotional Sequelae in Patients and Spouses", *The Journal of heart and lung transplantation*, Vol. 26(4), pp. 384-389.
- Carrier, M., Farinas, M. I., Garon, A., 2006, "Hemodynamic Characteristics of a Mixed Flow Pump Prototype: Progress Report of in Vitro and Acute Animal Experiments", *ASAIO Journal*, Vol. 52(4), pp. 373-377.
- Chopski, S. G., Fox, C. S., Riddle, M. L., McKenna, K. L., Patel, J. P., Rozolis, J. T., Throckmorton, A. L., 2016, "Pressure-Flow Experimental Performance of New Intravascular Blood Pump Designs for Fontan Patients", *Artificial Organs*, Vol. 40(3), pp. 233-242.
- Chua, L. P., Akamatsu, T., 2000, "Measurements of Gap Pressure and Wall Shear Stress of a Blood Pump Model", *Medical Engineering & Physics*, Vol. 22(3), pp. 175-188.
- Degertekin, M., Erol, Ç., Ergene, O., Tokgözoğlu, L., Aksoy, M., Erol, M. K., Eren, M., Şahin, M., Eroğlu, E., Mutlu, B., Kozan, Ö., 2012, "Heart Failure Prevalence and Predictors in Turkey: HAPPY Study", *Turk Kardiyoloji Dernegi Arsivi*, Vol. 40(4), pp. 298-308.
- Fraser, K. H., Taskin, M. E., Griffith, B. P., Wu, Z. J., 2011, "The use of Computational Fluid Dynamics in the Development of Ventricular Assist Devices", *Medical Engineering & Physics*, Vol. 33(3), pp. 263-280.
- Genovese, E. A., Dew, M. A., Teuteberg, J. J., Simon, M.A., Kay, J., Siegenthaler, M. P., Bhama, J. K., Bermudez, C. A., Lockard, K. L., Winowich, S., Kormos, R. L., 2009, "Incidence and Patterns of Adverse Event Onset During the first 60 Days After Ventricular Assist Device Implantation", *The Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 88(4), pp. 1162-1170.
- Hu, Q. H., Li, J. Y., Zhang, M. Y., Zhu, X. R., 2012, "An Experimental Study of Newtonian and Non-Newtonian Flow Dynamics in an Axial Blood Pump Model", *Artificial Organs*, Vol. 36(4), pp. 429-433.
- Kafagy, D. H., Dwyer, T. W., McKenna, K. L., Mulles, J. P., Chopski, S. G., Moskowitz, W. B., Throckmorton, A. L., 2015, "Design of Axial Blood Pumps for Patients with Dysfunctional Fontan Physiology: Computational Studies and Performance Testing", *Artificial Organs*, Vol. 39(1), pp. 34-42.
- Leverett, L. B., Hellums, J. D., Alfrey, C. P., Lynch, E. C., 1972, "Red Blood Cell Damage by Shear Stress", *Biophysical Journal*, Vol. 12(3), pp. 257-273.
- Mozafari, S., Rezaenia, M. A., Paul, G. M., Rothman, M. T., Wen, P., Korakianitis, T., 2017, "The Effect of Geometry on the Efficiency and Hemolysis of Centrifugal Implantable Blood Pumps", *ASAIO Journal*, Vol. 63(1), pp. 53-59.
- Olsen, D. B., 2000, "The History Of Continuous-Flow Blood Pumps", *Artificial Organs*, Vol. 24(6), 401-404.
- Thompson, L. O., Loebe, M., Noon, G. P., 2003, "What price support? Ventricular Assist Device Induced Systemic Response", *ASAIO Journal*, Vol. 49(5), pp. 518-526.



- Untaroiu, A., Wood, H. G., Allaire, P. E., Throckmorton, A. L., Day, S., Patel, S. M., Ellman, P., Tribble, C., Olsen, D. B., 2005, "Computational Design and Experimental Testing of a Novel Axial Flow LVAD", *ASAIO Journal*, Vol. 51(6), pp. 702-710.
- Wu, Z. J., Gottlieb, R. K., Burgreen, G. W., Holmes, J. A., Borzelleca, D. C., Kameneva, M. V., Griffith, B. P., Antaki, J. F., 2001, "Investigation of Fluid Dynamics within a Miniature Mixed Flow Blood Pump", *Experiments in Fluids*, Vol. 31(6), pp. 615-629.
- Yu, S. C. M., Ng, B. T. H., Chan, W. K., Chua, L. P., 2000, "The Flow Patterns within the Impeller Passages of a Centrifugal Blood Pump Model", *Medical Engineering & Physics*, Vol. 22(6), pp. 381-393.
- Zhang, Y., Zhan, Z., Gui, X. M., Sun, H. S., Zhang, H., Zheng, Z., Zhou, J. Y., Zhu, X. D., Li, G. R., Hu, S. S., Jin, D. H., 2008, "Design Optimization of an Axial Blood Pump with Computational Fluid Dynamics", *ASAIO Journal*, Vol. 54(2), pp. 150-155.

**MINERALOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE AMPHIBOLE MINERALS  
FROM THE METAMORPHIC SOLE ROCKS OF THE LATE CRETACEOUS AGED HATIP  
OPHIOLITIC MÉLANGE IN THE KONYA AREA (CENTRAL SOUTHERN TURKEY)**

<sup>1</sup>Kerim KOÇAK, <sup>2</sup>Raziye Merve KAYA, <sup>3</sup>Adnan DÖYEN, <sup>4</sup>Ali Rıza SÖĞÜT, <sup>5</sup>Veysel ZEDEF

<sup>1,2,3,4</sup> Selçuk University, Department of Geological Eng., Campus, Konya/TURKEY

<sup>5</sup> Selçuk University, Department of Mining Eng., Campus, Konya/TURKEY

<sup>1</sup>kkocak@selcuk.edu.tr, <sup>2</sup>merve\_7511@hotmail.com, <sup>3</sup>adoyen@selcuk.edu.tr, <sup>4</sup>arsogut@selcuk.edu.tr,  
<sup>5</sup>vzedef@selcuk.edu.tr

**(Geliş/Received: 04.05.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 15.05.2017)**

**ABSTRACT:** In the Konya area, the Neotethyan assemblage is represented by Late Cretaceous aged Hatip Ophiolitic Mélange, in where the metamorphic sole rocks crop out as thin slices beneath the sheared serpentinites and harzburgites, and Çayırbağı ophiolite. This study aims to characterize the mineralogical characteristics and chemical composition of the amphiboles in the metamagmatic sole rocks of the Hatip Ophiolitic Mélange. The main rock types in the metamorphic sole rocks are amphibolite (amphibole up to 90.3 %); epidote-amphibolite (65.3% amphibole); zoisite-amphibolite (amphibole 52.2%) and amphibole-quartzite (amphibole 28.5%) with nematoblastic to porphyroblastic texture. The microprobe analyses of the amphiboles suggest that the amphiboles have crystallized from a wet magma in medium pressure condition ( $\leq 7$  kb), and are magnesiohornblende, pargasite and edenite in composition. The obtained data also reveal that the Neotethyan assemblage has experienced a regional metamorphism in greenschist facies conditions, which resulted in no chemical changes in the amphiboles.

**Key Words:** Amphibolite, Konya, Metamorphic sole, Ophiolite

**Konya Yöresinde (Orta Güney Türkiye) Geç Kretase Yaşlı Hatip Ofiyolitik Melanjının Metamorfik Taban Kayaçlarındaki Amfibol Minerallerinin Mineralojik Ve Kimyasal Özellikleri**

**ÖZ:** Konya yöresinde Neotetis topluluğu, Geç Kretase yaşlı makaslanmış serpantin ve harzburgitlerin altında ince dilimler şeklinde metamorfik taban kayaçlarının bulunduğu Hatip ofiyolitik Melanjı ve Çayırbağı ofiyolitleri ile temsil edilirler. Bu çalışmada, metamorfik dilimde yer alan metamagmatik kayaçlardaki amfibollerin mineralojik özelliklerinin ve kimyasal bileşimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Metamorfik dilimdeki ana kayaç tipleri nematoblastik - porfiroblastik dokuya sahip olan amfibolit (% 90.3 lere varan amfibol); epidot amfibolit (%65.3 amfibol); zoisit amfibolit (%52.2 amfibol) ve amfibol kuvarsit (%28.5 amfibol) tir. Amfibollerin kimyası, amfibollerin orta basınç şartlarında ( $\leq 7$  kb) sulu bir mağmadan kristalleşen magnezyohornblend, pargazit ve edenit bileşiminde olduğunu ortaya koymaktadır. Eldeki veriler, ayrıca Neotetis topluluğunun daha sonra amfibollerde kimyasal bir değişiklik oluşturmayan yeşilist fasiyesi şartlarında bölgesel bir metamorfizmaya uğradığını vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Amfibolit, Konya, Metamorfik dilim, Ofiyolit

## INTRODUCTION

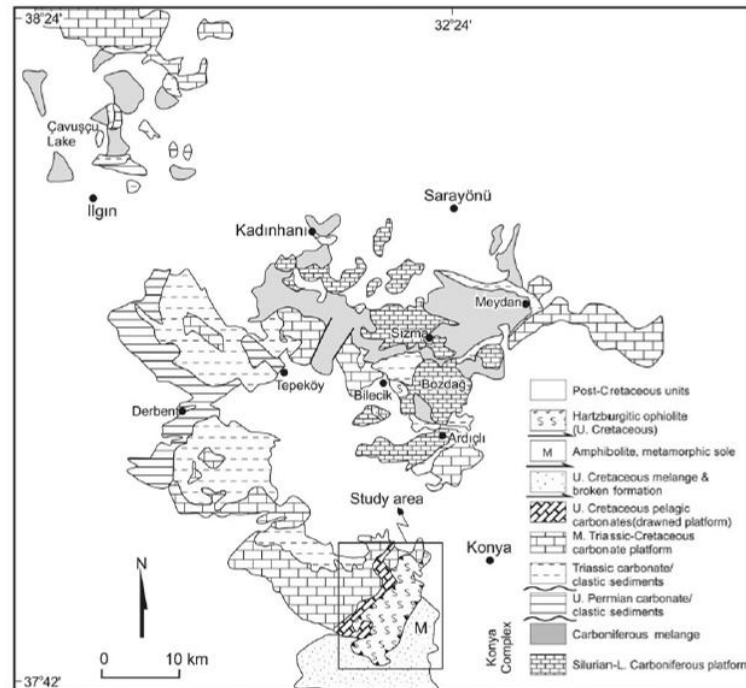
The Konya area in south central Anatolia is important in understanding the evolution of both Paleotethyan and Neotethyan oceans. In the N–NW part of Konya city, Paleotethyan units are represented by pre-Permian tectono-stratigraphic/magmatic units (Eren, 1993; Eren et al., 2004; Goncuoglu et al., 2007; Özcan et al., 1990; Özcan et al., 1988; Robertson and Ustaomer, 2009), which are unconformably covered by Permian and Triassic sedimentary units (Goncuoglu et al., 2007; Özcan et al., 1988; Robertson and Ustaomer, 2009). The remnants of Neotethyan crop out in the SW part of Konya city, in where mélangé and ophiolitic units of Late Cretaceous period crop out (Figure 1, Figure 2). Of these, the Hatip Ophiolitic Mélangé contains both sedimentary and sheared serpentinite matrix in which huge blocks of limestones varying in age from Carboniferous to Late Cretaceous, radiolarian cherts, mudstone, and ophiolitic rocks are structurally dispersed. The mélangé unit is tectonically overlain by an ophiolite body which includes serpentinitized harzburgite with economically important hydrothermal magnesite deposits, dunite, pyroxenite and gabbro.

