



**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/Sef Editör

Assoc. Prof. Dr. Murat YAKAR

Editors/Editörler

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

Advisory Board/Danışma Kurulu

Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Ataturk University
Prof. Dr. Ercan AKSOY, Bitlis Eren University
Prof. Dr. Lena HALOUNOVA, Czech Technical University
Prof. Dr. Petros PATIAS, The Aristotle University
Prof. Dr. Sitki KULUR, Istanbul Technical University

Prof. Dr. Dervis KARABOGA, Erciyes University
Prof. Dr. Ibaraki SOICHI, Kyoto University
Prof. Dr. Matchavariani LIA, Tbilisi State University
Prof. Dr. Seref SAGIROGLU, Gazi University
Prof. Dr. Vijay P. SINGH, Texas A and M University

Language Editing/Yabancı Dil Editörü

Prof. Dr. Ali BERKTAY

Composition and Printing/Baskı ve Dizgi

Dr. Lutfiye Karasaka
Res. Assist. Ismail KOC

Correspondance Address/Yazışma Adresi

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

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

Editorial Board (Yayın Kurulu)

Ahmet Afsin Kulaksiz, Selcuk University, TURKEY

Alla Anohina-Naumeca, Riga Technical University, LATVIA

Ashok K. Mishra, Clemson University, USA

Baris Binici, Middle East Technical University, TURKEY

Coskun Bayrak, University of Arkansas, USA

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

Fahrettin Ozturk, The Petroleum Institute, UAE

Haci Murat Yilmaz, Aksaray University, TURKEY

Heinz Ruther University of Cape Town, SOUTH AFRICA

Homayoun Moghimi, Payame Noor University, IRAN

Ihsan Ozkan, Selcuk University, TURKEY

John Trinder, The University of New South Wales, AUSTRALIA

Kerim Kocak, Selcuk University, TURKEY

Loredana Judele, Technical University of Iasi, ROMANIA

Mohamed Bouabaz, Université 20 août 1955-Skikda, ALGERIA

Mohd Arif Wani, California State University, USA

Mortaza Yari, University of Tabriz, IRAN

Ömer Aydan, University of the Ryukyus, JAPAN

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

Selim Dogan, Selcuk University, TURKEY

Spase Shumka, Agricultural University of Tirana, ALBANIA

Tahira Geroeva, Baku State University, AZERBAIJAN

Vladimir Androkhonov, Novosibirsk Soil Research Institute, RUSSIA

Ali Kocak, Yildiz Technical University, TURKEY

Alpaslan Yazar, Selcuk University, TURKEY

Ataur Rahman, University of Western Sydney, AUSTRALIA

Cihan Varol Sam Houston State University, USA

Dan Stumbea, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, ROMANIA

Eva Burgetova, Czech Technical University, CZECH REPUBLIC

Georgieva Lilia, Heriot-Watt University, UNITED KINGDOM

Halil Kursad Ersoy, Selcuk University, TURKEY

Hi-Ryong Byun, Pukyong National University, SOUTH KOREA

Huseyin Devenci, Selcuk University, TURKEY

Iraida Samofalova, Perm University, RUSSIA

Juan Maria Menendez Aguado, University of de Oviedo, SPAIN

Laramie Vance Potts, New Jersey Institute of Technology, USA

Mila Koeva, University of Twente, NETHERLANDS

Mohamed Metwaly Abu Anbar, Tanta University, EGYPT

Moonis Ali Khan, King Saud University, KSA

Murat Karakus, University of Adelaide, AUSTRALIA

Saadettin Erhan Kesen, Selcuk University, TURKEY

Selcuk Kursat Isleyen, Gazi University, TURKEY

Shukri Maxhuni, Prizen University, KOSOVA REPUBLIC

Syed Tufail Hussain Sherazi, University of Sindh, PAKISTAN

Thomas Niedoba, AGH University of Science and Technology, POLAND

Zoran Sapuric, University American College Skopje, MACEDONIA

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

ISSN 2147 – 9364 (Elektronik)

Cilt	5	Haziran	2017	Sayı	2
Volume	5	June	2017	Number	2

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Araştırma Makalesi (Research Article)

EXAMINING PERFORMANCE OF STABILIZATION PONDS OF AHVAZ'S SLAUGHTERHOUSE

Examining Performance of Stabilization Ponds of Ahvaz's Slaughterhouse

..... **Sadegh GHASEMI, Roya MAFIGHOLAMI, Mohsen YAZDANIAN (English) 104-111**

HHO HÜCRE PERFORMANSININ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Fuzzy Logic Modeling of Performance HHO Dry Cell

..... **Sadık ATA, Gürol ÖNAL, Kevser DİNCER 112-123**

ANALYSIS OF THE DIFFERENT LAND REALLOCATION RESULTS IN LAND CONSOLIDATION PROJECT: A CASE STUDY IN ÜÇHÜYÜKLER NEIGHBORHOOD, ÇUMRA-KONYA-TURKEY

Analysis of the Different Land Reallocation Results in Land Consolidation Project: A Case Study in Üçhüyükler Neighborhood, Çumra-Konya-Turkey

..... **Tayfun ÇAY, Ela ERTUNÇ (English) 124-132**

TREATMENT ALTERNATIVES FOR MICROPOLLUTANT REMOVAL IN WASTEWATER

Treatment Alternatives for Micropollutant Removal in Wastewater

..... **Bilgehan NAS, Taylan DOLU, Havva ATEŞ, M. Emin ARGUN, Esra YEL (English) 133-143**

PMN-PT-PMS SERAMİKLERİNDE SİNERLEME SICAKLIĞI ETKİSİYLE YAPISAL VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİN OPTİMİZASYONU

Optimizing Structural and Electrical Properties of PMN-PT-PMS Ceramics via Sintering Temperature

..... **Osman DÜZEN, Volkan KALEM 144-152**

STATISTICALLY GUIDED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Statistically Guided Artificial Bee Colony Algorithm

..... Barış KOÇER (English) 153-169

DETERMINATION OF EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS OF INDUCTION MOTORS BY USING HEURISTIC ALGORITHMS

Determination of Equivalent Circuit Parameters of Induction Motors by Using Heuristic Algorithms

..... Murat SELEK, Hakan TERZİOĞLU (English) 170-182

ACİL DURUM HABERLEŞMESİNDE KULLANILAN EL TELSİZİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SEÇİLMESİ

Selection of The Hand-Held Radio Transceivers Which is Used for Emergency Communications with Multi Criteria Decision Making Methods

..... Atiye Zeynep KÜTÜKÇÜ, Tamer EREN 183-203

ANP VE TOPSIS YÖNTEMLERİYLE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIM ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of the Renewable Energy Investments in Turkey Using ANP and TOPSIS Methods

..... Evren Can ÖZCAN, Sultan ÜNLÜSOY, Tamer EREN 204-219

ACCURACY INVESTIGATION OF DEM BASED ON GÖKTÜRK-2 STEREO IMAGES

Accuracy Investigation of DEM Based on Göktürk-2 Stereo Images

..... Ömer MUTLUOĞLU, Merva GUVEN (English) 220-227

THE INVESTIGATION OF USEABILITY OF NON-METRIC DIGITAL CAMERAS MOUNTED ON THE KITES PLATFORMS AT THE ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION WORK

The Investigation of Useability of Non-Metric Digital Cameras Mounted on the Kites Platforms at the Archaeological Documentation Work

..... Ali Ulvi, Ahmet Suad TOPRAK, Murat YAKAR (English) 228-238

NİKEL MANGANİT ESASLI NTC TERMİSTÖRLERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE 0.15 VE 0.3 MOL CuO KATKISININ ETKİSİ

The Effect of 0.15 and 0.30 mol CuO Additions on the Electrical Properties of Nickel Manganite-based NTC Thermistors

..... Berat YÜKSEL PRICE 239-250

EXAMINING PERFORMANCE OF STABILIZATION PONDS OF AHVAZ'S SLAUGHTERHOUSE

¹ Sadegh GHASEMI, ² Roya MAFIGHOLAMI, ³ Mohsen YAZDANIAN

¹ Young Researchers and Elite Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

² Department of Environment Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Young Researchers and Elite Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

¹ sadeghghasemi23@gmail.com, ² r.gholami@iauahvaz.ac.ir, ³ yazdanian.mohsen@yahoo.com

(Geliş/Received: 04.04.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 17.05.2016)

ABSTRACT: A waste stabilization pond (WSP) is a hole in which household wastewater and other types of sewage are stored for long periods so that organic materials existing in them are deposited, decomposed and stabilized through exposure to light, heat, growth of algae and microorganisms. In this study, wastewater samples collected and treated by the treatment plant of a slaughterhouse in Ahvaz region of Iran and compared the relevant measured parameters with the standards, which set by the Environmental Protection Organization of Iran in order to determine the efficiency of WSPs in treating wastewater and making them usable for irrigation purposes. The results indicate that Turbidity, BOD₅, PH, COD, TDS, and TSS values for the treated wastewater stood at >1000 NTU, 912 mg/l, 8.78, 1520 mg/l, 1052 mg/l, and 2180 mg/l respectively. A comparison of these values with the standard values set by the Environmental Protection Organization of Iran revealed a significant difference. This finding shows that the wastewater treatment plant under study had a poor productivity and performance. The wastewater treated by that facility should not be used for irrigation or discharge into surface water.

Key Words: Environmental standards, Wastewater reuse, Waste stabilization pond

İran'ın Ahvaz Bölgesinde Mezbahane Stabilizasyon Havuzu Arıtma Veriminin Araştırılması

ÖZ: Atık stabilizasyon havuzu (ASH), evsel atık su ve diğer kanalizasyon türlerinin uzun süre bekletildiği, içinde bulunan organik materyallerin ışığa, ısınmaya, alg ve mikroorganizmaların büyümesine ortam hazırlayarak çökmesine, parçalanmasına ve stabilize edilmesini sağlayan bir kuyudur. Bu çalışmada; İran'ın Ahvaz bölgesinde bulunan bir mezbahane toplanan ve arıtma tesisinde arıtılmış atık suların numune alınarak ASH ile atık suyun arıtımındaki verimin saptanması ve sulama amaçlı kullanılabilmesi için İran Çevre Koruma Örgütü tarafından belirlenen standartlarla ilgili ölçülen parametrelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda, arıtılmış atık suyun Türbiditesi, BOİ₅, pH, KOİ, TÇKM ve TAKM değerleri sırasıyla > 1000 NTU, 912 mg/L, 8.78, 1520 mg/L, 1052 mg/L ve 2180 mg/L olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin İran Çevre Koruma Örgütü tarafından belirlenen standart değerlerle karşılaştırılması sonucunda anlamlı bir farklılık gözlemlenmektedir. Bulgular sonucunda çalışmakta olan atık su arıtma tesisinin verimlilik ve performans açısından zayıf olduğu görülmektedir. Tesis tarafından arıtılan atık su, sulama için kullanılmamalı ve yüzeysel suya deşarj edilmemelidir.

Anahtar Kelimeler: Çevre Standartları, Atık suların yineden kullanılması, Atık stabilizasyon havuzu

INTRODUCTION

The pollution caused by the activities of slaughterhouses units forms a huge part of the whole environmental pollutions and plays a very important role in creating environmental crises. Disorders caused by the wastewaters of these units change the status of aquatic ecosystems and have a negative effect on the variety of species (Nejati, 2006). This matter makes treatment of these sewages essential. Slaughterhouses are usually established far from the residential regions. Strategic management is not considered serious in wastewater treatment systems of slaughterhouses and does not have a proper efficiency. Therefore, slaughterhouses are considered as sources that pollute water and soil (Agha and Heshmati, 2007). If concentration of pollutants does not reduce to the standard limit, they can put the public health in danger by spreading pathogens and contamination of groundwater through wells absorbing sewage (as one of the common methods of disposal of slaughterhouses' sewage). It is obvious that applying proper management can provide such conditions to reduce the degree of wastewater pollution and make sewage reuse, particularly for irrigation uses, possible (Stoop, 1999).

Based on the theory of sustainable development, protecting environment is considered an unavoidable necessity for current and future generations and that is why the crisis of environmental pollutions has turned to a universal issue and challenge today (Darijani and David, 2007; Kupusovic *et al.*, 2007). In this respect, being in compliance with the environment is considered as a precondition of activity in huge levels (Dehghanian and Farajnezhad, 2000) and measuring values of spread of environmental pollutants of productive and servicing units will have a special importance. Waste stabilization ponds (WSP) are a hole in which household wastewater and other types of sewage are stored for long periods of time so that organic materials existing in them are deposited, decomposed and stabilized through exposure to light and heat and growth of algae and microorganisms. In WSPs, deposition and stabilization processes take place simultaneously. Such features make WSPs suitable for treating industrial sewage such as wastewaters produced by slaughterhouses, dairy plants and canned food factories (Mara, 1999 ; Reed *et al.*, 1995) .

Since natural processes has a basic role in sewage treatment in ponds and by considering the fact that the speed of natural treatment processes is low, a long retention time is needed for sewage treatment that this retention time is variable between few days to few months depending on weather conditions. Stabilization ponds are among cheap methods of sewage treatment and they can easily be used for treating a wide spectrum of urban and industrial sewages in regions in which there is suitable weather conditions and sufficient cheap lands. Studies that have been done in some countries indicate that waste stabilization ponds can be used as a proper pattern for treating rich sewages such as slaughterhouse sewages (Eckenfelder, 1989). But comprehensive information of the performance of these units in the country is not available. According to the present study which sampled wastewaters collected and treated by the treatment plant of a slaughterhouse in Ahvaz and compared the relevant measured parameters with the standards set by the Environmental Protection Organization of Iran in order to determine the efficiency of WSPs in treating wastewaters and making them usable for irrigation purposes.

Among researches in this field that have been done before, feasibility of using effluents of wastewater treatment of industrial slaughterhouse for agricultural purposes in Qom which has been done by Alireza Najimi *et al* in which parameters pH, COD, BOD5, input and output sewage have been reviewed that all parameters are in the standard limitation of Environmental Protection Organization for agricultural purposes (Najimi, 2009). Among other researches, we can refer to the review of environmental pollutants of wastewater of slaughterhouse units that have been studies in the "Parandak Khazar" slaughterhouse of Som'e Sara, which was done by Ms Saeyin Daneshvar *et al.* in this research the parameters COD, TDS, BOD5, ammonium, coliform of digestive and fat and oil of wastewater treatment plants were higher than standard (Daneshvar, 2012). In a research which was done with the title of "review of efficacy of stabilization ponds in sewage treatment plans of Kermanshah's slaughterhouse" by Mr. Mehdi farzad Kia, the indexes of sewage treatment such as pH, TSS, BOD5, COD

all coliform bacteria and fecal coliform bacteria in exiting wastewater was tested and the obtained results showed that the exiting wastewater of this treatment plant with the available quality is not capable of being used in agricultural irrigation or disposal to surface waters and it has a significant statistical difference with the standards of Environmental Protection Organization of Iran (Farzad Kia, 2004). And in another research with the title of "review of efficiency of sewage treatment systems of Kerman's slaughterhouses" which was done by Ms. Leyla Javarani et al, 500 tests were done on the collected samples and the parameters pH, TSS, BOD5, COD were higher than the permitted limit by comparing them with standard values (Javarini *et al.*, 2009). And ultimately, in a research entitles as qualitative and quantitative review of livestock and poultry slaughterhouses sewage in Lorestan province, which was done by Ms. Elham Borna et al, by measuring the factors Oil, pH, COD, BOD5 and comparing them with the results of standards of country's Environmental Protection Organization, it showed that exiting sewage of Lorestan's livestock slaughterhouses, except for industrial slaughterhouse of Khoram Abad, are more than the permitted limit and are not suitable for disposal to river and agricultural lands (Borna, 2002).

MATERIAL AND METHOD

Studied Region

Ahvaz's slaughterhouse with the daily slaughter capacity of 96 cows and Buffaloes, 1162 sheep and goats in a land with an approximate area of 8 hectares, and with an infrastructure of about 8 thousands square meters in 15th kilometer of Ahvaz – Khorram Shahr road is active in the area of comprehensive urban project. This slaughterhouse lacks blood sampling unit and blood entered in sewage and raw sewage approximately about 11000 cubic meters enters sewage treatment plants.

Type of pool treatment (Figure 1) is stabilization and it does not perform desirably and ultimately, the wastewater caused by treatment is disposed in Karoun River. In addition, this slaughterhouse lacks sewage treatment system and it only has a corpse-burning furnace for destructing the recorded corpses and other wastes caused by the slaughter are disposed to the slaughterhouse's surrounding area. Figure 1 show a view of stabilization ponds of Ahvaz's slaughterhouse.



Figure 1. A view of stabilization ponds of Ahvaz's slaughterhouse

Sampling

This research has been done on the input sewage and output wastewater of sewage treatment of Ahvaz's slaughterhouse. In order to review the efficiency of this treatment plant, something was arranged to remove the data from input and output sewage and it was set for the samples in cool conditions to be quickly transferred for the associated tests to the environment laboratory of the company "Ferdos Teb Shafa". In this research the parameters Turbidity, pH, BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TDS (total dissolved substances) and TSS (total suspended solids) were reviewed in the samples and the feature of the method of the done tests are shown in Table 1.

Table 1. Features of the method of testing the measured parameters

CONTAMINANTS (PHYSICAL,CHEMICAL,BIOLOGICAL)	UNIT	TEST METHOD
Turbidity	NTU	S.M2130 modeB
PH	-	S.M5210 modeB
BOD ₅ required oxygen for biochemical reactions	Mg/l	S.M5210 modeB
COD required oxygen for chemical reactions	Mg/l	S.M5220 modeB
TDS total dissolved substances	Mg/l	S.M2540 modeC
TSS total suspended substances	Mg/l	S.M2540 modeD

RESULT AND DISCUSSION

In order to review the efficiency this treatment plant, the parameters, which were tested in exiting wastewater, were compared with the environmental standards and criteria of Environmental Protection Organization of Iran (Table 4) for disposal in surface waters or reuse of wastewaters (Environmental Protection Organization of Iran, 1999). Results of analysis of input sewage of stabilization ponds are shown in Table 2 and results of analysis of output sewage of stabilization ponds are shown in Table 3.

Table 2. Results of analysis of input sewage of stabilization ponds

CONTAMINANTS (PHYSICAL,CHEMICAL,BIOLOGICAL)	UNIT	RESULTS
Turbidity	NTU	> 1000
PH	-	8.14
BOD ₅ required oxygen for biochemical reactions	Mg/l	1440
COD required oxygen for chemical reactions	Mg/l	2400
TDS total dissolved substances	Mg/l	2600
TSS total suspended substances	Mg/l	2580

Table 3. Results of analysis of output sewage of stabilization ponds

CONTAMINANTS (PHYSICAL,CHEMICAL,BIOLOGICAL)	UNIT	RESULTS
Turbidity	NTU	> 1000
PH	-	8.08
BOD ₅ required oxygen for biochemical reactions	Mg/l	912
COD required oxygen for chemical reactions	Mg/l	1520
TDS total dissolved substances	Mg/l	1052
TSS total suspended substances	Mg/l	2810

Table 4. Standards of exiting wastewaters of sewage treatment plants (Environmental Protection Organization of Iran)

CONTAMINANTS (PHYSICAL,CHEMICAL,BIOLOGICAL)	DISPOSAL		
	to SURFACE WATERS Mg/l	DISPOSAL TO WELLS Mg/l	AGRICULTURAL USES Mg/l
Turbidity	50	-	50
PH	6.5-8.5	5-9	6.5-8.5
BOD ₅ required oxygen for biochemical reactions	50	50	100
COD required oxygen for chemical reactions	100	100	200
TSS total suspended substances	60	-	100

Analysis of the values of physiochemical contaminants of raw sewage of Ahvaz's slaughterhouse shows that the load of pollution of this raw wastewater of this treatment plant is high. Comparing the physiochemical parameters of the wastewater of Ahvaz's slaughterhouse with the environmental standards shows that the rate of TSS, COD, BOD₅ and Turbidity is higher than standard and it worrisome. High COD and BOD₅ show that dissolved oxygen of the exiting wastewater that enters surface waters is very low and this factor causes occurrence of the utriphication phenomenon; on the other hand, high rate of suspended and dissolved solid substances lead to too much and abnormal increase of the salts in water and soil in the region which will be problematic (Manesh and Afyooni, 2009).