Metamorphic rocks forms locally at the base of the harzburgite blocks in the Hatip Ophiolitic Mélangé to the SW of Konya city. These metamorphic rocks are possibly the dismembered remnants of a metamorphic sole. The scope of this paper is (1) to determine the mineralogical and chemical characteristics of the amphiboles and (2) to constrain the conditions of amphibole crystallization in metamagmatic rocks of the metamorphic slice from the ophiolitic mélangé in the Karadigin (Meram, Konya) area.

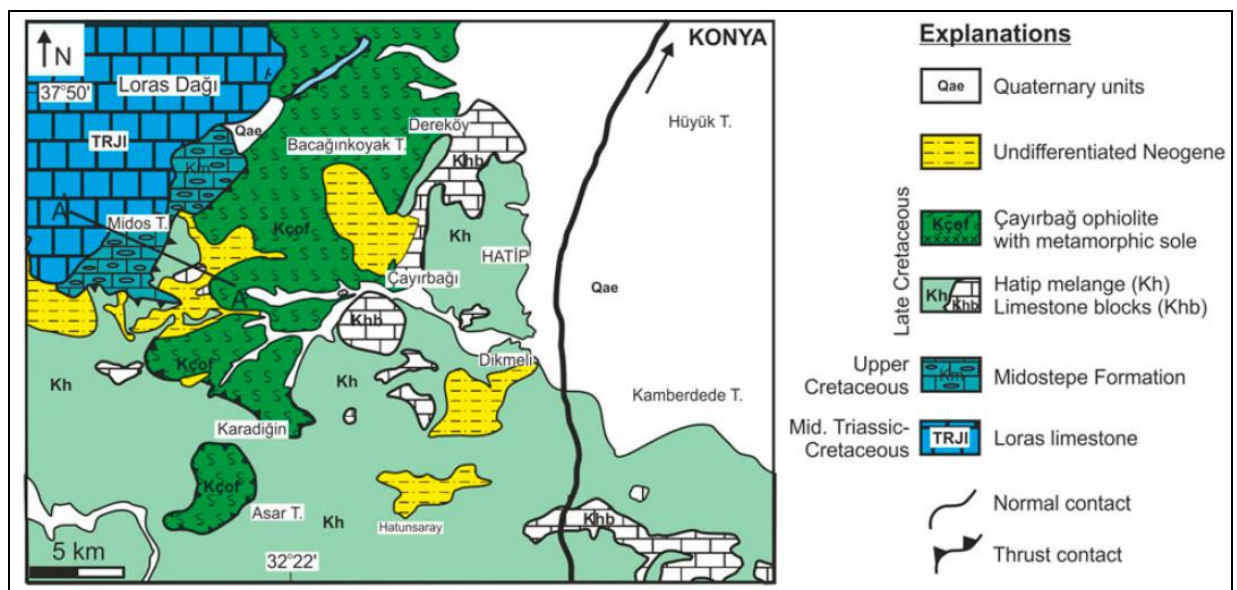
## GEOLOGICAL SETTING AND PETROGRAPHY

The investigation area is located in the south central Anatolia about ~10 km W-SW of Konya city (Fig. 1). The lithological units in the study area are considered to be a part of Afyon–Bolkardağ Zone (Okay, 1986) or the Kütahya- Bolkardağı Zone of (Özcan et al., 1988), were affected by Alpine and Paleotethyan (Cimmerian) events (Eren et al., 2004; Özcan et al., 1990).

The Neotethyan ophiolitic units are represented by the Late Cretaceous aged Çayırbağı ophiolites and Hatip Ophiolitic Mélangé in the region. The Çayırbağı ophiolites were made up of dark green to brown colored, variably serpentinitized peridotite, massive gabbro, banded gabbro and pyroxenites. In fault zones and along contacts with the country rocks, serpentinitization is intensive in the ultramafic rocks. On the basis of serpentinitization degree of the ultramafic rocks, Altunel (1963), Zedef (1994) and Zedef et al. (2000) mapped three distinct units in the ophiolites; silicified and carbonated serpentinites, and serpentinitized peridotites. Within the ultramafic rocks, large stockwork type magnesite deposits were also developed. The ophiolites obducted onto the Hatip Ophiolitic Mélangé including chert-bearing limestone, mudstone, serpentinite and detrital of ophiolitic rocks. The Neotethyan ophiolitic units obducted onto the Middle Triassic–Upper Cretaceous Lorasdağı Formation (neritic limestone) to Midos Tepe formation (pelagic carbonates) (Özcan et al., 1990; Figure 2).



**Figure 1.** Geological map of the Konya area (modified from MTA,2002)) with the Paleotethyan and Neotethyan units (taken from Robertson and Ustaomer, 2009).



**Figure 2.** Simplified geological map of the study area in the southwest of Konya city (from Dasci et al. 2015; Özcan et al. 1990).