Evaluation of Pond's Efficiency

According to the results written in valid references, the process of waste stabilization ponds has the capability to omit 70% to 80% of BOD₅ of samples that haven't been purified. And this capability shall also be increased in the purified samples up to 90%. Reduction rate of TSS in waste stabilization ponds is possible because of the presence of algae in exiting wastewater in rates less than BOD₅; nevertheless, this process can easily reduce the number of bacteria up to 99.9999%, number of viruses up to 99.99% and protozoa cysts and parasites up to 100% (World Health Organization, 2006). Comparing means of percentage of omission of contaminants in waste stabilization ponds of Ahvaz's slaughterhouse based on the results written in Table 5. With the acceptable values of contaminants in this process indicates that efficiencies of the available ponds are low.

Table 5. Omission rate of tested contaminants in stabilization ponds (percentage)

CONTAMINANTS (PHYSICAL,CHEMICAL,BIOLOGICAL)	OMISSION RATE PERCENTAGE OF CONTAMINANTS
BOD ₅ required oxygen for biochemical reactions	36.66
COD required oxygen for chemical reactions	36.66
TDS total dissolved substances	59.53
TSS total suspended substances	15.50

Usability of Wastewater in Irrigation

Figure 2 show comparing the rate of contaminants in exiting wastewater and standards of Protection Organization of Iran associated with using wastewater in agricultural irrigation shows that in most cases the rates of remained contaminants in wastewater is multiple times more than the permitted limit. According to this, using this wastewater for irrigation is in conflict with the standards of Protection Organization of Iran.

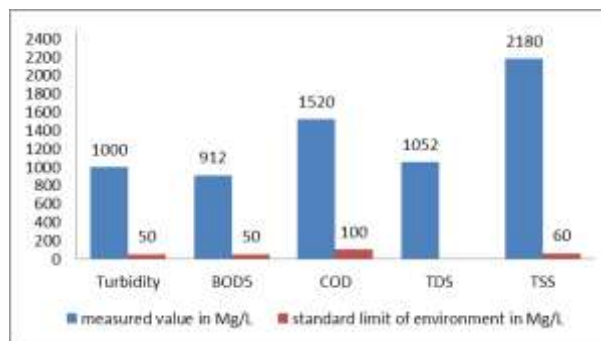


Figure 2. Comparison of parameters of contaminants of exiting wastewater with the standards of Environmental Protection Organization of Iran for irrigation purposes

Ability of Disposing Wastewater in Surface Waters

Figure 3 show Comparing the rate of contaminants in the exiting wastewater with standards of disposing wastewater in surface waters of Environmental Protection Organization of Iran shows that in most cases the rate of remained contaminants in the wastewater is multiple times more than the permitted limit. According to this, disposal of exiting wastewater with this compound in river is in conflict with the principles of country's Environmental protection and leads to pollution of river's water.

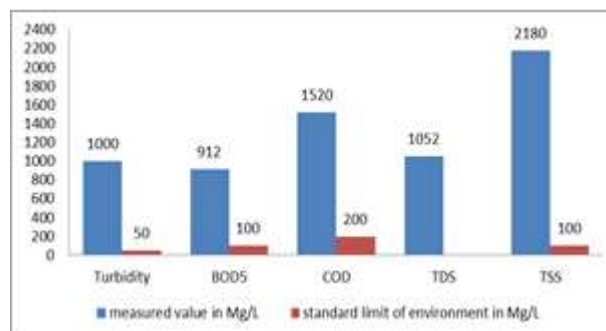


Figure 3. Comparison of parameters of contaminants of exiting wastewater with the standards of Environmental Protection Organization of Iran for disposal in surface waters

CONCLUSION

Given the reviews that have been done, Ahvaz's slaughterhouse has not considered the environmental actions and this slaughterhouse's exiting wastewater makes the load of environmental pollution twice more. Low efficiency and increase of the volume of the exiting wastewater are the most important problems of this treatment plant. In most of the slaughterhouses of Iran, due to lack of use of proper technology, preliminary separation of blood for producing side products such as blood powder does not take place; therefore, blood enters the sewage system and increase the organic load and degree of sewage pollution which will consequently increase the side costs (environmental effects and costs of water treatment). Since establishing efficient systems of sewage treatment is an unavoidable necessity and needs a considerable investment, regulatory organizations can make establishment of industrial units a priority by considering the national and regional conditions and in the form of development programming model and obligate contaminant units to comply with the environmental standards. Also developing and implementing proper encouraging and punishing policies, development of industrial units, privatization and changing the role of government from outsourcer to policy maker and supervisor, will be of crucial help to the improvement of environmental situation of the region. The significant point is that of the necessity and value of environmental issues became clear for industry owners, they will certainly become guardians of the ecosystems and we could hope that the policy of "sustainable development" replaces development with each cost and method.

The provided treatment system shall response to environmental standards and requirements and shall be suitable for the capacity of slaughterhouse, climatic conditions, personnel's skill and implementation costs. One of the most suitable methods for treating slaughterhouses' sewage is simultaneous use of physical and biological treatment.

Given the studies which have been done, the most important program of controlling and reducing wastewater contaminants of slaughterhouses is announced as follows:

- Using chlorination method by intelligent systems instead of manual method for reducing microbial load.
- Using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) in treating slaughterhouse' wastewater.
- Using new chemical treatment systems.
- Reconstructing dirt stuck systems, secondary treatment, fat retention and filtration of the slaughterhouse.
- Using nanotechnologies in treating sewage of poultry Industry.
- Using ozone in order to reduce the microbial load of corpses and increase the durability of the produced products.
- Using sewage treatment systems of activated sludge in the slaughterhouse and using the resulting water for agricultural uses.

REFERENCES

- Agha, R., Heshmat, A., "Entrance of Slaughter Wastes to Watershed Basins, Contamination Factor of Water and Soil", Fourth National Conference of Science and Engineering of Iran's Watershed, Drainage Areas Management, Tehran, Iran, 2007.
- Borna, E., "Qualitative and Quantitative Review of Livestock and Poultry Slaughterhouses Sewage in Lorestan Province and Providing Management and Technical Strategies", Fifth Specialized Conference of Environmental Engineering, Tehran University, Tehran, Iran, 2002.
- Darijani, A., David, H., 2007, "Review of Pollutants of Environment Wastewater of Slaughterhouse Units", Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Vol. 1, pp.25-37.
- Dehghanian, S., Farajnezhad, Z., 2000, Environmental Economics for Non-Economists: Techniques and Policies for Sustainable Development, Ferdosi Mashhad University Publications, Mashhad, Iran.

- Daneshvar, S., 2012, "Review of Environmental Pollutants of Wastewater of Slaughterhouse Units That Have Been Studied in the "Parandak Khazar" Slaughterhouse of Som'e Sara", First National Conference On Environmental Protection And Programming, Hamedan, Iran, 2012.
- Eckenfelder, W.W., 1989, *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw-Hill, 2nd ed, New York, pp:189-193.
- Environmental Protection Organization of Iran, 1999, "Environmental Regulations and Standards", Published by Environmental Protection Organization of Iran, pp. 6-5.
- Farzad K., M., 2004, "Review of Efficacy of Stabilization Ponds in Sewage Treatment Plans of Kermanshah's Slaughterhouse", *Journal Water and Waste Water*, Vol. 15(3), pp. 15-10.
- Javarini, L., Malakootian, M., Noshadi, M., "Review of Efficiency of Sewage Treatment Systems of Kerman's Slaughterhouses", Third Specialized Conference of Environmental Engineering, Tehran University, Tehran, Iran, 2009.
- Kupusovic, T., Midzic, S., Silajdzic, I., Bjelavac, J., 2007. "Cleaner Production Measures in Smallscale Slaughterhouse Industry: Case Study in Bosnia and Herzegovina", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15(4), pp. 278-383.
- Mara, D., 1999, "Guide to Designing Waste Stabilization Ponds in Iran", Company of Water and Wastewater Engineering of Country, Tehran, pp. 1-6.
- Manesh, E., Afyooni, M., 2009, *Environmental Pollution (water, soil and air)*, Arkan-e Danesh Publications, sixth edition, pp. 81.
- Nejati, S., "Environmental Review of GuilanP Livestock Slaughterhouses by Using GIS system", Third National Conference of Environmental Crises And Strategies of Their Improvement, Tehran, Iran, 2006.
- Najimi, R., "Feasibility of Using Effluents of Wastewater Treatment of Industrial Slaughterhouse for Agricultural Purposes (Case study of Qom province)", Scientific Conference on Water Challenge in Qom Province, Qom, Iran, 2009.
- Reed, S.C., Crites, R.W., Middlebrooks, E. J., 1995, *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, 2nd ed, Mc Graw-Hill, New York, USA, pp.75-90.
- Stoop, M.L.M., 1999, "Application of A Mathematical Calculation Model to Reduce Slaughterhouse (Water) Pollution in Developing Countries", *Technovation*, Vol. 19(5), pp. 323-331.
- World Health Organization, 2006, *Waste Stabilization Ponds (Design And Implementation Principles)*, Page 97 – 100.

HHO HÜCRE PERFORMANSININ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

¹Sadık ATA, ²Gürol ÖNAL, ²Kevser DİNCER

¹KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

¹ sadik.ata@karatay.edu.tr, ² gonal@selcuk.edu.tr, ² kdincer@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 29.09.2016 ; Kabul/Accepted in Revised Form: 01.02.2017)

ÖZ: Bu çalışmada, Hidroksi (HHO) hücre performansları, kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından modellenmiştir. Giriş parametreleri plaka sayısı ve zaman (t), çıkış parametreleri gerilim (V), akım (A) ve sıcaklık (°C); Kural Tabanlı Mamdani Tip Bulanık Mantık (KTMTBM) tarafından tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış parametrelerinin sayısal verileri bulanıklaştırmıştır. Bunlar; çok çok düşük (L₁), çok düşük (L₂), düşük (L₃), negatif orta (L₄), orta (L₅), pozitif orta (L₆), yüksek (L₇), çok yüksek (L₈) ve çok çok yüksek (L₉)'dır. Bu sistem için 2 giriş değeri bulunmakta ve her bir çıkış değeri için 9x9 matrisinden 81 kural olmak üzere toplam 243 kural elde edilmiştir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kurallarının bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda bulanık mantık ile belirlenmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmada tespit edilen sonuçlar determinasyon katsayısı yöntemi (R²) kullanılarak karşılaştırılmıştır. R² yönteminde, voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla %98,29; %99,5; %96,47 değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmada yapılmamış değerler BM modeli sayesinde tahmin edilmiştir. Bu çalışma, HHO hücresinin performansının belirlenmesinde, bulanık mantık yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık (BM), Hidroksi (HHO) hücresi, Performans

Fuzzy Logic Modeling of Performance HHO Dry Cell

ABSTRACT: In this study, hydroxy (HHO) dry cell performances in terms of voltage, current and temperature were modeled with Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy (RBMTF) modeling technique. Input parameters combination and time; output parameters voltage, current, temperature were described by RBMTF. Numerical parameters of input and output variables were fuzzificated as linguistic variables: very very low (L₁), very low (L₂), low (L₃), negative medium (L₄), medium (L₅), positive medium (L₆), high (L₇), very high (L₈) and very very high (L₉) linguistic classes. In this system, there are 2 inputs and 81 rules for the every output of 9x9 matrix and totally 81x3=243 rules are generated. Hereafter the rules, which are used to detect the behavior of the fuzzy logic controller and the relationship between system's input and output, are determined. As a result of these rules, every value obtained from the experimental study is also determined by fuzzy logic too. The comparison between experimental data and RBMTF is done by using coefficient of multiple determination (R²). Also, unperformed experiments are predicted with RBMTF. This study indicated that RBMTF can be successfully used for the specification HHO dry cell performances.

Key Words: Fuzzy logic, HHO dry cell, Performance

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hidrokarbon yakıtlar dünyada kullanılan enerjinin birincil kaynağını oluşturmaktadır. Hidrokarbon yakıt kullanımının başlıca olumsuz yan etkileri arasında zararlı kirletici emisyonları, artan sera gazı düzeyleri, yüksek maliyetler ve politik istikrarsızlık gelmektedir. Bu yakıtın tüketimini ve ortaya çıkan emisyonunu azaltmanın bir yolu, bir yakıt takviyesi olarak hidrojen kullanmaktır (Bhardwaj ve diğ., 2014). Yanma sürecindeki hava girişinde hidrojen gazı ilavesi alev hızını, yalın yanma yeteneğini ve alev söndürme mesafesini arttırmaktadır. Fakat ulaşım kısıtlılığı ve üretim maliyeti bu tür uygulama yapmayı zorlaştırmaktadır. Brown Gaz veya hidroksi hücresi (HHO) olarak adlandırılan; suyun elektrolizi ile üretilen hidrojen zengin bir gaz, bu zorlukları çözmek için bir alternatif olabilir (Leelakrishnan ve diğ., 2013). 1918 yılında Charles Frazer, Kuzey Amerikalı mucit, içten yanmalı motorlar için hidrojen güçlendirici olarak kullanılan ilk su elektroliz makinesinin patentini aldı. 1970 ve 80'li yıllarda, Yull Brown, bir Bulgaristan doğumlu Avustralyalı mucit, Brown Gazının patentini alarak bir kesme gazı ve yakıt katkı maddesi olarak sevdirmeye ve popüler hale getirmeye çalıştı (Cameron, 2012). HHO hidrojen ve oksijenin moleküler ve manyetik olarak birbirine bağlanmasıyla oluşan zenginleştirilmiş bir karışımdır. HHO gazı ortak-kanallı elektrolizerde üretilmekte ve motorun yanma odası içine emme manifoldundan gönderilmektedir (Yadav ve Sawant, 2011).

Otomotiv uygulamalarında hidrojen gazı kullanmanın zorluklarından biri depolamadır. HHO araç üzerinde oluşturulmuyor olsaydı eğer büyük tanklar gerekli olacaktı. Bu nedenle, araç üzerinde hidrojen gazı üretimi ile bu son derece patlayıcı gazı depolamak zorunda kalınmayacaktır. Ancak, hidrojen üretimi de ekstra bir maliyetle gelmektedir. Aracın aküsü ve alternatörü üzerinde bir yük oluşturacak ve bu da motor gücünü etkileyecektir. HHO gazının yanma sürecine katılımıyla daha iyi yanma, artan motor gücü ve düşük emisyonları sağlayacağı tahmin edilmektedir (Madyira ve Harding, 2014). HHO jeneratör tasarımlarında dikkat edilmesi gereken noktalar; elektrotların seçimi, iki elektrot arasındaki mesafe, elektrotlar arasındaki bağlantı, katalizörün seçimi, seviyesi, hazne seçimi, elektriksel bağlantı ve yangın koruması olarak sıralanabilir (Chakrapani ve Neelamegam, 2011).

HHO gazının tutuşma sıcaklığı yaklaşık 570°C'dir ve normal atmosfer basıncında stokiometrik karışım için 241,8 kJ ısıtma değeri meydana gelir. Normal şartlar altında, HHO gazı hacimsel olarak yaklaşık %4 ile %94 hidrojen arasında olduğunda yanabilir. Ateşlendiğinde, gaz karışımı, su buharı ve enerji açığa çıkarır. Açığa çıkan ısı miktarı, yanma tarzından bağımsızdır, ama alev sıcaklığı değişir. 2800°C'lik yüksek sıcaklıkta saf stokiometrik karışımı ile elde edilir ve havada yanmakta olan bir hidrojen alevinden yaklaşık 700°C daha sıcaktır (Dincer ve diğ., 2013; Sakthivel, 2014). HHO gazı çok yüksek yayılmaya sahiptir. Havada dağılıma özelliği benzinden çok daha fazladır ve iki nedenden dolayı avantajlıdır. İlk olarak, homojen hava yakıt karışımı ve oluşumunu kolaylaştırır ve ikinci olarak herhangi bir sızıntı olursa hızla dağılılabılır. HHO gaz yoğunluğu çok düşüktür. İçten yanmalı bir motorda kullanıldığında bu depolama sorununa yol açar. Birkaç araştırma ile suyun bir litresi ile yaklaşık 1866 litre HHO gazı üretildiği tespit edilmiştir. Bu gaz ateşlendiğinde, hacim orijinal hali olan bir litre su hacmine düşmektedir (Dincer ve diğ., 2013; Sakthivel, 2014).

Bu çalışmada, HHO hücresinin performansı deneysel verilerin yardımı ile bulanık mantık (BM) modeli oluşturularak incelenmiştir. Deneysel çalışmaların modellenmesinde BM yöntemi çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda sonuçların elde edilmesinde zaman ve maliyet unsuru, daha önce yapılmış deneylerden elde edilen verilerle genellemeler yaparak, bu genelleme ile daha önce gerçekleştirilmemiş deneylere ilişkin çözümler üretilmesini gerektirmiştir. Bu kapsamda kullanılan bulanık mantık modeli ayrıca deneyler için örnekler alınırken ara değerlerin sonucunun bilinmemesi, bağımsız değişkenlerin sayısının çok fazla olması nedeniyle hesaplamaların zor oluşu gibi olumsuz durumları gidermek için de kullanılır (Hasgöl ve Anagün, 2005).