The metamorphic soles beneath ophiolites were first specifically described by Williams and Smyth (1973) in Newfoundland (Canada). They have restricted thickness; typically extending from a few metres up to 500 m, but thicknesses of over 1 km have been described (e.g. MacKenzie 1960). In the study area, the metamorphic sole has ~35 m thickness, and can be observed along a road section between Çayırbağ and

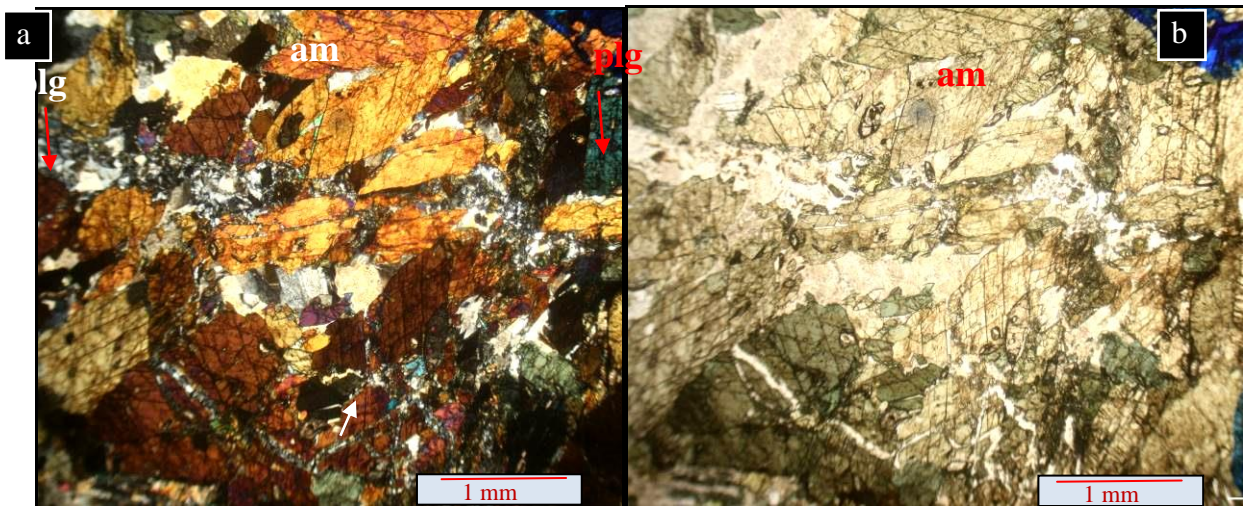
Karadiğın villages (Dasci et al., 2015). 2–3-m-thick highly sheared serpentinite developed between the metamorphic sole and the overlying peridotite. The metamorphic sole rocks develop as thin slices beneath the sheared serpentinites and harzburgites. The metamagmatic rocks are amphibolite, epidote-amphibolite, zoizite-amphibolite and amphibole-quartzite in composition.

## ANALYTICAL METHODS

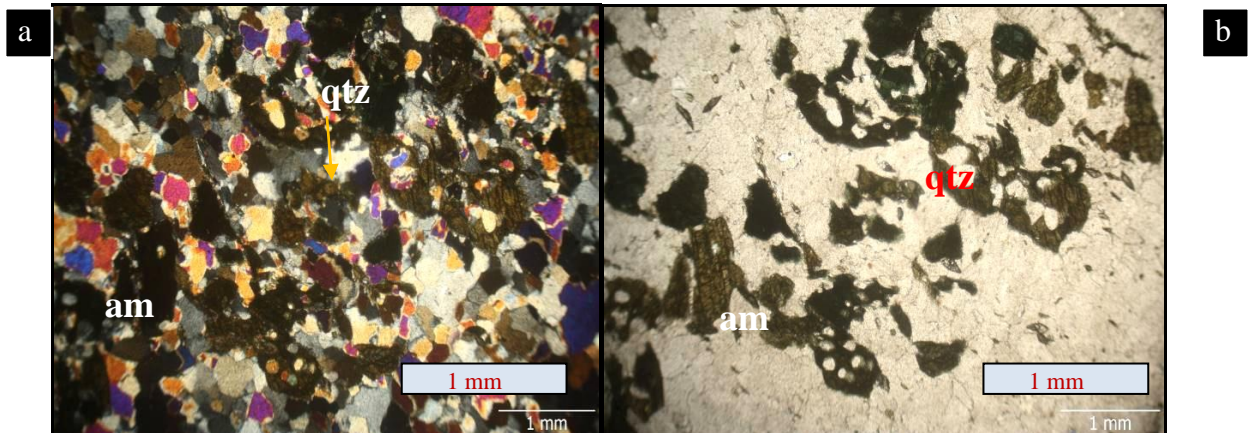
From the selected samples, fifty thin sections of were made at thin section laboratory of Department of Geological Engineering (Selçuk University, Konya), and then, their composition and texture were studied under the microscope. Modal mineralogy was determined by point counting (2000-3000 points per thin section, depending on grain size). Polished sections of the samples were analyzed at the Electron Microprobe Laboratory of Middle East Technical University, Ankara/TURKEY. Mineral analyses were carried out on a JEOL JSM35 Electron Microprobe running Link QX2000 energy dispersive analytical software, and they are presented in Tables 1. The electron beam condition was 15 keV and 15 nA. Ferric iron estimations were calculated according to Droop (1987).

## MINERALOGY

The amphibole is main constituents in the samples, in addition to the plagioclase, pyroxene, epidote and zoizite. It is subhedral to euhedral prismatic (up to 1 mm in length) to six-sided hornblende crystals, pleochroic from yellowish-green to brownish (Figure 3) and occasionally altered to calcite and chlorite in a nematoblastic to granonematoblastic texture. The amphibole contains inclusions of epidote, quartz and titanite, and show crystallographic preferred orientation. The sphene can also form as distinct crystals, similar to the other metamorphic soles of the Tauride ophiolites such as Lycian (Koycegiz- Yesilova), Mersin and Pozantı-Karsantı, as well as Beysehir.