Literatür incelendiğinde, araştırmacıların bulanık mantık yöntemini kullanarak oluşturdukları farklı sistemlere ait modelleme çalışmalarının olduğu görülür. Ata ve Dincer (2015a; 2015b) anot tarafı KNT ile

kaplanmış PEM yakıt hücresi membran performansının tespiti için BM modelini oluşturmuşlardır. Deneysel veriler ile model sonuçlarının istatistik metotlar kullanılarak karşılaştırıldığı çalışma sonunda KNT ile kaplanan PEM yakıt hücresinin membran performansının belirlenmesinde BM yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermişlerdir. Gao ve diğ., (2008) yakıt hücresi sistemi ile donatılmış bir hibrit otobüsü üzerine çalışmalar yapmış ve bulanık mantığa dayalı bir enerji yönetim stratejisi geliştirmişlerdir. Karmaşık güç sistemlerinde enerji akışını yönetmek için bir bulanık mantık sistemi geliştirmiş ve uygulamışlardır. Tong ve diğ., (2003) yaklaşık 1 kW PEM yakıt hücresi ünitesi üzerine çalışmışlar, yığın gerilimi, katot akımı ve anot akımının modellemesini geliştirmişlerdir. Dış yükün güç talebinin, basitleştirilmiş değişkenli bulanık denetleyicisinin gerçek zamanlı kontrolü altında yakıt hücresi tarafından temin edilebileceğini önermişlerdir. Keshwani ve diğ., (2008), cilt geçirgenliğinin kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Toksikite riskleri, transdermal ilaç sağlanması için aday belirlemek ve tahmin etmek için sunulan modelleri bileşiklerin deri geçirgenliğini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanmışlardır. Shakhawat ve diğ., (2006), üretilen su içinde doğal olarak meydana gelen insan sağlığı için riskli radyoaktif maddelerin bulanık kural tabanlı modellemesi üzerine çalışmışlardır. Üretilen suyun içinde doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerin insan sağlığı risk değerlendirmesi için bir çift bariyer yaklaşımı önermişlerdir. Tosun ve diğ., (2011) Türkiye'de konutlarda kullanılan çok katmanlı prekast beton panellerin termal performanslarını kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme kullanarak incelemişlerdir. BM'nin konut çalışmalarında kullanılan çok tabakalı prefabrik beton panellerin termal performansının değerlendirilmesinde güvenilir bir modelleme yöntemi olarak kullanılabileceğini kaydetmişlerdir. Yıldız ve Kışoğlu (2011), bayan dış giyim alanında faaliyet gösteren hazır giyim işletmelerinden alınan boyut tabloları ve vücut büyüklüğü numaralarını inceleyerek ortak bir vücut numaralandırma sistemini bulanık mantık sistemi kullanarak modellemişlerdir. Yapılan bu modelleme ile; pazarlama problemlerine olumlu anlamda katkı sağlanacağını ve hazır giyim sektöründe rekabete katkıda bulunarak tüketici ürünleri ile ilgili sorunların azalacağını önermişlerdir. Özek ve Sinecen (2004), bir havalandırma sisteminin modelini bulanık mantık yaklaşımıyla incelemişlerdir; çünkü kontrol sistemlerindeki temel sorunlardan biri kontrol mekanizması ile ilgili matematiksel modeli oluşturmadaki zorluktur. Kontrol sisteminin matematik modeli kullanılmadan yapılan bulanık mantık yönteminin sadece sözel değişkenler yardımıyla kontrol mekanizması gerçekleştirebildiğini göstermişlerdir. Tiryaki ve Kazan (2007), günlük yaşamda sık kullanılan bir bulaşık makinasının simule edilmesi ve bulanık mantık kullanılarak modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Uygun bir donanım desteği ve uygun sensörler kullanıldığında bulanık mantık modelinin amacı ile bulaşık miktarı, türü gibi girdilere göre, insan müdahalesi olmadan yıkama işleminin yapılabileceği sonucuna varmışlardır. Berber ve diğ., (2013) karşıt akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüplerinin ısıtma ve soğutma performanslarını deneysel olarak incelemiş ve bir kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile modellemişlerdir. BM'nin başarılı bir şekilde farklı geometrik yapılara sahip karşı akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüpü ısıtma ve soğutma performans analizi için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada, HHO hücre performansları, kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından modellenmiştir. Giriş parametreleri kombinasyon ve zaman; çıkış parametreleri voltaj, akım ve sıcaklık; BM tarafından tanımlanmıştır. Plaka sayısı 1-10 arasında değiştirilerek, 10 dakikalık süre içerisinde tespit edilen volt, akım ve sıcaklık olmak üzere toplam 300 deneysel veri bu modelleme çalışmasında kullanılmıştır. Giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısal parametreleri bulanıklaştırılarak sözel değişkenlere çevrilmiştir. Çok çok düşük (L₁), çok düşük (L₂), düşük (L₃), negatif orta (L₄), orta (L₅), pozitif orta (L₆), yüksek (L₇), çok yüksek (L₈) ve çok çok yüksek (L₉) dil sınıflarını ifade etmektedir. Sistemin giriş ve çıkış arasındaki ilişkinin davranışları tespit için kullanılan kurallar belirlenmiştir. Bu sistem için kullanılan dil değişkenleri ile 243 kural elde edilmiştir. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda bulanık mantık ile belirlenmiştir. Deneysel veriler ve BM arasındaki karşılaştırma istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Çoklu Determinasyon katsayısı (R²) yönteminde, voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla % 98,29; % 99,5; % 96,47 değerleri tespit edilmiştir. 100 ve 580 saniye arasında yer alan, deneysel

çalışmada yapılmamış her plakaya ait toplam 270 çıkış değeri için voltaj, akım ve sıcaklık değerleri BM ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, bir bulanık mantık modeli üreterek HHO hücrelerinin performansını değerlendirmenin mümkün olduğunu sunmaktır. Gerçek değerler ve BM sonuçları, HHO hücrelerinin analizi için bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliğini göstermiştir.

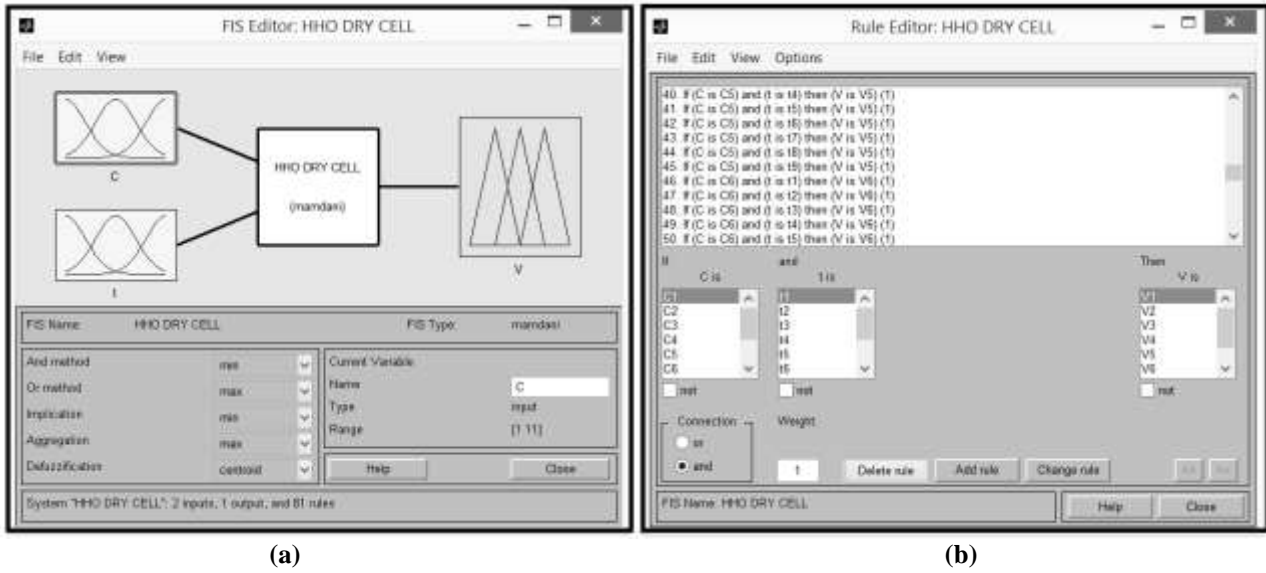
MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Bulanık mantık yaklaşımı, makinalara insanların deneyimleri ve öngörülerinden faydalanılarak özel verilerin işlenmesi ve çalışma yeteneğini vermektedir. Bu yeteneği geliştirirken, sayısal ifadeler yerine sembolik İfadeler kullanılmaktadır. Makinelere bu sembolik ifadelerin transferi matematiksel bir esasa dayanmaktadır. Bu matematiksel temel; bulanık mantık küme teorisidir ve bulanık mantık bu teoriye dayanmaktadır. Bulanık mantık denetleyicinin temelini bu tür sözlü İfadeler ve onların arasındaki mantıksal ilişkiler oluşturmaktadır (Yılmaz ve Ayan, 2013). Bulanık küme, klasik küme kavramının genelleştirilmiş halidir. Bir elemanın o kümeye ne kadar ait olduğu üyelik dereceleri ile ifade edilir. Klasik kümede $\{0,1\}$ ile ifade edilen üyelik dereceleri, bulanık kümede süreklilik arz eden ve $[0,1]$ aralığında üyelik dereceleri alan elemanlardan oluşmaktadır (Gülcan, 2012).

Bu çalışmada, deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulan bulanık mantık model çalışması için Matlab programının Fuzzy Logic modülü kullanılmıştır. Bu modül, sisteme ait giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi, her bir parametreye ait bulanık küme oluşturulması ve bu sistemin çalışması için kuralların belirlenmesi aşamalarına sahiptir. Oluşturulan kurallar ile sisteme öğrettiğimiz çalışma sonucunda, tüm parametrelerin üç boyutlu değişimini gösteren yüzey izleyici şeklini ve istenen giriş değerlerine göre çıkış değerinde nasıl bir sonuçla karşılaşacağımızı bize sunar. Matlab Fuzzy Logic modülüne ilk giriş yapıldığında bulanık çıkarım yöntemlerinden Mamdani veya Sugeno yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı seçilir. Bu çalışmada Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Mamdani yöntemi, deneysel çalışmaların bulanık mantık modeli oluşturulmasında çok fazla kullanılan, deneysel çalışmadaki her bir aşamada bilgi sahibi olan uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Sugeno yönteminde çıkış üyelik fonksiyonları katsayılar ve girişlerden oluşan polinom şeklinde olduğu durumlar ve değişken sayısının çok fazla olmadığı durumlarda tercih edilir.

Modelleme çalışması için sisteme ait giriş-çıkış parametreleri belirlenir. Giriş parametreleri, kombinasyon ve zaman, çıkış parametreleri ise gerilim, akım ve sıcaklık olarak belirlenmiştir. Her bir çıkış parametresi ayrı ayrı incelenerek modelleme çalışması yapılmıştır. Şekil 1a'da gerilim değerleri için oluşturulmuş bulanık mantık yapısı gösterilmiştir. Giriş-çıkış parametrelerini belirledikten sonra her birisinin fonksiyon kümeleri oluşturulur. Elde ettiğimiz deneysel verilerin yorumlanmasından sonra, bu değerlerin kaç tane dilsel değişkenle isimlendirileceğine karar verilir. Bu aşamadan sonra üyelik fonksiyonu çeşitlerinden hangisinin kullanılacağı belirlenir. Bu çalışmada, deneysel verilerin modellenmesinde çok fazla kullanılan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın sisteme öğretilen bu aşamasında yapılan yanlışlar, sonucu direk olarak etkileyecektir. Deneysel çalışmadaki verilerin iyi bir şekilde analiz edilmesi, bundan sonra dilsel değişken ve üyelik fonksiyonu çeşidinin belirlenmesi gerekir. Bulanık mantık sisteminin performansını etkileyen en önemli faktör; sistemin kuralları ve bunların doğruluğudur. Kurallar belirlenirken deneysel çalışmada elde edilmiş her değer iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Sisteme öğretilen her yanlış kural BM modelinin doğruluk hassasiyetinin bozulmasına neden olur (Ata, 2015).

Bu çalışmada, 2 giriş ve 3 çıkışlı bir sistem için, her çıkış için 81 kural ve toplamda 243 kural oluşturulmuştur. Şekil 1b'de gerilim değerinin analizi için yazılmış kurallardan 40. ile 50. kural arasına ait Matlab görüntüsü gösterilmektedir. Kurallar "eğer.ise" durumuna göre yazılmıştır. Örnek vermek gerekirse, 40. kural, C değerinin C₅ dilsel değişkenine, t değerinin t₄ dilsel değişkenine karşılık geldiği zaman, çıkış parametresi olan V değerinin V₅ dilsel değişkenine karşılık gelmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 1. (a) Gerilim değeri için KTMTBM'nin yapısı (b) Gerilim değerleri için yazılar kuralların bazıları
 Figure 1. (a) Structure of RBMTF for voltage values (b) Some of the rules for writing voltage values

Analitik formda bulanık üyelik fonksiyonları, V için denklem (1-4), A için denklem (5-8), oC için denklem (9-12) denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$V(x) = \begin{cases} x; & 9.4 \leq x \leq 48 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$V_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (15.83 - x)/6.43; & \text{if } 9.4 \leq x \leq 15.83 \end{cases} \quad (2)$$

$$V_4(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 22.26 \\ (x - 22.26)/6.43; & \text{if } 22.26 < x \leq 28.69 \\ (35.12 - x)/6.43; & \text{if } 28.69 < x \leq 35.12 \\ 0; & x \geq 35.12 \end{cases} \quad (3)$$

$$V_7(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (48 - x)/6.43; & \text{if } 41.55 \leq x \leq 48 \end{cases} \quad (4)$$

$$A(x) = \begin{cases} x; & \text{if } 0.3 \leq x \leq 5.32 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$A_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (0.9275 - x)/0.6275; & \text{if } 0.3 \leq x \leq 0.9275 \end{cases} \quad (6)$$

$$A_5(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 2.1825 \\ (x - 2.1825)/0.6275; & \text{if } 2.1825 < x \leq 2.81 \\ (3.4375 - x)/0.6275; & \text{if } 2.81 < x \leq 3.4375 \\ 0; & x \geq 3.4375 \end{cases} \quad (7)$$

$$A_9(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (5.32 - x)/0.6275; & \text{if } 4.6925 \leq x \leq 5.32 \end{cases} \quad (8)$$

$$T(x) = \begin{cases} x; & \text{if } 16.43 \leq x \leq 37.36 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$T_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (18.93 - x)/2.63; & \text{if } 16.3 \leq x \leq 18.93 \end{cases} \quad (10)$$

$$T_5(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 24.19 \\ (x - 24.19)/2.63; & \text{if } 24.19 < x \leq 26.83 \\ (29.46 - x)/2.63; & \text{if } 26.83 < x \leq 29.46 \\ 0; & x \geq 29.46 \end{cases} \quad (11)$$

$$T_9(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (37.36 - x)/2.63; & \text{if } 34.73 \leq x \leq 37.36 \end{cases} \quad (12)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

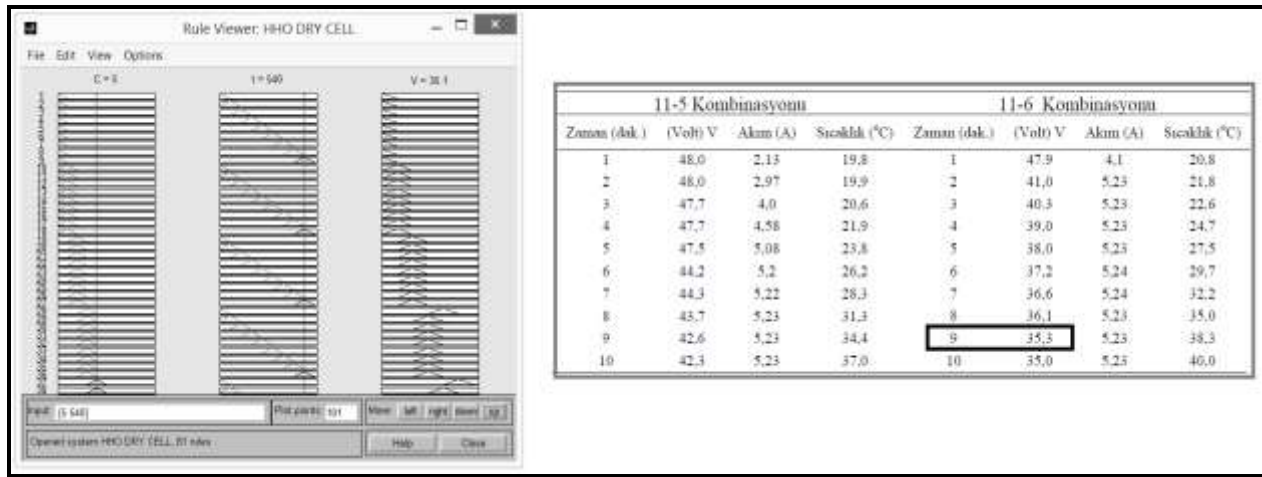
Bulanık mantık modeli oluşturmanın temel aşamaları, bulanıklaştırma, kural tabanı oluşturma, bulanık çıkarım mekanizması ve son olarak durulaştırma adımlarından oluşur. Bulanıklaştırma işleminde, bilgisayara ölçüm yoluyla alınan ve kesin bir sayısal değere sahip olan giriş verisi sözel ifadelerle dönüştürülür. Bu aşamada bilgi tabanında belirlenen üyelik fonksiyonlarından yararlanır. Bulanıklaştırma sonunda elde edilen sözel ifadeler kullanılarak, sistemin giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan kurallar belirlenir. Bulanık çıkarımda ise sözel ifadeler ve kurallar kullanılarak bulanık çıkış elde edilir. Bulanık çıkışların, sayısal çıkış değerine dönüştürülmesi işlemi de durulaştırma ya da berraklaştırma katında yapılır (Tektaş, 2010).

Bu çalışmanın amacı, deneysel verilerin yardımıyla HHO hücresi performanslarının, BM modelleme tekniği ile modellenmesidir. Performans parametreleri, gerilim, akım ve sıcaklık olarak belirlenmiştir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kuralları oluşturulmuştur. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda da bulanık mantık ile de belirlenmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmada tespit edilen sonuçlar, çoklu determinasyon yöntemi kullanılarak mukayese edilmiştir. Ayrıca çalışmada, deneysel çalışmada gerçekleştirilmemiş deneyler, bulanık mantık modeli sayesinde tahmin ettirilmiştir.

İlk aşamada, sistem için belirlenen bulanık küme, üyelik fonksiyonları ve oluşturulan kurallar ile deneysel çalışmanın bilgisayara öğretilme işlemi tamamlanmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen değerlere, oluşturulan bulanık mantık modeli ile de ulaşabileceğimizi görmek için kural izleyicisi

menüsü kullanılır. Şekil 2b’de giriş değerlerinin yazıldıktan sonra çıkış değerinin sonucunu gösteren kural izleyici sayfasına ait Matlab görüntüsü gösterilmiştir. Şeklin en altında sistemin kaç kuralla bu sonuca karar verdiğini belirten kural sayısı yazılmıştır. Gerilim çıkış değerine ait sonucun gösterildiği şekilde, C değeri 5 ve t değeri 540 s iken V değerinin 35.1 olması gerektiğini, belirlenen 81 kural sonucunda karar verdiğini belirtiyor.

DeneySEL çalışmada elde edilen sonuç ile karşılaştırılması yapılarak, hata varsa tekrar bulanık küme oluşturulması ve üyelik fonksiyonu belirlenmesi aşamasına geçilir. Şekil 2b’de Dincer ve diğ., (2013) yaptıkları deneySEL çalışmanın sonuçlarının bir kısmı verilmiştir. Yukarıda verilen örnek gözönüne alınırsa C değerinin 5 olduğu yani 11-6 kombinasyonunda olduğu, t değerinin ise 540 saniye yani 9 dakikada olması durumunda deneySEL çalışma elde edilen değer 35.3 V olduğu görülmektedir. BM modelinin tespit ettiği değere çok yakın bir değer olduğu görülmektedir. Tüm değerler için bu şekilde karşılaştırma yapılarak sistemin hata oranı tespit edilir.

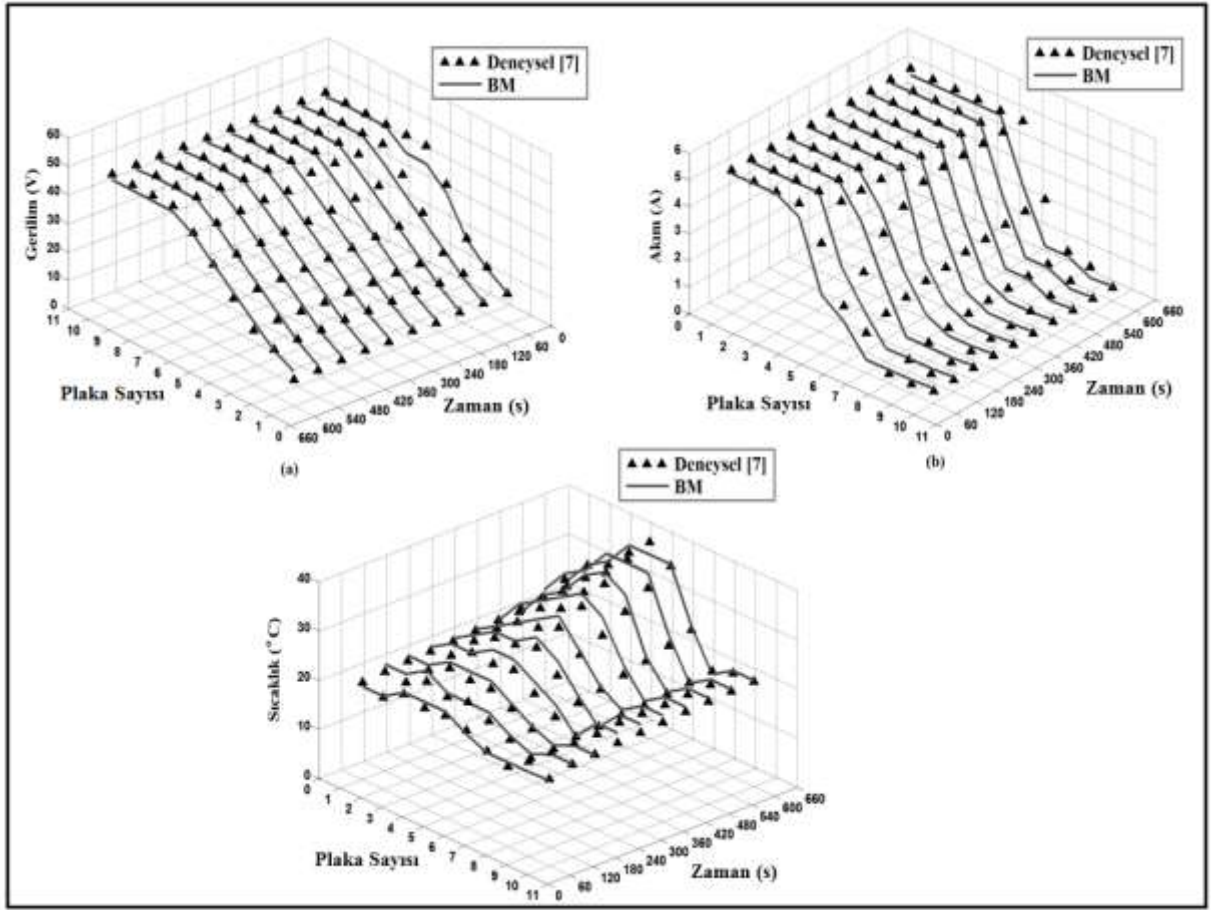


Şekil 2. (a) Gerilim değerinin bulanık mantık ile hesaplanmasına ait görüntü **(b)** HHO hücresi performansına ait bazı deneySEL veriler

Figure 2. (a) Image of calculation of voltage value by fuzzy logic (b) Some experimental data on HHO cell performance

Şekil 3a-3c, BM ile deneySEL verilerin sırasıyla voltaj, akım ve sıcaklık değerlerinin zaman ve plaka sayısına göre değişiminin karşılaştırmasını göstermektedir (plaka numarası = 1-10; t = 60-600s). Bu karşılaştırma sonucunda bulanık mantık değerleri ile gerçek değerlerin birbirlerine oldukça uyumlu olduklarını görmekteyiz.