**Figure 3.** Microphotos of the amphibolites. (a) X Nicols, (b) / Nicol. Plg: plagioclase, am: amphibole



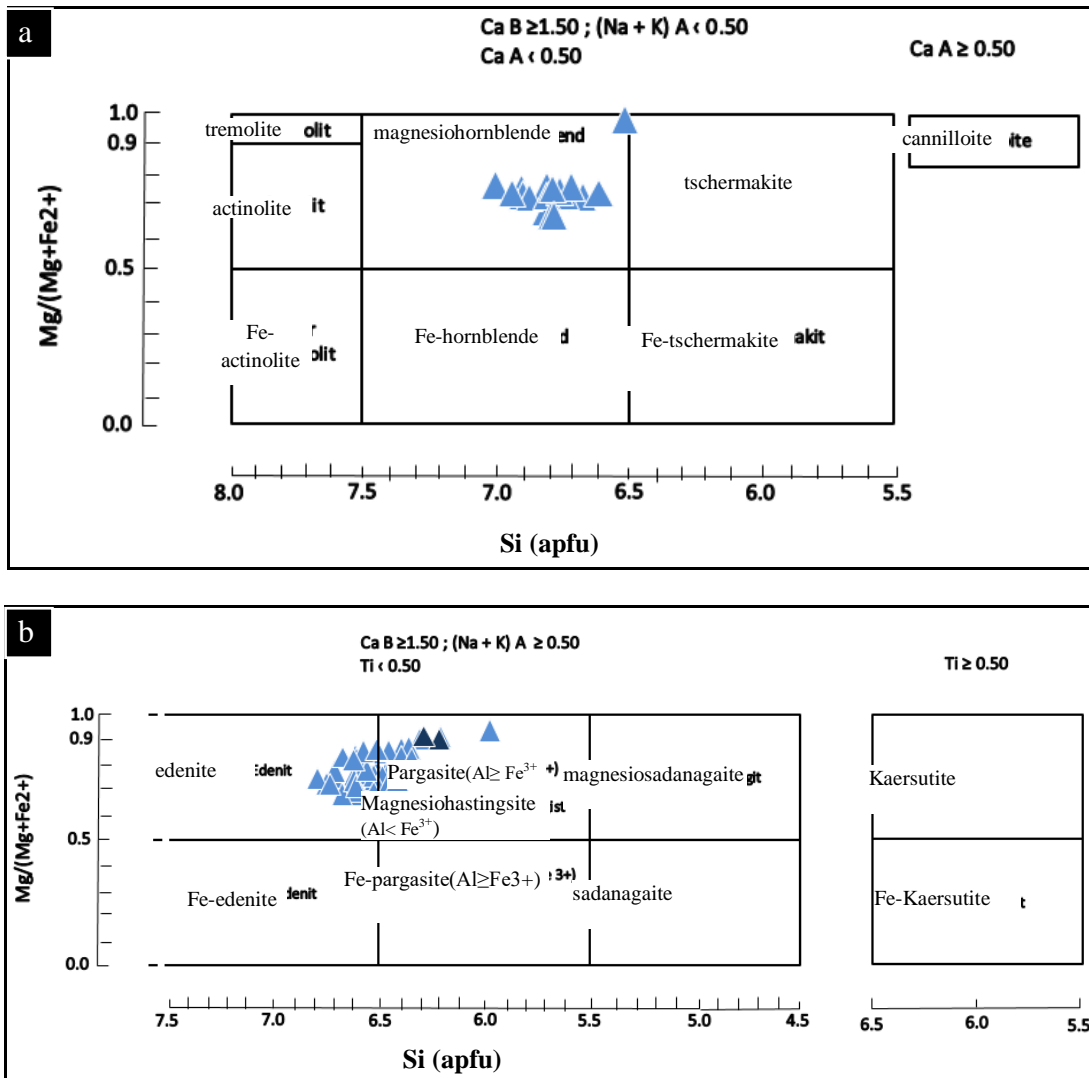
**Figure 4.** Microphotosty of the quartz-amphibolites. (a) X Nicols, (b) / Nicol. qtz: quartz, am: amphibole

Modal analyses show that amphibole content in the samples vary from 90% (amphibolite Figure 3), through 65,3 % (epidote-amphibolite), to %28,5 (amphibole- quartzite,

Figure 4). Results of the chemical analyses of the amphiboles are presented in Table 1. They are characterized by a large variation in AlIV (0.97–1.98 a.p.f.u.) and XMg (0.63–1), and high Na content up to 0.92 a.p.f.u. Si correlate inversely with Al, Ti, Na and K. The amphiboles are in calcic group, and magnesiohornblende, edenite and pargasite based on the nomenclature suggested by IMA 2012 (Hawthorne et al., 2012; Figure 5).