- Sistem 6 ya da daha fazla plakaya sahip ise, voltaj değeri stabildir, ancak 6 ya da daha az plakaya sahip ise voltaj zamanla azalır (Şekil 3a).
- Akım değeri zamanla ve plaka sayısı arttıkça azalmaktadır, 3 veya daha az plaka olduğunda akım değeri stabildir (Şekil 3b).
- Her plakada sıcaklık zamanla artmaktadır, 5 plaka olması durumunda sıcaklık maksimum değerini almaktadır (Şekil 3c).

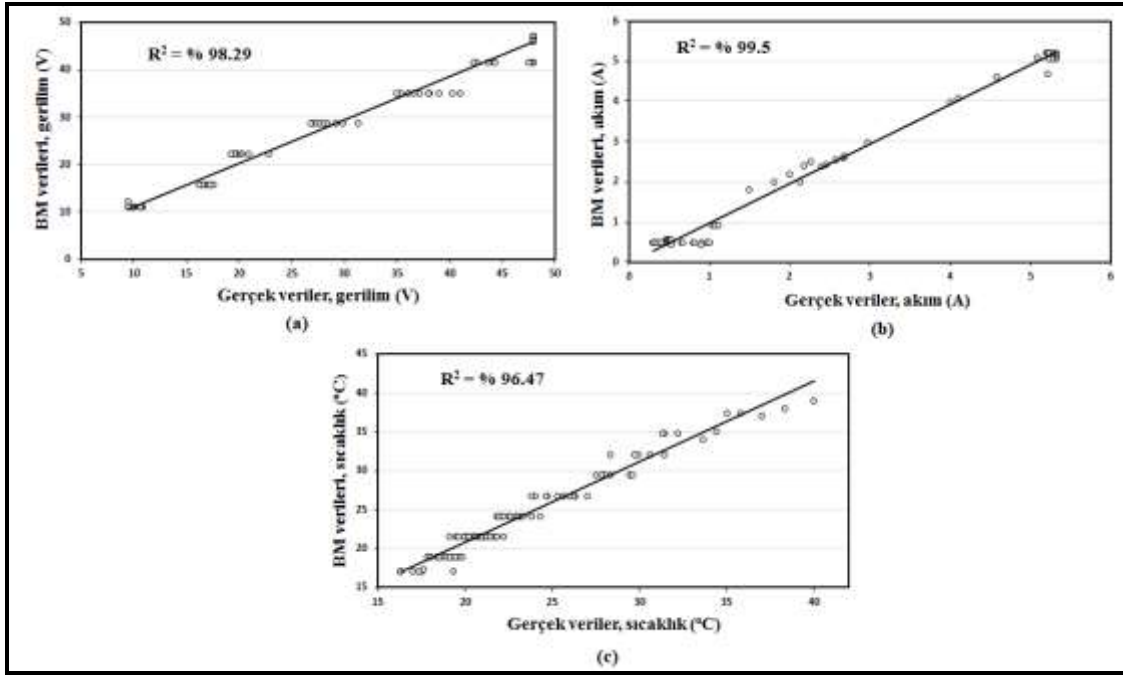


Şekil 3. Deneysel verilerin bulanık mantık verileri ile karşılaştırılması (a) Gerilim, (b) Akım, (c) Sıcaklık
Figure 3. Comparison of experimental datas with fuzzy logic datas (a) Voltage, (b) Current, (c) Temperature

Deneysel veriler ve bulanık mantık arasındaki karşılaştırma çoklu determinasyon katsayısı (R^2) kullanılarak yapılmıştır. Burada t_m , m gerçek değeri, $y_{p,m}$ tahmin edilen değeri, $\bar{t}_{m,m}$ gerçek değerlerin ortalamasını ifade etmektedir (Önal ve diğ., 2015).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n (t_{m,m} - y_{p,m})^2}{\sum_{m=1}^n (t_{m,m} - \bar{t}_{m,m})^2} \quad (13)$$

Şekil 4a-4c sırasıyla gerçek sonuçlar ile ve BM model sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. R^2 , voltaj için % 98.29, akım için % 99.5 ve sıcaklık % 96,47 'dir. Şekil 4a-4c incelendiğinde; gerçek değerler ve bulanık mantıktan elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

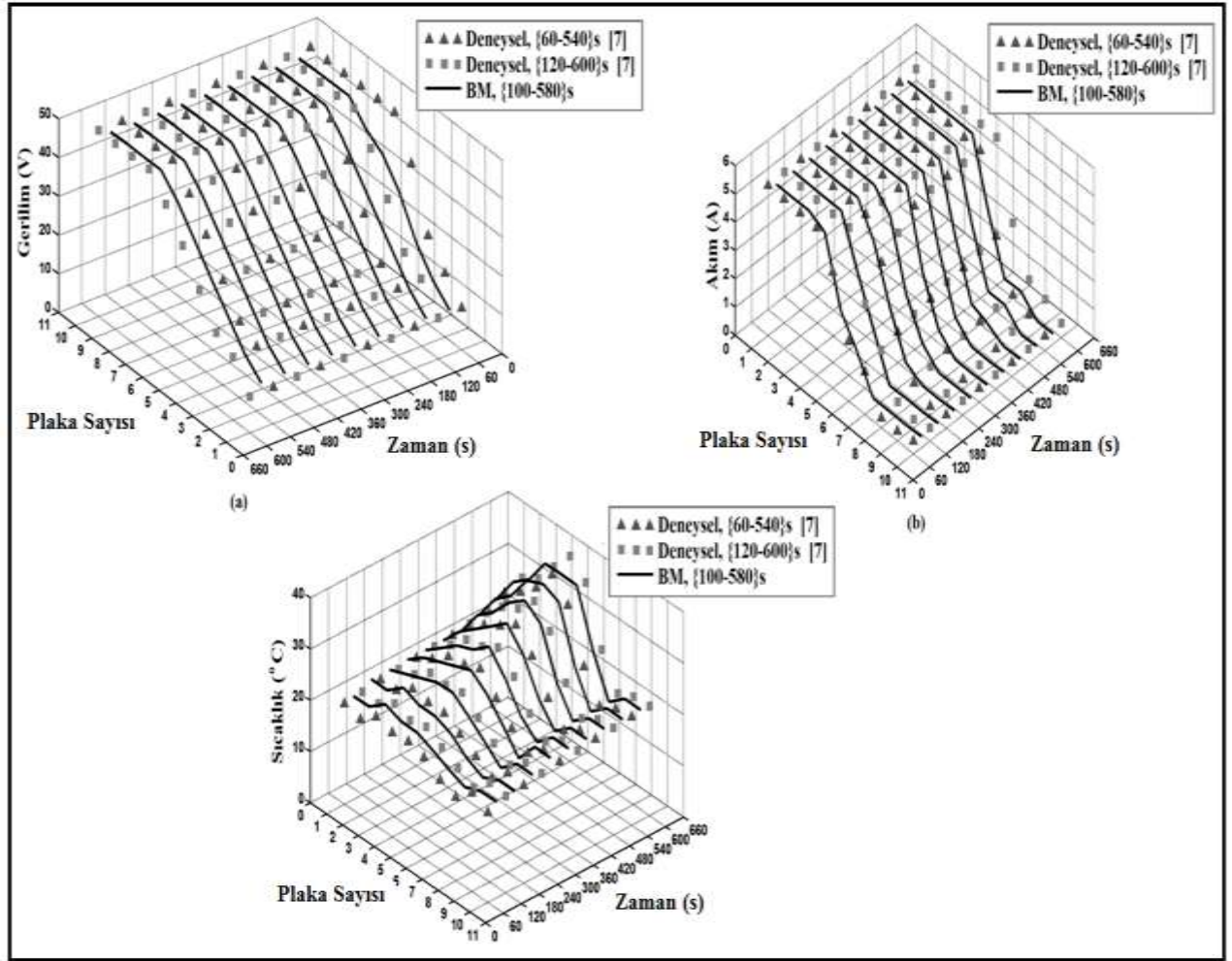


Şekil 4. Deneysel veriler ile bulanık mantık verilerinin çoklu determinasyon katsayısı ile karşılaştırılması (a) Gerilim, (b) Akım, (c) Sıcaklık

Figure 4. Comparison of experimental data with fuzzy logic data with multiple determination coefficients (a) Voltage, (b) Current, (c) Temperature

Bulanık mantık, deneyler ile elde edilmesi mümkün olmayan ara değerleri de değerlendirme avantajına sahiptir. Bu çalışmada, bulanık mantık ayrıca deneysel çalışmada elde edilmeyen değerlerin tahmin edilerek belirlenmesi için de kullanılmıştır. Gerilim, akım ve sıcaklık için deneysel çalışma sırasında elde edilmemiş 100 ve 580 saniye arasındaki 270 değer bulanık mantık yöntemi ile tahmin edilmiştir. Şekil 5a-5c, BM modeli ile tahmin ettirilerek elde edilen değerler ile deneysel verilerin voltaj, akım ve sıcaklık değerlerinin zaman ve plaka sayısına göre değişiminin karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu şekiller analiz edildiğinde aşağıdaki bilgilere ulaşılır.

- Plaka sayısı=4 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen gerilim değeri, plaka sayısı=4 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen gerilim değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=4 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5a).
- Plaka sayısı=9 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen akım değeri, plaka sayısı=9 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen akım değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=9 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5b).
- Plaka sayısı=9 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen sıcaklık değeri, plaka sayısı=9 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen sıcaklık değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=9 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5c).



Şekil 5. Bulanık mantık yöntemi ile tahmin ettirilen veriler **(a)** Gerilim, **(b)** Akım, **(c)** Sıcaklık
Figure 5. Predicted datas by fuzzy logic method **(a)** Voltage, **(b)** Current, **(c)** Temperature

SONUÇ VE TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, HHO hücresi performansı, gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından incelenmiş ve BM yöntemi ile modellenmiştir. Geliştirilen BM model sisteminde, çıkış parametresi olan gerilim, akım ve sıcaklık; giriş parametreleri plaka sayısı ve zaman kullanılarak tespit edilmiştir. Bulanık mantık denetleyici davranışını belirlemek ve sistemin giriş-çıkış arasındaki ilişkisini tespit etmek için 243 kural belirlenmiştir. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda da bulanık mantık yöntemi ile de belirlenmiştir. Bulanık mantık ve deneysel veriler arasında karşılaştırma istatistiksel yöntem olan çoklu determinasyon katsayı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek değerler ve BM model sonuçları; BM model tekniğinin başarılı bir şekilde HHO hücresi performansını belirlemede kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, gerçekleştirilmemiş deneyler BM modeli ile tahmin ettirilerek BM'nin deneysel çalışmalarda kullanılmasının önemi belirtilmiştir.

TEŞEKKÜR (Acknowledgment)

Bu çalışmanın bazı bölümleri Sadık Ata'nın Yüksek Lisans tezini içermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ata, S., 2015, PEM Yakıt Hücresinin Membran Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Ayırışımı Olayının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ata, S., Dincer, K., 2015a, "Anot Tarafı Karbon Nanotüp İle Kaplanmış PEM Yakıt Hücresi Performansının Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi", Ulusal Hidrojen Teknolojileri Kongresi UHTEK-2015, İstanbul, Aralık 2015.
- Ata, S., Dincer, K.2015b, "Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of performance proton exchange membrane fuel cell with carbon nanotube", 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, Bulgaria, June 2015.
- Berber, A., Dincer, K., Yılmaz, Y., Ozen, D.N., 2013, "Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of heating and cooling performances of counter-flow Ranque Hilsch vortex tubes with different geometric construction for steel", Energy, Vol.51, pp. 297-304.
- Bhardwaj, S., Verma, A.S., Sharma, S.K., 2014, "Effect of Brown Gas on The Performance of A Four Stroke Gasoline Engine", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.4, No.1, pp.300-307.
- Cameron, R., 2012, Effects of On-board HHO and Water Injection in a Diesel Generator, Bachelor of Engineering Research Project, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying.
- Chakrapani, K., Neelamegam, P., 2011, "Optimization of Fuel Consumption using HHO in HDL Technique Verified in FPGA", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.31, No.2, pp.140-145.
- Dincer, K., Ongun, R., Dede, O., 2013, "HHO Hücresinin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Journal of Technical-Online, Vol.12, No.3, pp.66-75.
- Gao, D., Jin, Z., Lu, Q., 2008, "Energy Management Strategy Based on Fuzzy Logic for a Fuel Cell Hybrid Bus," Journal of Power Sources, Vol.185, pp.311-317.
- Gülcan, B.2012. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.
- Hasgül, Ö., Anagün, A.S., 2005, "Deneysel Sonuçların Analizinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Beton Dayanım Testi İçin Bir Uygulama", V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul.
- Keshwani, D.R., Jones, D.D., Meyer G.E.R., Brand, M., 2008, "Rule-based Mamdani-type Fuzzy Modeling of Skin Permeability", Applied Soft Computing, Vol.8, pp. 285-294.
- Leelakrishnan, E., Lokesh, N., Suriyan, H., 2013, "Performance and Emission Characteristics of Brown's Gas Enriched Air in Spark Ignition Engine", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.2, No.2, pp.393-404.
- Madyira, D, Harding, W., 2014, "Effect of HHO on Four Stroke Petrol Engine Performance", 9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics, Somerset West.
- Önal, G., Dincer, K., Yayla, S., Yılmaz, Y., Ersoyoğlu, A., S.2015, "Pt/C Coating for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) and Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy Modeling of PEMFC Performance", International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering, Vol.3, No.3, pp.122-128.
- Özek, A., Sincen, M., 2004, "Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellemesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 10, No. 3, pp.353-358.

- Sakthivel, S., 2014, "An Experimental Assessment of Performance and Exhaust Emission Characteristics by Addition of Hydroxy (HHO) Gas in Twin Cylinder C.I. Engine", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol.3, No.2, pp.60-65.
- Shakhawat, C., Tahir, H., Neil, B., 2006, "Fuzzy Rule-based Modelling for Human Health Risk from Naturally Occurring Radioactive Materials in Produced Water", *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.89, pp.1-17.
- Tektaş, M., 2010, *Web Tabanlı Yapay Zeka Teknikleri Eğitim Simülatörlerinin Hazırlanması*, Marmara Üniversitesi BAP Komisyonu Başkanlığı Proje Raporu, pp.76-90.
- Tiryaki, A.E., Kazan, R., 2007, "Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi", *Mühendis ve Makine*, Vol. 48, sayı 565, pp.3-8.
- Tong, S.W., Qian, D.W., Fang, J.J., Li, H.X., 2003, "Integrated Modeling and Variable Universe Fuzzy Control of a Hydrogen-Air Fuel Cell System", *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.8, pp.3636-3652.
- Tosun, M., Dincer, K., Baskaya, S., 2011, "Rule-based Mamdani-type Fuzzy Modelling of Thermal Performance of Multi-Layer Precast Concrete Panels used in Residential Buildings in Turkey", *Expert Systems with Applications*, Vol.38, pp.5553-5560.
- Yadav, M.S., Sawant, S.M., 2011, "Investigations on Oxyhydrogen Gas and Producer Gas as alternative Fuels on The Performance of Twin Cylinder Diesel Engine", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol.2, No.2, pp.85-98.
- Yıldız, Ş., Kişoğlu, S., 2011, "Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hazır Giyimde Beden Numarası Belirleme", *E-Journal of New World Sciences Academy*, Vol.6, No.1, pp.12-22.
- Yılmaz, A., Ayan, K., 2013, "Cancer Risk Analysis by Fuzzy Logic Approach and Performance Status of The Model", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, TÜBİTAK, Vol.21, pp.897-912.

ANALYSIS OF THE DIFFERENT LAND REALLOCATION RESULTS IN LAND CONSOLIDATION PROJECT: A CASE STUDY IN ÜÇHÜYÜKLER NEIGHBORHOOD, ÇUMRA-KONYA-TURKEY

¹Tayfun Çay, ²Ela Ertunç

^{1,2}Selçuk University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, Konya, Turkey,
¹tcay@selcuk.edu.tr , ²elaertunc@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 16.11.2016 ; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.03.2017)

ABSTRACT: The most important, complex and time-consuming process of land consolidation is known as the reallocation phase. Reallocation processes in land consolidation projects in Turkey is made according to farmer preferences (interview). Besides, the optimization studies based on the mathematical models for the reallocation process in many scientific researches in addition to reallocation model based on interview have been conducted. But, because there isn't a precise mathematical model for the reallocation process, many different solutions have been suggested.

In this study, importance of reallocation in land consolidation and interview-based and block priority-based reallocation models has been described. Also, the results of the block priority-based reallocation model that makes land reallocation by being take into account respectively the largest parcels belong to the farmers have been obtained. The results which are obtained from the block priority-based reallocation model has been compared with the results which are obtained from the interview-based reallocation model. In the consolidation area of the Üçhüyükler neighborhood Çumra-Konya-Turkey, previously the number of cadastral parcels were 265, the number of interview-based reallocation method parcels were 243. The number of this parcels according to the block priority-based reallocation model that is applied in this study have decreased to 237. Average parcel size was 3.30 hectares before consolidation in this region. Average parcel size has increased to 3.60 hectares according to the interview-based reallocation model and to 3.36 hectares according to the block priority-based reallocation model.

Key Words: Land consolidation, Reallocation, The interview-based reallocation, The block priority-based reallocation

Arazi Toplulaştırma Projelerinde Farklı Dağıtım Sonuçlarının Analizi: Üçhüyükler Mahallesi, Çumra- Konya- Türkiye Örneği

ÖZ: Arazi toplulaştırmanın en önemli, karmaşık, zaman alıcı süreci dağıtım aşaması olarak bilinmektedir. Dağıtım, belirgin ve sınırlanabilen bir işlev olmayıp aksine birbirine bağlı ve birbirini tamamlayan unsurları içermekte, dolayısıyla karar vericiyi her zaman birden çok alternatifle karşı karşıya bırakmaktadır. Türkiye’de arazi toplulaştırma projelerinde dağıtım işlemleri çiftçi tercihlerine (mülakat) göre yapılmaktadır. Ayrıca, mülakata dayalı dağıtım modelinin yanında birçok bilimsel araştırmalarda dağıtım işlemi için matematik modellere dayalı optimizasyon çalışmaları da yapılmıştır. Ancak, dağıtım işlemi için kesin bir matematiksel model bulunmadığı için çok farklı çözümler önerilmiştir.

Bu çalışmada; arazi toplulaştırmasında dağıtımın önemi, mülakat esaslı ve blok öncelik esaslı dağıtım modeli anlatılmış ve arazi dağıtımını işletmelere ait en büyük ve en büyük ikinci parselleri

dikkate alarak yapan blok öncelik esaslı dağıtım modelinin sonuçları elde edilmiştir. Blok öncelik esaslı dağıtım modellerinden elde edilen sonuçlar mülakat esaslı dağıtım modelinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Üçhüyükler mahallesi (Çumra-Konya-Türkiye) toplulaştırma sahasında 265 adet eski kadastro parseli varken mülakat esaslı dağıtım modelinde parsel sayısı 243'e düşmüştür. Blok öncelik esaslı dağıtım modeline göre parsel sayısı 237 olmuştur. Ortalama parsel büyüklüğü ise toplulaştırma öncesinde 3.30 hektar iken, mülakat esaslı dağıtım modeline göre 3.36 hektar ve blok öncelik esaslı dağıtım modeline göre de 3.60 hektara çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi toplulaştırma, Dağıtım, Mülakat esaslı dağıtım, Blok öncelik esaslı dağıtım

INTRODUCTION

The agricultural infrastructure is developed which is primary importance in order to ensure more revenue per unit area and in order to compete with the world of agriculture of our country by making a high production efficiency. The most important issues are to develop the agricultural infrastructure which is the size of the existing structural problems and legal arrangements needed to solve the problems. Also, the issues are the responsible institutions increase and the financial resources are provided (Kirmikil, 2010).

The most important agricultural infrastructure problems in our country are that the lands owned by agricultural enterprises are fragmented as small parcels and that shapes of these lands are irregular. Also, these lands are lack of transport and road network. This situation complicates that farmers make economically agricultural production. Thus, agricultural development is unobtainable. Land consolidation is the best way to solve this problem for rural land.

The land consolidation which is the implementation on pasture lands of land and plot readjustment is an important tools that provides increased efficiency in agricultural production. In order to increase agricultural production, the lands that are shaped in the form of unfavourable and that are divided into multiple parts in small parcels and that belong to persons and businesses is shaped and planned by appropriately combining according to the principles of management of modern agriculture (Temel, 2013). The land consolidation is a necessary study in order to modernize rural areas, make economically a livable place and facilitate the environmental management (Sonnenberg, 1996; Van den Brink, 1999; Van Lier, 2000; Crecente et al., 2002; Çay et al., 2009; Ertunç and Çay, 2016). This process can be realized that economic, environmental and social factors are considered versatile (Gonzalez et al., 2004; Çay et al., 2009; Ertunç and Çay, 2016).

According to data the General Directorate of Agricultural Reform (ARGD), the land consolidation had been completed in the area, which is about 3 million hectares, by the end of the year 2012 in Turkey. The land consolidation of 11 million hectares areas has been planned to be completed between the year 2013 and the year 2023. Thus, the land consolidation of the total 14 million hectares areas will be completed by the end of the year 2023 in Turkey. This case emphasizes the importance of land editing projects and increases to the need that more efficient, more efficient and more expeditious methods are developed in the block distribution to complete quickly the land editing projects.

In this study, it has been investigated the applicability of the block priority-based reallocation model which is made by considering the biggest first and second parcels belonging to the companies. The land consolidation project in the Konya-Çumra-Üçhüyükler has been selected as the project area. The results of block priority-based distribution model with results of the traditional method that is known as interview-based distribution model were compared with each other according to the number of parcels and shares, average parcel size, the number of jointly owned parcels in distribution models, width / length ratios of parcels and the distance from the company center of the neighborhood center.

MATERIAL AND METHOD

According to Agrarian Reform Law in accordance with regulation of land on the irrigation areas with number 3083, the block reallocation is made according to interview-based reallocation model in land consolidation projects. In this study, the block reallocation has been made according to interview-based reallocation model and block priority-based reallocation model.

Description of Application Area

Üçhüyükler neighborhood of Çumra county of Konya province which is dominated continental climate have been selected as research area. Üçhüyükler neighborhood is away 13 km from Çumra county and is away 63 km from Konya province. According to 2012 census data, the population of the neighbourhood is 801. The economy of the neighborhood depends on agriculture and animal husbandry. The area of land consolidation project that is made for Uçhüyükler neighborhood is 875.69 hectares. There are 275 farmers and 265 cadastral parcels in the consolidation area (Figure 1). 64 pieces of this cadastral parcels are jointly owned parcel. The average size of the cadastral parcels is 3.30 hectares.

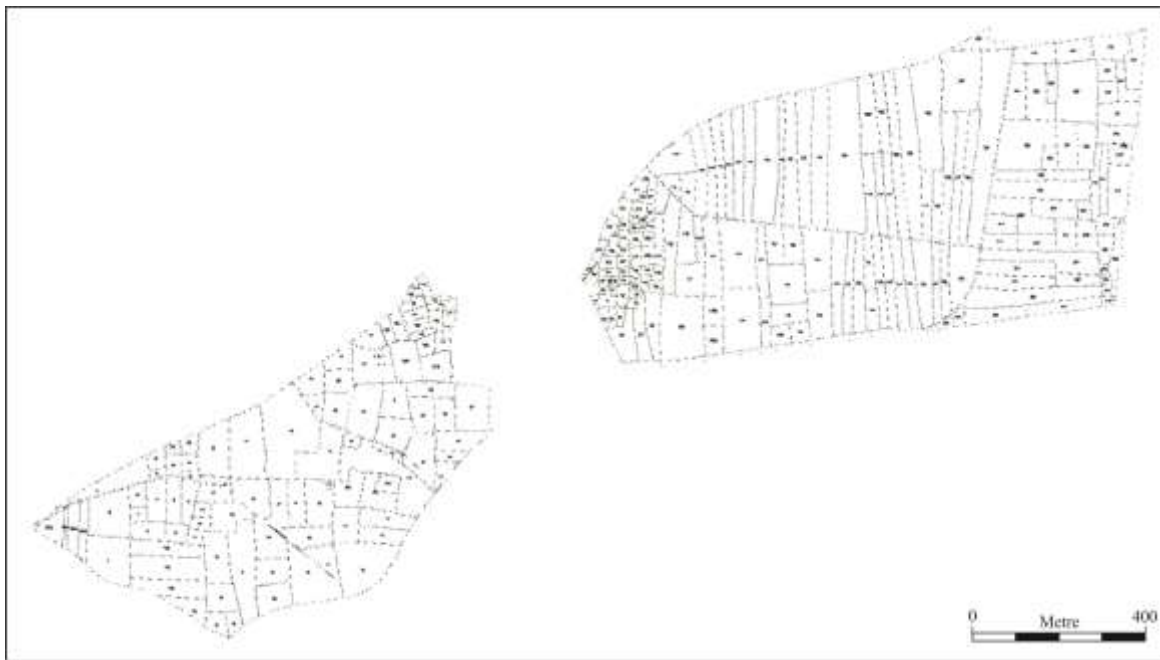


Figure 1. The cadastral status of Üçhüyükler neighborhood

RESULTS AND DISCUSSION

Interview-based reallocation model and block priority-based reallocation model have been examined in terms of the number of parcel, the average size of parcel, the number of shares of the reallocation methods, distance from Üçhüyükler Neighborhood center of the enterprise in the models, width / length ratios of parcels in the models and the number of parcels per enterprise of the models.

The Number of Parcels

In the area where the research is carried out, the old and new cases of parcels belong to the farmers in terms of the number of parcel are shown in Table 1.

According to Table 1, in the area of land consolidation belonging to Üçhüyükler neighborhood, while the number of cadastral parcels were 265 prior to the study, this number decreased to 243 according to interview-based reallocation model. Whereas, the number of cadastral parcels decreased to 237 according to block priority-based reallocation model. While the consolidation ratio is 8% in interview-based reallocation model, this ratio has been realized as 11% in block priority-based reallocation model. In block priority-based reallocation model, the reason why rate of the consolidation is high is that the farmers' preferences aren't taken into account.

Table 1. Examination of the models in terms of the number of parcels

The Size of Parcel (Decares)	Cadastral Status	Interview-Based Reallocation Model	Block Priority-Based Reallocation Model
	The Number of Parcel	The Number of Parcel	The Number of Parcel
0-5	32	25	15
5-10	37	20	19
10-20	42	48	55
20-30	38	43	36
30-40	44	28	28
40-50	20	22	28
50-60	16	23	18
60-80	16	14	14
80-100	9	8	12
100-120	6	7	7
120-150	2	5	4
150+	3	0	1
Total	265	243	237
Consolidation Ratio (%)		8	11

The Average Size of Parcels

The average sizes of parcels belonging to the study area are seen in Table 2.

Table 2. The average sizes of parcels of the reallocation models

The Average Size of Parcel	Area (m ²)	Increase Percentage (%)
Cadastral status	33044.92	-
Interview-based reallocation model	36063.64	9%
Block priority-based reallocation model	36948.96	12%

Investigation in terms of the Number of Shares of the Reallocation Methods

The situation in terms of the number of jointly owned parcels belonging to enterprises of reallocation models which is applied in application area belonging to Üçhüyükler neighborhood is shown in Table 3. According to Table 3, the number of jointly owned parcels were 64 before the reallocation. After the reallocations, while the number of jointly owned parcels are 29 for block priority-based reallocation model, this number are 23 for interview-based reallocation model. Therefore, it can be said that interview-based reallocation model is more successful than block priority-based reallocation model in terms of the number of jointly owned parcels belonging to enterprises.

Table 3. The number of jointly owned parcels occurred with the reallocation methods

The Number of Share in Parcel	The Number of Jointly Owned Parcel		
	Cadastre	Interview-Based Reallocation Model	Block Priority-Based Reallocation Model
1	201	220	208
2	34	8	15
3	14	4	6
4	6	6	4
5	2	1	1
6	3	-	1
7	1	2	-
8	1	-	1
9	-	-	1
10	1	1	-
11	1	-	-
13	1	1	-
The number of jointly owned parcel	64	23	29
Total	265	243	237

Examining in terms of Distance to Üçhüyükler Neighborhood Center of the Enterprise in the Models

In the application area, distances which are the shortest travel distances between the center of the parcels belonging to the enterprises with the center of Üçhüyükler neighbourhood have been determined by measuring one by one by taking into account the existing road network. Later, the average of these values has been taken. It has been indicated by the Ayranç (1997) that the distance between the central of Neighborhood with parcels of enterprise in terms of enterprise's economics and land-use is 3 km in each case.

The distances to the Neighborhood's center of the enterprises is located in application area belonging to Üçhüyükler Neighborhood is shown in Table 4. According to Table 4, while the ratio of enterprise parcels, the distance of these parcels to the Neighborhood center is up to 3 km, is 82% prior to

land consolidation, in parcellation plan which is formed according to the results interview-based reallocation model and block priority-based reallocation model is 81% this ratio. According to this, a lot of change in terms of the distance to the Neighborhood center of enterprise parcels hasn't seen in both models according to pre-land consolidation.

Table 4. The distance to Neighborhood center of the enterprise parcels belonging to Üçhüyükler Neighborhood

Distance (m)	Cadastral		Interview-Based Reallocation Model		Block Priority-Based Reallocation Model	
	The Number of Parcels	%	The Number of Parcels	%	The Number of Parcels	%
0-500	10	4	8	3	7	3
501-1000	71	27	54	22	40	17
1001-1500	37	14	38	16	39	17
1501-2000	29	11	33	14	36	15
2001-2500	35	13	30	12	32	14
2501-3000	36	13	35	14	36	15
3001-3500	19	7	17	7	22	9
3501-4000	24	9	23	10	21	8
4001-4500	4	2	5	2	4	2
4501-5000	-	0	-	0	-	0
5000+	-	0	-	0	-	0
TOTAL	265	100	243	100	237	100

The Examination in terms of Width / Length Ratios of Parcels in the Models

In consolidation projects, it is convenient that width / length ratios is choose from values between 1/4 - 1/5 by taking into consideration factors related to culture technical services (Çevik and Tekinel, 1989). This ratio can be between 1/2 - 1/7 in mandatory cases by depending on the size of land (Banger and Şişman, 2001; Çay, 2013).

Width / length ratios of the parcels located in the area of application are shown in Table 5. According to Table 5, width / length ratio, which are between 1/4 - 1/5, of parcels is 3% in cadastral parcels before land consolidation studies. Whereas, this ratio after land consolidation is 12% in interview-based reallocation model and is 13% in block priority-based reallocation model. While width / length ratio, which are between 1/2 - 1/7, of parcels is 39% in cadastral parcels before land consolidation, this ratio is 61% in both interview-based reallocation model and block priority-based reallocation model after land consolidation. Equally improvement increase in width / length ratios of parcels is observed in both models after land consolidation.

Table 5: Width / length ratios of the enterprise parcels belonging to Üçhüyükler region

Width / Length Group	CADASTRAL				INTERVIEW-BASED REALLOCATION MODEL				BLOCK PRIORITY-BASED REALLOCATION MODEL			
	Width / Length Ratio	Width / Length Fraction	The Number of Parcels	%	Width / Length Ratio	Width / Length Fraction	The Number of Parcels	%	Width / Length Ratio	Width / Length Fraction	The Number of Parcels	%
0-0.05	0.045	0	1	1	0.045	0	1	1	0.045	0	-	-
0.05-0.07	0.064	0	7	3	0.065	0	7	3	0.064	0	-	-
0.07-0.10	0.089	0	17	6	0.085	0	10	4	0.089	0	-	-
0.10-0.12	0.111	1/9	16	6	0.109	1/9	7	3	0.111	1/9	2	1
0.12-0.14	0.127	1/8	9	3	0.130	1/8	6	2	0.127	1/8	7	3
0.14-0.16	0.150	1/7	6	2	0.150	1/7	16	6	0.150	1/7	3	1
0.16-0.18	0.175	1/6	6	2	0.171	1/6	12	5	0.175	1/6	2	1
0.18-0.20	0.191	1/5	8	3	0.188	1/5	2	1	0.191	1/5	5	2
0.20-0.25	0.226	2/9	7	3	0.226	2/9	30	12	0.226	2/9	30	13
0.25-0.30	0.274	2/7	12	4	0.272	2/7	28	11	0.274	2/7	32	14
0.30-0.35	0.325	1/3	21	8	0.322	1/3	15	6	0.325	1/3	15	6
0.35-0.40	0.374	3/8	13	5	0.373	3/8	18	7	0.374	3/8	24	10
0.40-0.45	0.429	3/7	14	5	0.425	3/7	14	6	0.429	3/7	21	9
0.45-0.50	0.472	1/2	18	7	0.478	1/2	17	7	0.472	1/2	13	5
0.50-0.60	0.543	5/9	28	11	0.554	5/9	21	9	0.543	5/9	26	11
0.60-0.70	0.654	2/3	35	13	0.665	2/3	14	6	0.654	2/3	17	7
0.70-0.80	0.725	3/4	20	8	0.743	3/4	14	6	0.725	3/4	21	9
0.80-0.90	0.850	6/7	16	6	0.843	6/7	10	4	0.850	6/7	11	5
0.90-1.00	0.944	1	11	4	0.955	1	1	1	0.944	1	8	3

The Examination in terms of the Number of Parcels per Enterprise of the Models

The situation in terms of the number of parcels per enterprise of the reallocation models applied in the area of application are shown in Table 6. According to Table 6, the number of enterprises which are a single parcel are 202 before reallocation. This number corresponds to 73.5%. After consolidation, while this number increase to 249, which corresponds to 90.60%, for interview-based reallocation model, this number increase to 256, which corresponds to 93.09%, for block priority-based reallocation model. Therefore, it can be said that block priority-based reallocation model is more successful according to interview-based reallocation model in terms of the number of parcels per enterprise.

CONCLUSION

When obtained reallocation results are evaluated in terms of the number of parcels, the average size of parcel and the average number of parcels per enterprise, it has been seen that block priority-based reallocation model gives more successful results. Interview-based reallocation model has had more successful according to block priority-based reallocation model in terms of the number of jointly owned parcels per enterprises. A lot of change in terms of the distance to the Neighborhood center of enterprise parcels hasn't seen in both models according to pre-land consolidation. Equally improvement increase in width / length ratios of parcels is observed in both models after land consolidation. If block priority-

based reallocation model can fulfill during the reallocation process that enterprises want to be in the same block with their relatives, more successful results can be obtained.

Table 6: The number of parcels per enterprise in the reallocation models

The Number of Parcels	Cadastral		Interview-Based Reallocation Model		Block Priority-Based Reallocation Model	
	The Number of Enterprises	%	The Number of Enterprises	%	The Number of Enterprises	%
1	202	73.50	249	90.60	256	93.09
2	40	14.60	19	6.90	17	6.18
3	17	6.20	6	2.20	2	0.73
4	8	2.90	1	0.30	-	-
5	5	1.80	-	-	-	-
6	2	0.70	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	1	0.30	-	-	-	-
TOTAL	275	100	275	100	275	100

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper has been prepared by benefiting from the inventions of the project whose number is 114Y608 which supported by TÜBİTAK.

REFERENCES

- Crecente, R., Alvarez, C., Fra, U., 2002, "Economic, Social and Environmental Impact of Land Consolidation in Galicia", *Land Use Policy*, Vol. 19, pp. 135–147.
- Çay, T., İşcan, F., Ayten, T., 2009, "Arazi Toplulaştırması Projelerinde Mülakat ve Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Modellerinin Karşılaştırılması", 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Trabzon-Turkey, pp. 418-427, 14-16 Ekim 2009.
- Ertunç, E., Çay, T., 2016, "Analysis of Different Reallocation Results in Land Consolidation Project", 6 th International Conference of Ecosystems (ICE 2016), Tirana-Albania, 03 - 06 June 2016.
- Gonzalez, X.P., Alvarez, C.J., Crecente, R., 2004, "Evaluation of Land Reallocations With Joint Regard to Plot Size and Shape", *Agricultural Systems*, Vol. 82, pp. 31–43.
- Kirmikil, M., 2010, *Sulama Proje Alanlarında Kırsal Aşan Geliştirilmesi İçin Arazi Toplulaştırması Rolünün GIS Destekli Analizi*, PhD Thesis, Uludağ University, Graduate School of Natural Sciences, Bursa-Turkey.
- Sonnenberg, J., 1996, "The European Dimensions and Land Management-Policy Issues (Land Readjustment and Land Consolidation As Tools For Development)", *Land Management in The Process of Transition*. FIG Commission 7, Budapest-Hungary.

- Temel, M., 2013, Kırsal alanların Korunarak Kalkınmasında ve Planlanmasında Bir Araç Olarak Arazi Toplulaştırması: Avrupa Birliği Türkiye Karşılaştırması, Master Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural Sciences, Ankara-Turkey.
- Van den Brink, A., 1999, "Sustainable Development and Land Consolidation", In: Dixon-Gough, R.W. (Ed.), Land Reform and Sustainable Development, Ashgate, Aldershot, pp. 61-68.
- Van Lier, H.N., 2000, "Land Use Planning and Land Consolidation in The Future in Europe", Zeitschrift Fu R Kulturtechnik Und Landentwicklung, Vol. 41 (3), pp. 138-144.

TREATMENT ALTERNATIVES FOR MICROPOLLUTANT REMOVAL IN WASTEWATER

¹Bilgehan NAS, ²Taylan DOLU, ³Havva ATEŞ, ⁴M.Emin ARGUN, ⁵Esra YEL

^{1,2,3,4,5}Selçuk University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Konya, TURKEY

¹bnas@selcuk.edu.tr, ²taylandolu@selcuk.edu.tr, ³havvaates@selcuk.edu.tr, ⁴argun@selcuk.edu.tr,
⁵etarlan@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 10.11.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 16.02.2017)

ABSTRACT: Present of micropollutants in aquatic environments has become an alarming environmental problem for both living creatures and environment. Micropollutants, also called as emerging contaminants arise from natural substances and increasing variety of anthropogenic events. Micropollutants consist of pharmaceuticals, personal care products, steroid hormones, industrial chemicals, pesticides, polyaromatic hydrocarbons and other recently seen compounds. These emerging contaminants are commonly found in very low concentration in different water bodies ranging from a few ng/l to several µg/l.