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Existence of epidote and chlorite, and lack of metamorphic amphibole such as actinolite in the studied amphibolites can suggest that the rocks have experienced the regional metamorphic conditions, which, corresponding to greenschist facies. Therefore, it is unlikely that the amphiboles in the samples are of metamorphic origin. Accordingly, high Si (a.p.f.u.) and relatively low Ca+Na+K content of the amphiboles are in accordance with an igneous composition (Figure 6a). The amphiboles have intermediate to high content of Na<sup>M4</sup>, suggesting a medium pressure crystallization (Figure 6b). Relatively high Si, Al<sup>v</sup> and Al<sup>vi</sup> also suggests that crystallization pressure of the amphibole is ≤ 7 kb ( Figure 6c, d ). Similarly, in tholeiitic Andaman Ophiolite (Andaman-Nicobar Islands, India), 7–8.6 kb crystallization pressure is obtained for the cumulate pyroxenite and gabbro based on clinopyroxene thermobarometry (Saha et al., 2010). Moreover, medium- to high-pressure (up to 10 kbar) crystal fractionation primary basaltic melts is suggested for ultramafic cumulates of the Pozanti–Karsanti ophiolite in eastern Taurides (Turkey) based on the existence of highly magnesian clinopyroxene and orthopyroxene together with the absence of plagioclase (Parlak et al., 2002). The occurrence of hornblendes appears to be consistent with high P<sub>H2O</sub> conditions in the magma (Johannes, 1978). Dasci et al. (2015) suggest that the metabasic rocks were derived from the alkaline (seamount) and tholeiitic (E-MORB, IAT and boninitic type) magmatic rocks from the upper part of the Neotethyan oceanic crust.



**Figure 5.** Nomenclature (after Hawthorne *et al.*, 2012) of the amphiboles ( $Al > Fe^{3+}$ ) in the studied amphibolites a)  $Ca B \geq 1.50; (Na+K) A < 0.5$ , b)  $Ca B \geq 1.50; (Na+K) A \geq 0.5$

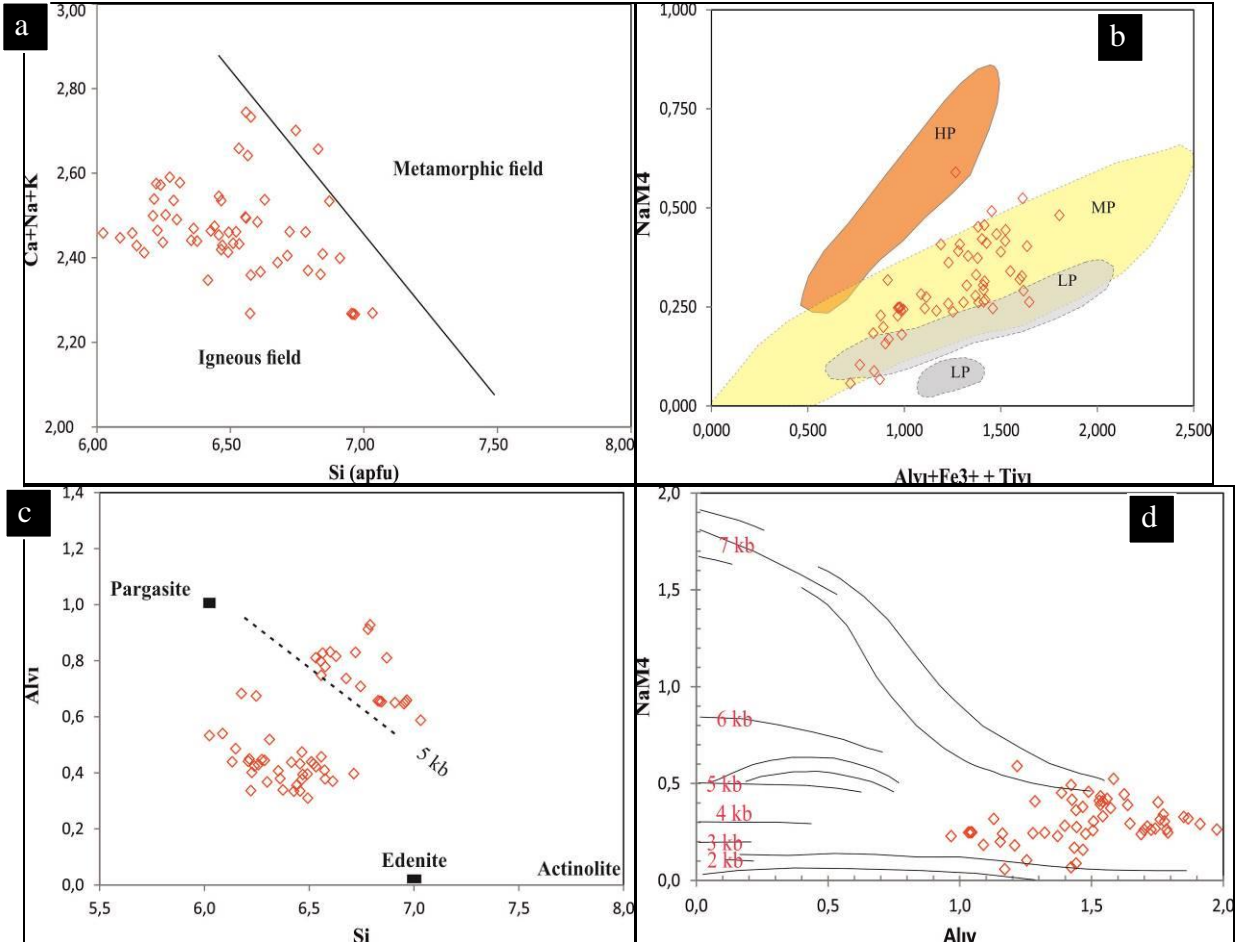
**Table 1.** Representative microprobe analyses of the amphiboles in the studied amphibolites.