Many existing Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in all over the world are not especially designed for removing micropollutants. Low concentration and diversity of micropollutants complicate the detection and analysis procedures during the treatment processes. Furthermore, entering micropollutants to the WWTPs continuously and stable structure of many micropollutants make difficult to eliminate these emerging compounds sufficiently. Therefore, many micropollutants of unknown concentration pass to aquatic environment from WWTPs. The occurrence of micropollutants with a significant levels in aquatic environments disrupt the aquatic ecosystems with a number of adverse effects including short-term and long-term toxicity such as endocrine disrupting effects. Besides the known negative effects of micropollutants there are great number of micropollutants whose effects on living organisms are still unknown. As a result, removing these compounds is of a great importance both to protect environmental ecosystem and human health. Considering that the conventional methods are insufficient for removing the micropollutants other alternative treatment methods including coagulation-flocculation, activated carbon adsorption (powdered activated carbon and granular activated carbon), advanced oxidation processes (AOPs), membrane processes and membrane bioreactor can be applied for better removal.

In this study, alternative treatments methods and removal efficiencies of each treatment methods on different micropollutants were investigated and all alternative treatment methods were compared between each other in terms of micropollutant removal rates.

Key Words: *Micropollutants, Removal efficiency, Wastewater, Wastewater treatment plants.*

Atık Sularda Mikrokirletici Giderimi İçin Alternatif Arıtlar

ÖZ: Mikro kirleticilerin sucul ortamlarda bulunması hem canlılar hem de çevre için endişe verici bir çevre sorunu haline gelmiştir. Hızla ortaya çıkan/gelişen kirleticiler olarak da adlandırılan mikro kirleticiler doğal maddelerden ve giderek artan çeşitli antropojenik olaylardan meydana gelmektedir. Mikrokirleticiler farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, steroid hormonlar, endüstriyel kimyasallar, pestisitler, poliaromatik hidrokarbonlar ve son zamanlarda görülen diğer bileşiklerden oluşmaktadır. Bu kirleticiler farklı su kaynaklarında genellikle birkaç ng /L ile µg/ L arasında değişen çok düşük

konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Dünyadaki mevcut birçok Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) özellikle mikro kirleticileri gidermek için tasarlanmamıştır. Mikro kirleticilerin düşük konsantrasyonda bulunmaları ve çok çeşitli olmaları arıtma prosesleri boyunca belirleme ve analiz prosedürlerini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, mikro kirleticilerin AAT'lerine sürekli olarak gelmeleri ve birçok mikro kirleticinin kararlı yapıya sahip olması bu kirleticilerin yeteri kadar giderilmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple, mikro kirleticilerin birçoğu bilinmeyen konsantrasyonları ile beraber AAT'lerinden sucül çevrelere geçmektedir. Sucül ortamlarda ciddi seviyelerde mikro kirletici oluşumları kısa vadeli ve uzun vadeli toksisiteyi de içeren endokrin bozucu etkiler gibi bir dizi olumsuz etkiler ile beraber sucül ekosistemleri bozmaktadır. Olumsuz etkileri bilinen mikro kirleticilerin yanı sıra canlı organizmalar üzerindeki etkileri hala bilinmeyen çok sayıda mikro kirletici de vardır. Sonuç olarak bu kirleticilerin giderimi, hem çevresel ekosistemlerin hem de insan sağlığının korunması için büyük bir önem taşımaktadır. Mikro kirleticilerin gideriminde klasik yöntemlerin yetersiz olduğu göz önünde bulundurulursa daha iyi giderim verimleri için koagülasyon – flokülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu (toz aktif karbon ve granül aktif karbon), ileri oksidasyon prosesleri (İOP), membran prosesleri ve membran biyoreaktörü içeren diğer alternatif arıtma yöntemleri uygulanabilir.

Bu çalışmada; alternatif arıtma yöntemleri ve her bir arıtma yönteminin farklı mikro kirleticiler üzerindeki giderim verimleri araştırılarak, bütün alternatif arıtım yöntemleri mikro kirletici giderim verimleri bakımından birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Atık su, Atıksu arıtma tesisleri, Giderim verimi, Mikro kirleticiler

INTRODUCTION

Especially in recent years found in various water bodies in different places, micropollutants are contaminate of potential concern for both aquatic environment and human health. Continuously increasing concentration of these contaminants arise from natural substances and increasing variety of anthropogenic events. Also called as emerging compounds, micropollutants include pharmaceuticals, personal care products, steroid hormones, industrial chemicals, pesticides and polyaromatic hydrocarbons. Toxic properties and effects on living organisms of most micropollutants are still unknown. Therefore, removal of these contaminants become more of an issue.

Many existing Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in all over the world are not especially designed for removing micropollutants. Micropollutants may enter the receiving water bodies without the complete removal because of their different physical properties and stable structures. In addition to this, monitoring of micropollutants in different treatment units present in WWTPs and taking the necessary precautions for their removal in WWTPs are insufficient. (Bolong et al., 2009). As a consequence, present in water bodies, these emerging compounds pose risk especially drinking water industries and natural life. Micropollutants are associated with adverse events such as endocrine disrupting effects, short term and long term toxicities for different species and acquiring antibiotic resistance of microorganisms (Fent et al., 2006; Pruden et al., 2006).

There are very few discharge standards and discharge regulations present for micropollutants at the present time. Only some countries have made regulations for a small number of micropollutants. Arrangements made by the countries mostly about surfactants, industrial chemicals and pesticides. However, pharmaceuticals, personal care products and steroid hormones are not in the list. Toxicological effects of microorganisms and responses of species to micropollutants should be investigated in advanced level in order to set the right limits for varied types of micropollutant groups. Furthermore, in addition to singular effects of micropollutants scientists should carry out an experiment to gain insight about synergistic effects of micropollutants.

TREATMENT ALTERNATIVES FOR MICROPOLLUTANT REMOVAL

There is no specific treatment for complete removal of all micropollutant groups because of distinctive properties of them. Also, treatment processes can not eliminate both bulk substances and micropollutants together with a very high removal efficiencies. Treatment options used for micropollutants are coagulation–flocculation, activated carbon adsorption (PAC and GAC), ozonation and advanced oxidation processes (AOPs), membrane processes and membrane bioreactor (MBR).

Coagulation-flocculation

Coagulation–flocculation process generally used to remove colloids and some of the dissolved particulate matter. Table – 1 shows the removal efficiencies of some most studied micropollutants treated by coagulation–flocculation process.

Table 1. Removals of some micropollutants during coagulation–flocculation process (Suárez et al., 2009)

Coagulant	Dosage and pH	Compounds	Removal efficiency (%)
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Ibuprofen	12.0 ± 4.8
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Diclofenac	21.6 ± 19.4
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Naproxen	31.8 ± 10.2
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Carbamazepine	6.3 ± 15.9
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Sulfamethoxazole	6.0 ± 9.5
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Tonalide	83.4 ± 14.3
FeCl ₃ /Al ₂ (SO ₄) ₃	25,50 ppm and 7	Galaxolide	79.2 ± 9.9

In general, coagulation–flocculation processes are ineffective for eliminating the most of micropollutants. Matamoros and Salvadó (2013) evaluated the removal efficiencies of micropollutants in a coagulation/flocculation–lamellar clarifier. Maximum removal efficiency was found % 50. (Suárez et al., 2009) treated hospital wastewater by coagulation–flocculation and reported significant reduction (about % 80) of musks such as galaxolide and tonalide. Other removal efficiencies are 46 %, 42 %, 23 % respectively for diclofenac, naproxen and ibuprofen. Another study done by Asakura and Matsuto (2009) revealed that treating landfill leachate by coagulation and sedimentation was not able to remove bisphenol A but removal efficiencies of DEHP (70 %) and nonylphenol (90 %) were evaluated as pretty good.

Considering all of these, coagulation–flocculation processes provide a low removal efficiencies for most of micropollutants except for some musks and pharmaceuticals such as diclofenac and nonylphenol. This treatment technique also gives poor results for pesticides. Furthermore, neither coagulant dose nor operation temperature influence the pesticides removal efficiencies substantially (Thuy et al., 2008). Composition of wastewater treated by coagulation–flocculation processes influence the removal rates of micropollutants negatively or positively. For instance, wastewater having a high content of fat improve the removal efficiencies of hydrophobic compounds (Suárez et al., 2009). Besides, dissolved humic acid could increase the removal rates of pharmaceutical compounds such as diclofenac, ibuprofen and bezafibrate (Vieno et al., 2006). Conversely, present of dissolved organic matter in wastewater may inhibit the removal of micropollutants (Choi et al., 2008). Apart from all these, mixing conditions, pH, alkalinity and temperature also influence the performance of coagulation–flocculation (Alexander et al., 2012).

Activated carbon adsorption

Active carbon adsorption is generally used for taste and odor control especially in drinking water. Active carbon adsorption give better removal results in secondary effluent treatment. Compared with coagulation–flocculation process, this technique is more effective method for removing micropollutants

(Choi et al., 2008). Both powdered activated carbon (PAC) and granular activated carbon (GAC) have been commonly used in adsorption applications. In these processes, removal efficiencies may vary based on properties of both used adsorbate and adsorbent (Kovalova et al., 2013).

Powdered activated carbon (PAC)

Powdered activated carbon (PAC) is considered as an effective adsorbent for treating resistant and non-biodegradable organic compounds. Advantages of using PAC is that continuously provide fresh carbon and can be used in certain circumstances when the concentration's of contaminants rise in water bodies (Snyder et al., 2007). Study done by Kovalova et al. (2013), PAC treatment was used to evaluate removal efficiencies of micropollutants in MBR treated hospital wastewater. In this study retention time was chosen as 2 days and PAC dosages were also selected as 8, 23 and 43 mg/L. According to the results PAC reactor reached substantial removal efficiencies especially for pharmaceuticals, metabolites and industrial chemicals. The elimination rate of total load was found around 86 %. Hernández-Leal et al. (2011) conducted batch tests and determined high removal rates (> 94 %) for personal care products, bisphenol A and nonylphenol.

PAC reactors used for removing the micropollutants depends on many factors like PAC dosage, contact time, physical properties of targeted compounds and composition of wastewater (Boehler et al., 2012; Snyder et al., 2007). Westerhoff et al. (2005) found in their study that higher PAC dosages (20 mg/L) improve the removal efficiencies of micropollutants regardless of micropollutant's initial concentration. Addition of PAC in WWTPs seems an effective method for enhancing the removal rates of micropollutants (Bolong et al., 2009).

Granular activated carbon (GAC)

Rossner et al. (2009) asserted that granular active carbon (GAC) dose (<10 mg/L) used for controlling the odor and taste in drinking water is sufficient for treatment of various compound up to efficient removal rates of 99 % in lake water. Removal efficiencies of steroidal estrogens and pharmaceuticals were determined in a full-scale granular activated carbon plant treating WWTP's effluent. Higher elimination rates achieved for steroidal estrogens but elimination rates for pharmaceuticals were evaluated in low levels. Removal efficiencies of mebeverine, indomethacine, and diclofenac ranged in 84 – 99 %. However, removal efficiencies of carbamazepine and propranolol ranged only 17 – 23 % (Grover et al., 2011).

Similar to PAC, contact time of process influence the efficacy of GAC. Low contact time reduce the adsorption performance of GAC reactor significantly. In general, removal of compounds depends upon interactions between particle and contaminant and pore blocking (Bolong et al., 2009). Therefore, treating highly contaminated wastewater by GAC gives poor results.

As a whole, such studies show that GAC and PAC processes can be considered as effective methods in the matter of removing micropollutants. In general, higher elimination rates of micropollutants can be provided by non-polar characteristics of targeted compounds and high compliance of pore size with shape of contaminants (Rossner et al., 2009; Verlicchi et al., 2010). Nevertheless, blocking of pores due to existing natural organic matter (NOM) reduces the active carbon efficiency.

Table 2. Removals of some micropollutants during adsorption process (Kovalova et al., 2013; Grover et al., 2011)

Adsorbent	Dosage	Compounds	Removal efficiency (%)
PAC	8, 23, 43 mg/L	Diclofenac	96, 98, 99
PAC	8, 23, 43 mg/L	Carbamazepine	98, 99, 100
PAC	8, 23, 43 mg/L	Propranolol	>91, >94, >94
PAC	8, 23, 43 mg/L	Sulfamethoxazole	2, 33, 62
GAC	Full scale	Diclofenac	>98
GAC	Full scale	Carbamazepine	23
GAC	Full scale	Propranolol	17
GAC	Full scale	Estrone	64
GAC	Full scale	17 β -Estradiol	>43
GAC	Full scale	17 α -Ethinylestradiol	>43

Ozonation and advanced oxidation processes (AOPs)

Conventional physicochemical and biological treatments are not efficient for removing most varied micropollutants because of persistent structure of micropollutants. In such circumstances, ozonation and advanced oxidation processes (AOPs) can be considered as a solution. Having a high degradation rates, this technology is not selective for contaminants to remove them. Besides, these processes have a disinfecting effect for reuse of water (Hernández-Leal et al., 2011). Ozone degrades the contaminants directly or indirectly but mainly by the production of hydroxyl radicals (\bullet OH) which are stronger and less selective for emerging compounds. Some of the micropollutants are sensitive to both ozone and AOPs such as naproxen but some of them are only sensitive to hydroxyl radicals like atrazine. Nonetheless, some of them like TCEP and TCP are resistant to both ozonation and forms of oxidation (Gerrity et al., 2011). Present of H_2O_2 , fenton reagent and ultraviolet may promote the production of hydroxyl radicals.

Ozonation is a promising method for removing micropollutants in a full scale WWTPs (Hollender et al., 2009). Hernández-Leal et al. (2011) investigated the elimination rates of micropollutants in biologically treated grey water by ozonation with a ozone dose of 5 mg/L. In general, all micropollutants selected treated substantial levels. Under the same conditions with the only difference ozone dose of 5 mg/L showed higher removal efficiencies for most of micropollutants (Sui et al., 2010). Especially removal rates of carbamazepine, diclofenac, indomethacin, sulphiride and trimethoprim exceeded 95 %. However, removal rate of bezafibrate was evaluated only 14 % because of bezafibrate's stable molecular structure. (Kim et al., 2009) compared the removal efficiencies of pharmaceutical compounds using UV process alone and using both UV and H_2O_2 together. The results show that UV process alone only achieved high removal rates (>90 %) for ketoprofen, diclofenac and antipyrine but elimination rates for macrolides ranged between 24 – 34 %. Other study demonstrated that UV and H_2O_2 together achieved much higher efficiencies for most of micropollutants. Besides, it is found that under the same conditions when UV applied to fenton process total removal rates increased. In addition to this, present of dissolved organic matter in wastewater promotes the elimination rates of micropollutants.

Oxidation processes can not provide a complete mineralization of these emerging compound so by-products and metabolites arised from these reactions (Hollender et al., 2009; Reungoat et al., 2011). Activated carbon filtration or sand filtration may be applied to reduce these undesirable compounds.

Table 3. Removals of some micropollutants during ozonation and AOPs (Luo et al., 2014)

Treatment (Dose)	Compounds	Removal efficiency (%)
O ₃ (5 mg/L)	Carbamazepine	>90
O ₃ (5 mg/L)	Diclofenac	>90
O ₃ (5 mg/L)	Metoprolol	80 – 90
O ₃ (5 mg/L)	Bezafibrate	0 – 50
O ₃ (5 mg/L)	Trimethoprim	>90
O ₃ (5 mg/L)	DEET	50 – 80
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Ibuprofen	83
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Diclofenac	>99
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Carbamazepine	>99
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Sulfamethoxazole	98
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Triclosan	>99
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Bisphenol A	>78
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Estradiol	>83
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Estrone	>98
O ₃ (5 mg/L) + H ₂ O ₂ (3.5 mg/L)	Atrazine	69

Membrane processes

Generally, elimination of micropollutants by membrane processes achieved by adsorption onto membrane, size of pores and charge repulsion. Removal efficiencies of membrane processes largely depends on type of membrane process, characteristics of membrane, blocking of membrane pores, operating conditions and properties of selected micropollutants (Schäfer *vd.*, 2011).

Although microfiltration (MF) and ultrafiltration (UF) are highly effective processes for eliminating the turbidity, they are insufficient in removing micropollutants because of micropollutant's molecular sizes. However, micropollutants can be removed via interaction with natural organic matter (NOM) or adsorption onto membrane polymers. Jermann *et al.* (2009) investigated the removal efficiencies of ibuprofen and estradiol by UF without existing the NOM. In hydrophilic UF membrane, elimination rate of ibuprofen and estradiol were found negligible and 8 % respectively. However in hydrophobic membrane, removal efficiencies of ibuprofen and estradiol increased up to around 25 % and 80 % respectively. Generally, MF and UF processes are not used alone in elimination of micropollutants because of their poor performance. Therefore, these processes should be combined with other treatment methods such as nanofiltration (NF) or reverse osmosis (RO). Garcia *et al.* (2013) combined the MF and RO processes in order to remove micropollutants for reuse of domestic wastewater. For example, DEHP was removed up to 50 % with only microfiltration treatment. However, combined system of MF and RO improved the elimination rates of micropollutants. Removal efficiencies of micropollutants ranged between 65 % and 90 % except ibuprofen and nonylphenol. In other study, combined system of MF and RO also showed a significant removal efficiencies (>95 %) for most micropollutants except mefenamic acid and caffeine (Sui *et al.*, 2010).

Reverse osmosis has a great potential for almost complete removal of micropollutants. Yangali-Quintanilla *et al.* (2011) compared the treatment performance of nanofiltration and reverse osmosis for pharmaceuticals, pesticides, endocrine disruptors. Elimination rates of micropollutants achieved by NF was similar to RO's results. Removal efficiencies for neutral contaminants and ionic contaminants treated by NF were evaluated as 82 % and 97 % respectively. The removal efficiencies of the same contaminants treated by RO were found as 85 % and 99 % respectively.

Table 4. Removals of some micropollutants during membrane processes (Jermann et al., 2009; Yangali-Quintanilla et al., 2011)

Membrane	Water type	Membrane type	Compounds	Removal efficiency (%)
UF	Synthetic water	PES flat-sheet	Ibuprofen	7
UF	Synthetic water	RC4 flat-sheet	Ibuprofen	Negligible
UF	Synthetic water	PES flat-sheet	Estradiol	Up to 80
UF	Synthetic water	RC4 flat-sheet	Estradiol	Up to 25
RO	Secondary effluent	Filmtec TW30	Ibuprofen	>99
RO	Secondary effluent	Filmtec TW30	Sulfonamides	>93
RO	Secondary effluent	Filmtec TW30	Diclofenac	95
RO	Secondary effluent	Filmtec TW30	Macrolides	>99
RO	Secondary effluent	Filmtec TW30	Bisphenol A	>99

Membrane bioreactor (MBR)

Membrane bioreactor (MBR) processes combine the activated sludge biological treatment and membrane filtration (MF or NF). There are many advantages of using this technology compared with conventional WWTPs. These advantages includes higher effluent quality, higher biomass concentration, accurate control of SRTs, less space requirement, minimum rising sludge problem and transforming flexibility of present WWTPs to MBR systems (Ngo et al., 2012). MBR technique has a great potential to remove a wide variety of micropollutants including emerging compounds resistant to activated sludge processes (Radjenovic et al., 2009). Elimination of micropollutants by MBR treatment mainly depends on SRT, concentration, contents of wastewater, pH, conductivity and operating temperature (Kovalova et al., 2012).

(Trinh et al., 2012) investigated the removal efficiencies of micropollutants in a full scale MBR process. Higher elimination rates (>90 %) were found most of the micropollutants. However, removal efficiencies of amitriptyline, carbamazepine, diazepam, diclofenac, fluoxetine, gemfibrozil, omeprazole, sulfamethoxazole and trimethoprim ranged between 24 – 68 %. These compounds can be considered as indicator because of their low removal rates in MBR treatment. Main source of pharmaceuticals is waste/wastewater arised from hospitals (Verlicchi et al., 2010). (Kovalova et al., 2012) investigated the fate of micropollutants in MBR process treating hospital effluent. Hence, composition of wastewater mainly comprising of iodinated contrast media total removal rates of pharmaceuticals and metabolites were evaluated as only 22 %. But, the total reduction would be up to 90 % if these content were neglected. (Beier et al., 2011) suggested that hospital effluents could be treated efficiently in a case of maintaining a very high sludge age (>100 days) in MBR systems especially designed for treating hospital effluent.

Conventional activated sludge processes and MBR technology usually compared with each other in terms of eliminating micropollutants. (Radjenovic et al., 2007) compared the treatment performance of laboratory scale MBR process and conventional activated sludge in terms of eliminating pharmaceuticals. Both two system treated naproxen, ibuprofen, acetaminophen, hydrochlorothiazide, and paroxetine in high levels. Nevertheless, the result showed that MBR system were relatively stable for eliminating various micropollutants and treated most micropollutants slightly higher than conventional activated sludge process.

Like other treatment technologies, MBR processes also influenced by a number of factors such as SRT, HRT and operating temperature. In general, MBR systems operated at high sludge age provide higher removal efficiency for micropollutants due to present of diverse microorganisms in wastewater (Roh et al., 2009).

Table 5. Removals of some micropollutants during MBR processes (Trinh et al., 2012; Beier et al., 2011)

Water type	Membrane type	Compounds	Removal efficiency (%)
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Ibuprofen	~100
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Diclofenac	43
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Carbamazepine	24
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Sulfamethoxazole	60
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Trimethoprim	30
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Estrone	~100
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	Estriol	~100
Raw wastewater	Full-scale hollow fiber	BisphenolA	~100
Hospital effluent	Full-scale flat sheet	Ibuprofen	>80
Hospital effluent	Full-scale flat sheet	Carbamazepine	<20
Hospital effluent	Full-scale flat sheet	Diclofenac	<20

RESULT AND DISCUSSION

Nowadays, micropollutants are often detected in important drinking water sources, lakes, rivers, groundwaters and wastewaters. Existing of micropollutants in higher concentration in various water bodies in different parts of world threatens both human health and aquatic ecosystem seriously.

Hence WWTPs are not able to provide a complete elimination for micropollutants it is necessary to use the appropriate treatment processes to reduce the ecotoxicological effects of micropollutants on living organisms. Most of existing conventional WWTP's removal performance of micropollutants are ineffective because of being in a low concentration of micropollutants in wastewater and diverse physicochemical properties of micropollutants. Especially, micropollutants having polar molecular structure and which are nonbiodegradable generally pass from WWTPs to receiving water body without sufficient treatment rates. Therefore, optimization and upgrading of current treatment processes in WWTPs is crucial to reduce loading rates of micropollutants.

Besides the conventional treatment processes coagulation–flocculation, activated carbon adsorption (powdered activated carbon and granular activated carbon), advanced oxidation processes (AOPs), membrane processes and membrane bioreactor also used for elimination of micropollutants. Among these treatment techniques, advanced oxidation processes and membrane systems come to the forefront. Although these treatment processes are very efficient in removing micropollutants they have also disadvantages such as causing production of new by-products and metabolites and higher operating costs. Both providing complete elimination of micropollutants and preventing the occurrence of by-products and other contaminants, combined treatments should be preferred.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by TÜBİTAK project (115Y167).

REFERENCES

- Alexander, J.T., Hai, F.I., Al-aboud, T.M., 2012, "Chemical Coagulation-Based Processes for Trace Organic Contaminant Removal: Current State And Future Potential" *Journal of Environmental Management*, Vol. 111, pp. 195–207.
- Asakura, H., Matsuto T., 2009, " Experimental Study of Behavior of Endocrine-Disrupting Chemicals in Leachate Treatment Process and Evaluation of Removal Efficiency", *Waste Management*, Vol. 29, pp.1852–1859.

- Beier, S., Cramer, C., Koster, S., Mauer, C., Palmowski, L., Schroder, H., et al., 2011, "Full Scale Membrane Bioreactor Treatment of Hospital Wastewater as Forerunner for Hot-spot Wastewater Treatment Solutions in High Density Urban Areas", *Water Science and Technology*, Vol. 63 (1), pp. 66–71.
- Boehler, M., Zwickenpflug, B., Hollender, J., Ternes, T., Joss, A., Siegrist, H., 2012, "Removal of Micropollutants in Municipal Wastewater Treatment Plants by Powder-Activated Carbon", *Water Science and Technology* Vol., 66, pp. 2115–2121.
- Bolong, N., Ismail, A.F., Salim, M.R., Matsuura, T., 2009, "A Review of The Effects of Emerging Contaminants in Wastewater and Options for Their Removal", *Desalination*, Vol. 239, pp. 229–46.
- Choi, K.J., Kim S.G., Kim S.H., 2008, "Removal of Antibiotics by Coagulation and Granular Activated Carbon Filtration", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 151, pp. 38–43.
- Fent, K., Weston, A.A, Carminada, D., 2006, "Ecotoxicology of Human Pharmaceuticals", *Aquatic Toxicology*, Vol. 76 (2), pp. 122–159.
- Garcia, N., Moreno, J., Cartmell, E., Rodriguez-Roda, I., Judd, S., 2013, "The Application of Microfiltration-Reverse Osmosis/Nanofiltration to Trace Organics Removal for Municipal Wastewater Reuse" *Environmental Technology*, Vol. 34 (24), pp. 3183–3189.
- Gerrity, D., Gamage, S., Holady, J.C., Mawhinney, D.B., Quinones, O., Trenholm, R.A., et al., 2011, "Pilot-scale Evaluation of Ozone and Biological Activated Carbon for Trace Organic Contaminant Mitigation and Disinfection", *Water Research*, Vol. 45 (5), pp. 2155–2165.
- Grover, D.P., Zhou, J.L., Frickers, P.E., Readman, J.W., 2011, "Improved Removal of Estrogenic and Pharmaceutical Compounds in Sewage Effluent by Full Scale Granular Activated Carbon: Impact on Receiving River Water", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 185 (2), pp. 1005–1011.
- Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., 2011, "Removal of Micropollutants from Aerobically Treated Grey Water via Ozone and Activated Carbon", *Water Research*, Vol. 45 (9), pp. 2887–2896.
- Hollender, J., Zimmermann, S.G., Koepke, S., Krauss, M., McArdell, C.S., Ort, C., et al., 2009, "Elimination of Organic Micropollutants in a Municipal Wastewater Treatment Plant Upgraded with a Full-scale Post-ozonation Followed by Sand Filtration", *Environmental Science & Technology*, Vol. 43 (20), pp. 7862–7869.
- Jermann, D., Pronk, W., Boller, M., Schäfer, A.I., 2009, "The Role of NOM Fouling for The Retention of Estradiol and Ibuprofen During Ultrafiltration", *Journal of Membrane Science*, Vol. 329, pp. 75–84.
- Kim, I., Yamashita, N., Tanaka, H., 2009, "Performance of UV and UV/H₂O₂ Processes for The Removal of Pharmaceuticals Detected in Secondary Effluent of a Sewage Treatment Plant in Japan", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 166 (2), pp. 1134–1140.
- Kovalova, L., Siegrist, H., Singer, H., Wittmer, A., McArdell, C.S., 2012, "Hospital Wastewater Treatment by Membrane Bioreactor: Performance and Efficiency for Organic Micropollutant Elimination", *Environmental Science & Technology*, Vol. 46 (3), pp. 1536–1545.
- Kovalova, L., Siegrist, H., von Gunten, U., Eugster, J., Hagenbuch, M., Wittmer, A., et al., 2013, "Elimination of Micropollutants During Post-Treatment of Hospital Wastewater with Powdered Activated Carbon, Ozone, and UV", *Environmental Science & Technology*, Vol. 47 (149), pp. 7899–7908.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Zhang, J., Liang, S., Wang Xiaochang C., 2014, "A Review on The Occurrence of Micropollutants in The Aquatic Environment and Their Fate and Removal During Wastewater Treatment", *Science of the Total Environment*, Vol. 473–474, pp. 619–641.
- Matamoros, V., Salvadó, V., 2013, "Evaluation of a Coagulation/flocculation-lamellar Clarifier and Filtration-UV-chlorination Reactor for Removing Emerging Contaminants at Full-scale

- Wastewater Treatment Plants in Spain", *Journal of Environmental Management*, Vol. 117, pp. 96–102.
- Ngo, H., Guo, W., Vigneswaran, S., Chapter 8: Membrane Processes For Water Reclamation and Reuse. In: Zhang, T.C., Surampalli, R.Y., Vigneswaran, S., Tyagi, R.D., Ong, S.L., Kao, C.M., editors. 2012, "Membrane Technology and Environmental Applications", USA: American Society of Civil Engineers (ASCE). pp. 239–75.
- Pruden, A., Pei, R., Storteboom, H., Carlson, K.H., 2006, "Antibiotic Resistance Genes as Emerging Contaminants: Studies in Northern Colorado", *Environmental Science & Technology*, Vol. 40 (23), pp. 7445–7450.
- Radjenovic, J., Petrovic, M., Barceló, D., 2009, "Fate and Distribution of Pharmaceuticals in Waste-Water and Sewage Sludge of The Conventional Activated Sludge (CAS) and Advanced Membrane Bioreactor (MBR) Treatment", *Water Research*, Vol. 43 (3), pp. 831–841.
- Radjenovic, J., Petrovic, M., Barceló, D., 2007, "Analysis of Pharmaceuticals in Wastewater and Removal Using a Membrane Bioreactor", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vol. 387 (4), pp. 1365–1377.
- Reungoat, J., Escher, B.I., Macova, M., Keller, J., 2011, "Biofiltration of Wastewater Treatment Plant Effluent: Effective Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products and Reduction of Toxicity", *Water Research*, Vol. 45 (9), pp. 2751–2762.
- Roh, H., Subramanya, N., Zhao, F., Yu, C.P., Sandt, J., Chu, K-H., 2009, "Biodegradation Potential of Wastewater Micropollutants by Ammonia-Oxidizing Bacteria", *Chemosphere*, Vol. 77 (8), pp. 1084–1089.
- Rossner, A., Snyder, S.A., Knappe, D.R.U., 2009, "Removal of Emerging Contaminants of Concern by Alternative Adsorbents", *Water Research*, 43 (15), pp. 3787–3796.
- Schäfer, A.I., Akanyeti, I., Semião, A.J.C., 2011, "Micropollutant Sorption to Membrane Polymers: a Review of Mechanisms for Estrogens", *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 164, pp. 100–117.
- Snyder, S.A., Adham, S., Redding, A.M., Cannon, F.S., DeCarolis, J., Oppenheimer, J., et al., 2007, "Role of Membranes and Activated Carbon in The Removal of Endocrine Disruptors and Pharmaceuticals", *Desalination*, Vol. 202, pp. 156–181.
- Suárez, S., Lema, J.M., Omil, F., 2009, "Pre-treatment of Hospital Wastewater by Coagulation–Flocculation and Flotation", *Bioresource Technology*, Vol. 100 (7), pp. 2138–2146.
- Sui, Q., Huang, J., Deng, S., Yu, G., Fan, Q., 2010, "Occurrence and Removal of Pharmaceuticals, Caffeine and DEET in Wastewater Treatment Plants of Beijing, China", *Water Research*, Vol. 44 (2), pp. 417–426.
- Thuy, P.T., Moons, K., Van Dijk, J.C., Viet Anh, N., Van der Bruggen, B., 2008, "To What Extent are Pesticides Removed from Surface Water During Coagulation–Flocculation", *Water and Environment Journal*, Vol. 22 (3), pp. 217–223.
- Trinh, T., van den Akker, B., Stuetz, R.M., Coleman, H.M., Le-Clech, P., Khan, S.J., 2012, "Removal of trace organic chemical contaminants by a membrane bioreactor", *Water Science and Technology*, Vol. 66 (9), pp. 1856–1863.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., Barceló, D., 2010, "Hospital Effluents as a Source of Emerging Pollutants: an Overview of Micropollutants and Sustainable Treatment Options", *Journal of Hydrology*, Vol. 389 (3), pp. 416–428.
- Vieno, N., Tuhkanen, T., Kronberg, L., 2006, "Removal of Pharmaceuticals in Drinking Water Treatment: Effect of Chemical Coagulation", *Environmental Technology*, Vol. 27 (2), pp. 183–192.
- Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S., Wert, E., 2005, "Fate of Endocrine-disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals During Simulated Drinking Water Treatment Processes", *Environmental Science & Technology*, Vol. 39 (17), pp. 6649–6663.

Yangali-Quintanilla, V., Maeng, S.K., Fujioka, T., Kennedy, M., Li, Z., Amy, G., 2011, "Nanofiltration vs. Reverse Osmosis for The Removal of Emerging Organic Contaminants in Water Reuse", *Desalination and Water Treatment*, Vol. 34, pp. 50-56.

PMN-PT-PMS SERAMİKLERİNDE SİNERLEME SICAKLIĞI ETKİSİYLE YAPISAL VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİN OPTİMİZASYONU

¹Osman DÜZEN, ²Volkan KALEM

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya/TÜRKİYE
¹osmanduzen@windowslive.com, ²vkalem@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 29.12.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.02.2017)

ÖZ: PMS [$\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3$] ile katılanmış PMN-PT [$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$] üçlü piezoelektrik seramikleri (PMN-PT-PMS) 1100–1250 °C aralığında farklı sinterleme sıcaklıklarının kullanıldığı katı-hal reaksiyon yöntemi ile üretilmiştir. Sinterleme sıcaklığının kristal fazlar, mikroyapı ve elektriksel özellikler üzerindeki etkisi sistematik olarak incelenmiştir. Mikroyapı ve kompozisyon analizleri taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve X-ışınları kırınımı (XRD) ile, elektriksel karakterizasyon ise indüktans-kapasitans-direnç ölçer (LCR metre), empedans analizörü ve Berlincourt d_{33} -piezometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD ve SEM sonuçları, saf perovskit yapının ve homojen bir mikroyapının elde edilmesinde sinterleme sıcaklığının etkili olduğunu ortaya koymuştur. 1150 °C ve altındaki sinterleme sıcaklıklarında yoğunlaşma yetersiz olmakta ve saf perovskit yapı elde edilememekte, 1200 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise kurşun oksitinin uçuculuğu nedeniyle heterojen bir mikroyapı oluşmaktadır. Uygun sinterleme sıcaklığında elde edilen yüksek yoğunluk ve homojen mikroyapı; PMN-PT-PMS seramiklerinin yüksek piezoelektrik ve dielektrik davranış sergilemesini sağlamaktadır. Deneysel sonuçlar, 1175 °C'de 2 saat süre ile sinterlenmiş numunelerin optimum elektriksel özellikler ($d_{33}=265$ pC/N, $K^T=4745$, $k_p=0,417$, $\tan\delta=2,5\%$ ve $Q_m=222$) sergilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Piezoelektrik özellikler, Sinterleme, PMN-PT, PMS

Optimizing Structural and Electrical Properties of PMN-PT-PMS Ceramics via Sintering Temperature

ABSTRACT: Pseudo-ternary piezoelectric ceramics of PMN-PT [$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$] composition modified with PMS [$\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3$] were produced by solid-state sintering method using different temperatures in a range of 1100-1250 °C. The effect of sintering temperature on the crystal phases, microstructure and electrical properties were systematically investigated. Microstructural and compositional analyses have been carried out using scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (XRD). Besides, electrical characterization was performed using an inductance-capacitance-resistance (LCR) meter, impedance analyzer and a Berlincourt d_{33} -piezometer. XRD and SEM results indicated that the sintering temperature was effective on the formation of a homogeneous microstructure and a pure perovskite structure. Densification during sintering could not be completed and pure perovskite structure was not obtained at 1150 °C and lower sintering temperatures. Furthermore, sintering at temperatures higher than 1200 °C resulted in heterogeneous microstructure. The high dielectric and piezoelectric response of PMN-PT-PMS ceramics is considered to be a result of their high densities and homogeneous microstructure obtained via proper sintering condition. The results showed that the ceramic samples sintered at 1175 °C for 2 h possessed the optimum properties ($d_{33}=265$ pC/N, $K^T=4745$, $k_p=0.417$, $\tan\delta=2.5\%$, $Q_m=222$).

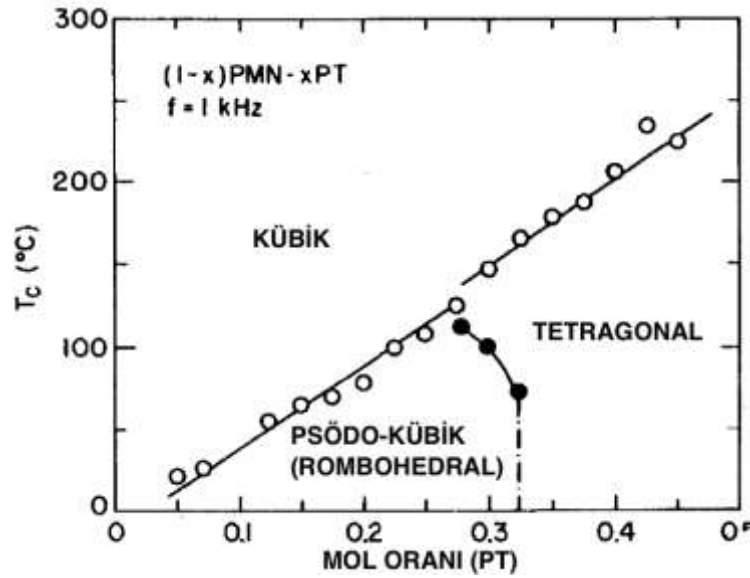
Key words: Piezoelectric properties, Sintering, PMN-PT, PMS

GİRİŞ (INTRODUCTION)

İleri seramik malzemelerin bir grubu olan elektronik seramikler, 20. yüzyıldan itibaren dielektrik sabiti yüksek materyallerin keşfedilmesiyle birlikte birçok uygulama için kullanılmaya başlanmıştır. Elektro-seramik malzemelere dâhil olan piezoelektrik seramikler ise sahip oldukları farklı fonksiyonel özellikleri sayesinde sualtı görüntüleme, haberleşme ve medikal görüntüleme cihazları gibi önem arz eden birçok uygulamada tercih edilmektedirler (Carter ve Norton, 2007).

Düşük sinterleme sıcaklıklarına (<1000 °C) ve Curie sıcaklığında (T_c) yüksek dielektrik özelliğe sahip relaksör $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (PMN), iyi voltaj kararlılığı gösteren ferroelektrik bir malzemedir. Ancak bu malzemenin Curie sıcaklığının -15 °C civarında olması kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (Swartz ve Shrout, 1982). Normal ferroelektrik özelliğe sahip ve Curie sıcaklığı yüksek (~ 490 °C) $PbTiO_3$ (PT) ilavesi ile PMN'nin faz değişim sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşmakta ve böylelikle kullanım alanları artmaktadır.

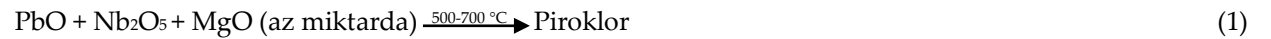
Perovskit kristal yapısına sahip (1-x)PMN-(x)PT çözeltisi, Şekil.1'deki faz diyagramında gösterildiği üzere oda sıcaklığında yaklaşık x=0.325 değerinde rombohedral ve tetragonal fazları birbirinden ayıran bir morfotropik faz sınırı (MFS) oluşturmaktadır. Bu sınıra yakın kompozisyonlara sahip malzeme; optimum dielektrik, ferroelektrik ve piezoelektrik özellikler sergiler (Choi ve diğ., 1989).



Şekil 1. PMN-PT sistemine ait faz diyagramı (Choi ve diğ., 1989)

Figure 1. Phase diagram of PMN-PT system

Diğer ferroelektrik seramiklerin aksine, kurşun ve niyobyumu bir arada içeren PMN-PT gibi kompozisyonlar, geleneksel oksit hammadde karışımının kalsinasyonu ile perovskit yapıda kolaylıkla elde edilemez. PMN üretimi için kullanılan kalsinasyon işlemi esnasında gerçekleşen ve literatürde belirtilen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Inada, 1977; Bouquin ve diğ., 1991);



Gerçekleşen bu reaksiyonlardan; 2 no.lu reaksiyon tam olarak denk olmadığı için istenmeyen piroklor fazı, perovskit fazına tamamıyla dönüşmemektedir. Perovskit fazda Pb/Nb oranı 1.5 iken, piroklor fazda bu oran genellikle 1.5'tan daha azdır (Guha, 1999; Shrouf ve Swartz, 1983; Wakiya ve diğ. 1993; Wakiya ve diğ. 1994). Reaksiyon sonucu elde edilen ürün, perovskit ve piroklor fazlarının karışımıdır. Oldukça düşük Curie sıcaklığı ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve düşük dielektrik sabitine sahip olan piroklor fazı, içerisinde bulunduğu bütün ferroelektrik seramiklerin dielektrik ve elektromekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Taşpınar, 1997; Bouquin ve diğ., 1991).