Analysis (wt%)	G3-1-4	G3-2-al-1	G3-2-al-2	G3-2-al-3	G3-2-a2-1	G3-2-a3-1	G3-3-1	G3-3-5	G3-3-6	G3-3-7	G3-3-12
SiO <sub>2</sub>	46,239	48,604	48,549	48,576	47,098	49,001	47,737	47,58	46,7	47,822	47,957
TiO <sub>2</sub>	0,537	0,442	0,442	0,442	0,453	0,418	0,519	0,501	0,456	0,046	0,306
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,098	10,021	10,027	10,024	10,549	9,189	10,766	11,697	12,421	10,627	10,247
MnO	0,183	0,208	0,208	0,208	0,233	0,229	0,235	0,227	0,205	0,26	0,204
FeO	9,165	9,289	9,198	9,233	11,306	9,543	9,14	7,84	10,639	9,827	10,729
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35	1,198	1,315	1,268	0,788	1,113	1,217	2,429	0,341	1,24	0,707
MgO	13,511	14,157	14,223	14,191	12,897	14,347	14,169	14,481	12,883	13,974	13,594
CaO	11,334	11,411	11,412	11,411	11,561	11,521	11,461	11,28	11,391	11,991	11,766
Na <sub>2</sub> O	2,268	1,848	1,86	1,854	1,879	1,788	1,883	1,987	2,159	1,831	1,848
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0,424	0	0,43	0	0,557	0	0,36
H <sub>2</sub> O+	2,09	2,1	2,1	2,1	2,07	2,1	2,09	2,11	2,08	2,09	2,08
Total	98,775	99,278	99,334	99,307	99,258	99,249	99,647	100,132	99,832	99,706	99,798
Fe <sub>3+</sub> /ΣFe initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn <sup>3+</sup> /ΣMn initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sub>3+</sub> /ΣFe used	0,117	0,104	0,114	0,11	0,059	0,095	0,107	0,149	0,028	0,102	0,056
Group	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl	OH,F,Cl
Subgroup of (O)Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Species	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn	magneso-horn
Formula	(Na <sub>0.442</sub> )Σ0.4	(Na <sub>0.309</sub> )Σ0.3	(Na <sub>0.316</sub> )Σ0.3	(Na <sub>0.312</sub> )Σ0.3	(Na <sub>0.361</sub> )K <sub>0.07</sub>	(Na <sub>0.31</sub> )Σ0.31	(Na <sub>0.327</sub> )K <sub>0.073</sub> Fe <sub>1.122</sub> Al <sub>0.3</sub>	(Na <sub>0.386</sub> )K <sub>0.1</sub> C	(Na <sub>0.399</sub> )Σ0.3	(Na <sub>0.359</sub> )K <sub>0.06</sub>	
Formula Assignments											
T (ideally 8 apfu)	6,71	6,986	6,976	6,981	6,866	7,054	6,862	6,689	6,74	6,883	6,923
Al	1,29	1,014	1,024	1,019	1,134	0,946	1,138	1,311	1,26	1,117	1,077
T subtotal	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
C (ideally 5 apfu)	0,06	0,048	0,048	0,048	0,05	0,045	0,056	0,062	0,05	0,005	0,033
Ti	0,78	0,684	0,673	0,679	0,678	0,613	0,686	0,89	0,853	0,686	0,666
Al	0,15	0,13	0,143	0,137	0,086	0,121	0,131	0,20	0,037	0,135	0,077
Fe <sub>3+</sub>	1,09	1,104	1,09	1,097	1,379	1,142	1,09	1,12	1,285	1,176	1,295
Mn <sub>2+</sub>	2,92	3,034	3,046	3,04	2,803	3,079	3,036	2,73	2,772	2,998	2,925
Mg	5,00	5	5	5,001	5	5	4,999	5,000	5,001	5	4,999
C subtotal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
B (ideally 2 apfu)	0,022	0,025	0,025	0,025	0,024	0,028	0,029	0,03	0,021	0,031	0,022
Mn <sub>2+</sub>	0,02	0,012	0,015	0,014	0,014	0,006	0,009	0,03	0,007	0,007	0,007
Fe <sub>2+</sub>	1,762	1,757	1,757	1,757	1,806	1,777	1,765	1,711	1,762	1,849	1,82
Ca	0,196	0,206	0,203	0,204	0,17	0,189	0,198	0,232	0,218	0,112	0,158
B subtotal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
A (from 0 to 1 a)	0,442	0,309	0,316	0,312	0,361	0,31	0,327	0,333	0,386	0,399	0,359
Na	0,442	0,309	0,316	0,312	0,361	0,31	0,327	0,333	0,386	0,399	0,359
K	0,442	0,309	0,316	0,312	0,44	0,31	0,406	0,333	0,489	0,399	0,425
A subtotal	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
O (non-W)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
OH	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
W subtotal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sum T,C,B,A	15,443	15,309	15,316	15,313	15,44	15,31	15,406	15,333	15,491	15,398	15,424

In conclusion, the studied metaigneous rocks from the Cayırbacı ophiolitic mélange were experienced a regional metamorphism in greenschist facies condition, that has not altered the chemical composition of the igneous amphiboles; namely magnesiohornblende, edenite and pargasite. The amphiboles crystallized from



a wet magma in medium pressure conditions ( $\leq 7$  kb) to form the upper part of the Neotethyan oceanic crust.



**Figure 6.** Compositional variations of the amphiboles in the studied amphibolites.

- (a) (Ca+Na+K) vs Si (apfu) diagram after Giret et al. (1980),  
 (b) Na (M<sup>4</sup>) vs. Al<sup>VI</sup>+Fe<sup>3+</sup> +T<sup>IV</sup> plot. High (HP), medium (MP) and low pressure (LP) fields as defined by Laird and Albee (1981),  
 (c) Al<sup>VI</sup> vs Si diagram after Raase (1974),  
 (d) Na (M<sup>4</sup>) vs. Al<sup>IV</sup> plot. Fields as defined by Brown (1977).

## ACKNOWLEDGE

This work is a part of MSc study of second author who acknowledges financial support from the Selçuk University Research Foundation.

## REFERENCES

- Altunel, E., 1963, "Ilgın-Konya Sheet: 1:500,000". In: I.o.M.R.a. Exploration (Editor).  
 Brown, E.H., 1977, "The Crossite Content of Ca-Amphibole as a Guide to Pressure of Metamorphism", *Journal of Petrology*, Vol. 18, pp. 53-72.

- Dasci, H.T., Parlak, O., Nurlu, N., Billor, Z., 2015, "Geochemical Characteristics and Age of Metamorphic Sole Rocks within a Neotethyan Ophiolitic Melange from Konya Region (Central Southern Turkey)", *Geodinamica Acta*, Vol. 27(4), pp. 223-243.
- Droop, G. T. R., 1987, "A General Equation for Estimating Fe-3+ Concentrations in Ferromagnesian Silicates and Oxides from Microprobe Analyses, Using Stoichiometric Criteria", *Mineralogical Magazine*, Vol. 51(361), pp. 431-435.
- Eren, Y., 1993, "Konya Kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin Otokton ve Örtü Birimlerinin Stratigrafisi (in Turkish)", *Geological Bulletin Turkey*, Vol. 36, pp. 7-23.
- Eren, Y., Kurt, H., Rosselet, F., Stampfli, G.M., 2004, "Palaeozoic Deformation and Magmatism in the Northern Area of the Anatolide Block (Konya), Witness of the Palaeotethys Active Margin", *Eclogae Geologicae Helveticae*, Vol. 97(2), pp. 293-306.
- Giret, A., Bonin, B., Leger, J.M., 1980, "Amphibole Compositional Trends in Oversaturated and Undersaturated Alkaline Plutonic Ring-Complexes", *Canadian Mineralogist*, Vol. 18, pp. 481-495.
- Goncuoglu, M. C., Capkinoglu, S., Gursu, S., Noble, P., Turhan, N., Tekin, U. K., Okuyucu, C., Goncuoglu, Y., 2007, "The Mississippian in the Central and Eastern Taurides (Turkey): Constraints on the Tectonic Setting of the Tauride-Anatolide Platform", *Geologica Carpathica*, Vol. 58(5), pp. 427-442.
- Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C., Welch, M. D., 2012, "Nomenclature of the Amphibole Supergroup", *American Mineralogist*, Vol. 97(11-12), pp. 2031-2048.
- Johannes, W., 1978, "Melting of Plagioclase in the System Ab-An-H<sub>2</sub>O and Qz-Ab-An-H<sub>2</sub>O at PH<sub>2</sub>O=5 Kbars, an Equilibrium Problem", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 66, pp. 295-303.
- Laird, J., Albee, A.L., 1981, "Pressure, Temperature, and Time Indicators in Mafic Schist - Their Application to Reconstructing the Polymetamorphic History of Vermont", *American Journal of Science*, Vol. 281(2), pp. 127-175.
- MTA, 2002, "1/500 000 Scale Geological Maps of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara.
- Mackenzie, D. B., 1960, "High Temperature Alpine-type Peridotite from Venezuela", *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 71, pp. 303-18.
- Okay, A. I., 1986, "High-pressure/low Temperature Metamorphic Rocks of Turkey", *Geological Society of America Memoirs*, Vol. 164, pp. 338-348.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Işık, A., 1990, *Konya-Kadınhanı-İlgin Dolayının Temel Jeolojisi* (in Turkish), MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Uysal, S., Şentürk, K., 1988, "Late Palaeozoic Evolution of the Kütahya-Bolkardağ Belt.", *METU Journal of Pure and Applied Science*, Vol. 21, pp. 211-220.
- Parlak, O., Hock, V., Delaloye, M., 2002, "The Supra-subduction Zone Pozanti-Karsanti Ophiolite, Southern Turkey: Evidence for High-Pressure Crystal Fractionation of Ultramafic Cumulates", *Lithos*, Vol. 65(1-2), pp. 205-224.
- Raase, P., 1974, "Al and Ti Contents of Hornblende, Indicators of Pressure and Temperature of Regional Metamorphism", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 45(3), pp. 231-236.
- Robertson, A. H. F., Ustaomer, T., 2009, "Formation of the Late Palaeozoic Konya Complex and Comparable Units in Southern Turkey by Subduction-Acretion Processes: Implications for The Tectonic Development of Tethys in the Eastern Mediterranean Region", *Tectonophysics*, Vol. 473(1-2), pp. 113-148.
- Saha, A., Dhang, A., Ray, J., Chakraborty, S., Moecher, D., 2010, "Complete Preservation of Ophiolite Suite from South Andaman, India: A Mineral-Chemical Perspective", *Journal of Earth System Science*, Vol. 119(3), pp. 365-381.

- Williams, H., Smyth, W. R., 1973, "Metamorphic Aureoles Beneath Ophiolite Suites and Alpine Peridotites: Tectonic Implications with West Newfoundland Examples", *American Journal of Science*, Vol. 273, pp. 594-621.
- Zedef, V., 1994, *The Origin of Magnesite in Turkey, a Stable Isotope Study*, Glasgow University, Glasgow, UK, 159 pp.
- Zedef, V., Russell, M. J., Fallick, A. E., Hall, A. J., 2000, "Genesis of Vein Stockwork and Sedimentary Magnesite and Hydromagnesite Deposits in the Ultramafic Terranes of Southwestern Turkey: A Stable Isotope Study", *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, Vol. 95(2), pp. 429-445.