Morfotropik faz sınırına yakın $(1-x)\text{PMN}-(x)\text{PT}$ ($x=0.30-0.40$) piezoelektrik seramikleri, her ne kadar yüksek piezoelektrik ve dielektrik parametrelere sahip olsalar da dielektrik ve mekanik kayıpları oldukça yüksek ve mekanik kalite faktörleri (Q_m) ise düşüktür. Geçtiğimiz yıllarda, PMN-PT piezoelektrik seramik malzemelerinin hem bu özelliklerini iyileştirmek hem de istenmeyen piroklor fazının oluşumunun engellenmesi ve saf perovskit yapının elde edilebilmesi için bu malzemelere çeşitli katkılama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Bu katkı maddelerine bir örnek $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMS)'dir. Daha önce yapılan çalışmalarda, PMS katkısının PMN-PT piezoelektrik seramiklerinin dielektrik sabiti (K^T) ve mekanik kalite faktörü gibi özelliklerini arttırdığı tespit edilmiştir (Takahashi ve diğ., 1996).

Takahashi ve diğ., 1998'de yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise PMN-PT-PMS'in yoğunluk ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Çizelge 1'de bu çalışmaya ait her bir kompozisyon için yoğunluk (ρ), dielektrik sabiti (K^T), piezoelektrik sabiti (d_{31}) ve mekanik kalite faktörü (Q_m) verilmiştir. 0.62PMN-0.38PT numunesi, yüksek d_{31} ve düşük Q_m değerlerine sahip olduğundan dolayı 'yumuşak' seramik malzeme; 0.57PMN-0.38PT-0.05PMS numunesi düşük d_{31} ve yüksek Q_m özellikler gösterdiğinden dolayı 'sert' seramik malzeme olarak tanımlanmıştır. 0.6625PMN-0.325PT-0.0125PMS numunesinin ise bu iki malzeme arasında bir özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Takahashi ve diğ., 1998).

Çizelge 1. Farklı kompozisyonlardaki PMN-PT-PMS seramiklerinin özellikleri (Takahashi ve diğ., 1998)

Table 1. Properties of PMN-PT-PMS ceramics with different compositions

Kompozisyon	ρ (gr/cm ³)	K^T	d_{31} (pC/N)	Q_m
0,62PMN-0,38PT	7,95	2930	-150	90
0,6625PMN-0,325PT-0,0125PMS	7,91	2780	-146	440
0,57PMN-0,38PT-0,05PMS	7,98	2260	-109	725

Daha önce Aydın (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ise; PMN-PT oranı, MFS civarındaki 67/33 değerinde sabitlenmiş kompozisyonlara, PMS katkısının etkisi incelenmiştir. Söz konusu çalışma sonucunda molce %6 PMS katkılı 67PMN-33PT seramiklerinin optimum dielektrik ve piezoelektrik özellikler ($d_{33}=255\text{ pC/N}$, $K^T=4652$, $k_p=0,422$, $Q_m=210$, $\tan\delta=2,6$ ve $T_c=146\text{ }^{\circ}\text{C}$) sergilediği belirlenmiştir.

Katkılama işleminin yanında sinterleme sıcaklığının da hem kurşun-esaslı hem de kurşunsuz piezoelektrik kompozisyonlarında yapısal ve elektriksel özellikler üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Özellikle potasyum, sodyum, kurşun ve bizmut gibi uçucu elementler içeren kompozisyonlarda bu etki daha büyüktür. Bu tip seramiklerin, klasik sinterleme yöntemi ile yüksek sinterleme sıcaklıkları kullanılarak yüksek yoğunluk ve iyi sinterlenmiş numuneler elde edilmeleri zordur (Zhu ve diğ., 2016; Liu ve diğ., 2008; Naceur ve diğ., 2014; Ketsuwan ve diğ., 2007).

Bu çalışmada sinterleme sıcaklığının etkisini incelemek amacıyla molce %6 PMS katkılı 67PMN-33PT piezoelektrik seramikleri 1100-1250 $^{\circ}\text{C}$ aralığında farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Yüksek yoğunluklu ve perovskit yapıda numuneler elde edebilmek amacıyla ekstra MgO kullanımı ve tek kalsinasyon adımı tercih edilmiştir. Bu yöntemin piroklor fazının oluşumunu başarılı bir şekilde engellediği daha önce Aydın ve Kalem (2016) tarafından yapılan çalışmada ortaya koyulmuştur.

Sinterleme sıcaklığı ile mikroyapı, fiziksel ve elektriksel özellikler arasındaki ilişkinin ortaya koyulması amacıyla elde edilen tüm numuneler yapısal ve elektriksel özellikler açısından karakterize edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Seramik Tozlarının Üretimi (Preparation of Ceramic Powders)

Bu çalışma kapsamında toz metalurjisi üretim yöntemlerinden katı-hal sentezleme metodu kullanılarak çok kristalli PMN-PT-PMS piezoelektrik seramik numuneleri üretilmiştir. Yapıda istenilmeyen piroklor fazlarının oluşumunu engellemek için kompozisyona fazladan MgO ilavesi yapılmıştır. Kullanılan hammaddeler; PbO (%99.9, -325 meş, Alfa Aesar), MgO (%99, -325 meş, Sigma-Aldrich), Nb₂O₅ (%99.5, -100 meş, Alfa Aesar), TiO₂ (%99, -325 meş, Sigma-Aldrich), MnO (%99, Sigma-Aldrich) ve Sb₂O₃ (%99, Alfa Aesar) oksit tozlarıdır. Hazırlanan her bir 0,94[0,67Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0,33PbTiO₃]-0,06[Pb(Mn_{1/3}Sb_{2/3})O₃] kompozisyonu için molce ekstra %5 MgO ilave edilmiştir.

Seçilen PMN-PT-PMS kompozisyonu için oksit tozlar hassas terazide tartıldıktan sonra toz boyutunu küçültmek ve homojen karışım sağlamak amacıyla bilyeli değirmende 10 saat öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi; 5 mm. çapında ZrO₂ bilyelerin ve %99 saflıktaki etanol sıvısının bulunduğu polietilen kap içerisinde 200 d/dak. karıştırma hızında yapılmıştır. Öğütülen tozlar, etüv içerisinde 90 °C'de 24 saat süreyle kurumaya bırakılmış ve elde edilen homojen toz karışımı 90 MPa basınçta, tek eksenli kuru preste disk şeklinde preslenerek pelet haline getirilmiştir. Tek adımlı kalsinasyon işlemi, kül fırınında 850 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Kalsinasyon işlemi sonrası peletler, agat havanda dövülerek tekrar toz haline getirilmiş ve 24 saat süre boyunca öğütme işlemi için aynı bilye, sıvı ve karıştırma hızı kullanılmıştır. Ardından 90 °C sıcaklık ve 24 saat süreyle etüv içerisinde tekrar kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. İkincil kurutma işleminden sonra tozlar agat havana alınarak ağırlıkça %5 PVA (polivinil alkol- [CH₂CH(OH)]_n, Ma=6000) bağlayıcı eklenmiştir. 100 µm.'lik elekten geçirilen tozlar, 100 MPa basınçta tek eksenli presleme ile 16 mm. iç çapa sahip disk şeklindeki kalıpta pelet haline getirilmiştir. Pelet numuneler, bağlayıcı uzaklaştırma işlemi için 1 saat süreyle 600 °C'de bekletilmiştir. Sinterleme işlemi, kül fırınında farklı sıcaklıklarda (1100 °C, 1150 °C, 1200 °C ve 1250 °C) ve 2 saat bekleme süresi ile yapılmıştır. Sinterleme sürecinde alümina altlık üstünde bulunan peletlerden kurşun kaybını engellemek amacı ile peletlerin çevresine toplam ağırlıklarının %30'u kadar PbO tozu yerleştirilmiş ve üstleri bir alümina kroze ile kapatılmıştır.

Karakterizasyon (Characterization)

Sinterlenen numunelerin yoğunlukları Arşimet prensibi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla kullanılan sıvı ortam ksilendir (ρ = 0,88 gr/cm³). Sinterlenmiş numunelerin faz oluşumlarını incelemek için Bruker D8 Advance model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanılmıştır. Ölçümler, tarama hızı 2°/dak., 2θ=20-60° aralığında olacak şekilde ve Cu-Kα ışınması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı incelemesi hem kırık yüzeyler hem de parlatılmış/ısıtılmış dağlanmış yüzeyler üzerinde SM Zeiss LS-10 alan emisyonlu (FE-SEM) ve FEI Nova Nano 430 FEG taramalı elektron mikroskopları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Elektromekanik karakterizasyon için, sinterlenmiş numunelerin paralel yüzeyleri önce 1000 gritlik SiC zımpara ile işlenmiş, daha sonra numune yüzeyleri gümüş pasta ile elektrotlanmış ve 700 °C'de 1 saat boyunca pişirilmiştir. Elektrotlanan numuneler, 120 °C'lik silikon yağı içerisinde 2 kV/mm elektrik alan altında 15 dak. boyunca kutuplanmıştır. Serbest dielektrik sabiti (K^T) ve kayıp tanjantı (tan δ) gibi dielektrik özellikler, empedans analizi yöntemiyle 1 kHz frekans altında kapasitans ve kayıp faktörlerinin ölçülmesi (Hioki IM-3570 LCR metre) ile belirlenmiştir. Düzlemsel elektromekanik bağlaşma (k_p) ve mekanik kalite (Q_m) faktörleri empedans analizörde belirlenen rezonans-antirezonans karakteristikleri aracılığıyla hesaplanmıştır (HP 4194A empedans analizörü). Piezoelektrik sabiti (d₃₃) ölçümü; Berlincourt d₃₃-piezometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Karakterizasyon çalışmaları sonucunda en yüksek yoğunluk ve en iyi elektriksel özellikler 1150 °C ile 1200 °C aralığında elde edildiğinden, kontrol amacıyla 1175 °C'de de numuneler sinterlenmiş ve karakterizasyon çalışmaları bu numuneler için de yapılmıştır.

BULGULAR ve SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS and DISCUSSIONS)

Farklı sinterleme sıcaklıkları kullanılarak üretilen PMN-PT-PMS numunelerinin yoğunluk hesaplamaları Arşimet prensibine göre yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Numunelerdeki gözenek miktarı artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte azalmaktadır. Sinterleme sürecindeki yoğunlaşmanın bir göstergesi olan % $\rho_{görel}$ değerleri, 1175 °C ve üstündeki sıcaklıklarda teorik yoğunluğun yaklaşık %97-98'i civarındadır. Bu yoğunluk değerleri, elektriksel ölçümlerin yapılmasına olanak verecek seviyededir.

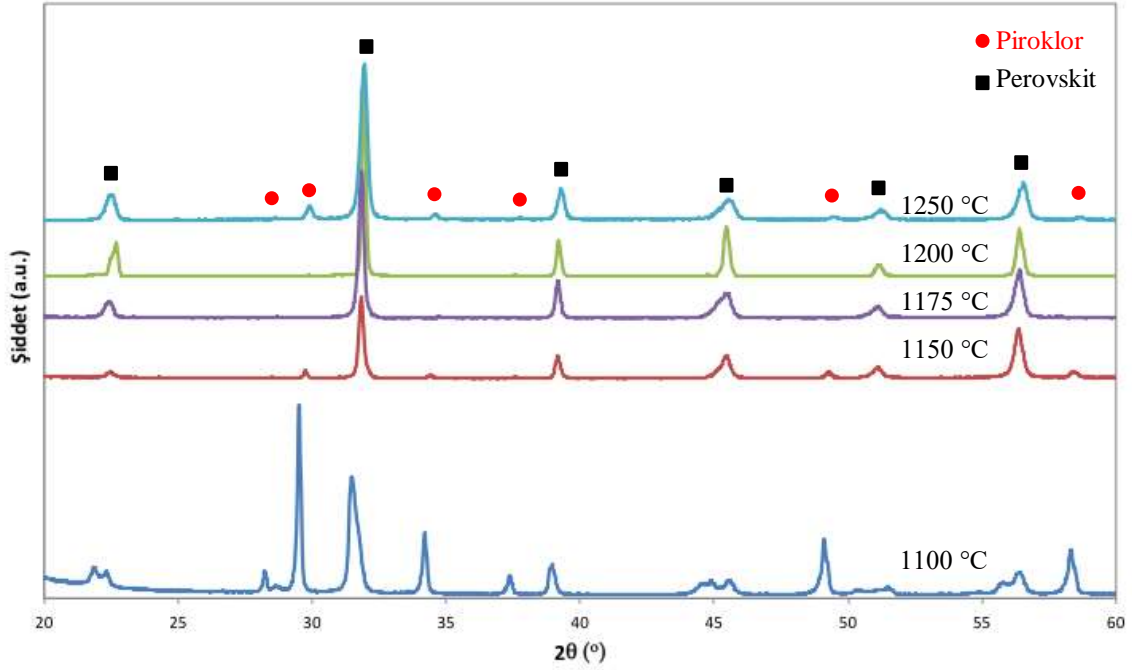
Çizelge 2. PMN-PT-PMS numunelerine ait yoğunluk değerleri

Table 2. Bulk and relative densities of PMN-PT-PMS samples

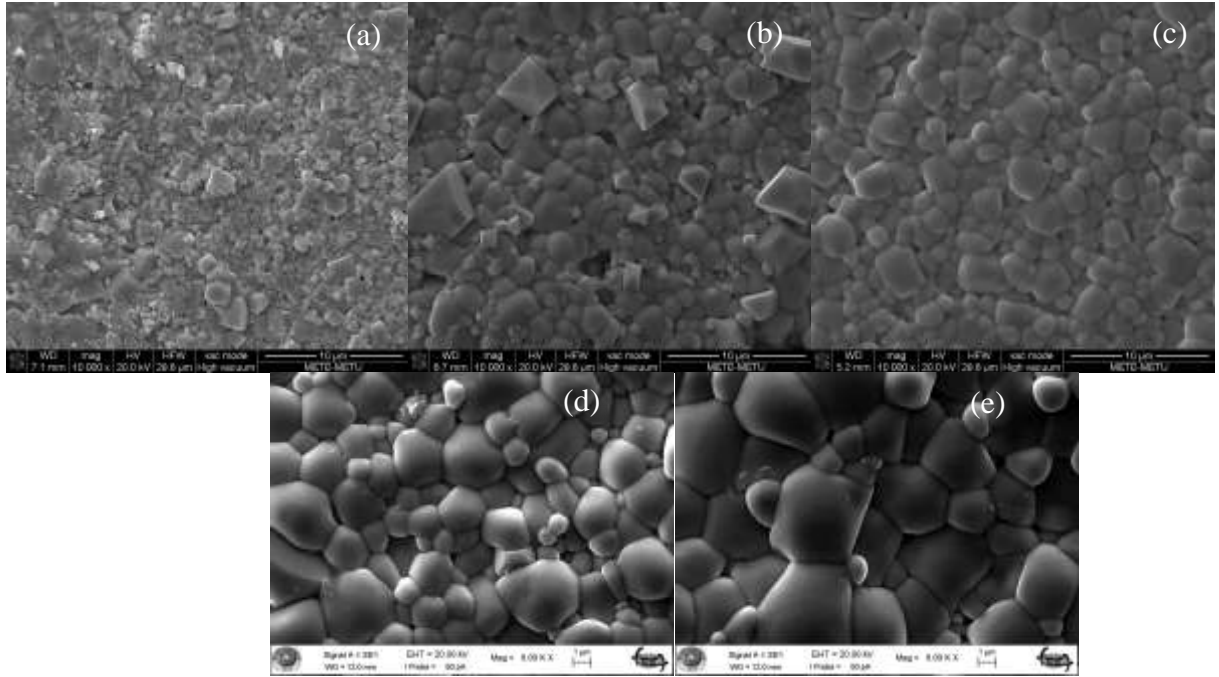
Sinterleme Sıcaklığı (°C)	1100	1150	1175	1200	1250
$\rho_{deneysel}$ (g/cm ³)	7,3658	7,8454	8,0101	8,0059	7,9909
% $\rho_{görel}$	90,05	95,91	97,92	97,87	97,69

Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş PMN-PT-PMS seramiklerine ait XRD desenleri Şekil 2'de verilmektedir. Tüm numunelerdeki perovskit yapı, rombohedral simetriye sahiptir. PMS katkısı ile birlikte PMN-PT seramiklerinde rombohedral simetriye dönüşümün gerçekleştiği, daha önce Aydın (2016) tarafından yapılan çalışmada ortaya koyulmuştur. Ancak sinterleme sıcaklığının etkisi incelendiğinde, 1100 °C ve 1150 °C sinterleme sıcaklıklarının saf perovskit yapının elde edilmesinde yeterli olmadığı görülmektedir. Perovskit yapıya, ikincil faz olarak piroklor eşlik etmektedir. Özellikle 1100 °C'de sinterlenmiş numuneye ait XRD deseninde piroklor faza ait piklerin şiddeti göz önüne alındığında, perovskit faza kıyasla hacimce daha fazla miktarda bulunmaktadır. Sıcaklık 1150 °C'ye arttırıldığında piroklor faza ait piklerin şiddetleri azalmış ancak tamamıyla kaybolmamıştır. Piroklor fazın oluşumunun engellenebilmesi için sıcaklığın 1150 °C üstüne çıkarılması gerekmektedir. Sıcaklık 1200 °C'nin üstüne çıkarıldığında ise piroklor fazın tekrar ikincil faz olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durumun, yüksek sıcaklıklarda özellikle kurşun oksitinin uçuculuğunun artması ve sonuç olarak perovskit yapıya sahip kompozisyonun stokiometrisinin bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda sinterleme ile piroklor fazın ortaya çıkması, BiYbO₃ katkılı PMN-PT seramikleri için de rapor edilmiştir (Hai ve diğ., 2015).

Sinterleme süreci sadece yoğunluk değerlerini ve kristal yapıyı değil, ayrıca seramiklerin mikroyapısını da etkilemektedir. Şekil 3'de verilen SEM fotoğrafları, tüm kompozisyonlar için sinterleme ile yoğunlaşmanın arttığını ortaya koymakta ve % $\rho_{görel}$ değerleriyle örtüşmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ile kristallerin boyutları artmaktadır. 1100 ve 1150 °C sıcaklıklarının sinterleme için yetersiz olduğu hem düzensiz tane yapısı hem de mikroyapıdaki gözenek miktarından anlaşılmaktadır. Bu sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelere ait yoğunluk değerleri ile SEM analizleri birbirleri ile uyum göstermektedir. 1200 ve 1250 °C gibi yüksek sıcaklıklarda sinterlenen numunelerde PbO'nun yüksek uçuculuğu ve yapıdan kurşun kaybı nedeniyle belirgin bir yapısal heterojenlik gözlenmektedir. Bu durum ayrıca çalışmada en yüksek sinterleme sıcaklığı olarak seçilen 1250 °C'de yoğunluktaki azalmanın da kaynağıdır (Çizelge 2). 1200 ve 1250 °C'de sinterlenen numunelerde tane boyutları 1-6 µm gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. 1175 °C'de sinterlenen numunenin mikroyapısı yapısal olarak daha homojendir ve daha dar bir tane boyutu aralığına sahiptir. Söz konusu numunenin ortalama tane boyutu yaklaşık olarak 1.5-1.6 µm civarındadır. Bu değerler, farklı büyütmelerdeki kırık yüzey fotoğrafları kullanılarak da doğrulanmıştır.



Şekil 2. Farklı sinterleme sıcaklıklarında elde edilmiş PMN-PT-PMS numunelerine ait XRD desenleri
Figure 2. XRD patterns of PMN-PT-PMS samples with different sintering temperature



Şekil 3. Farklı sinterleme sıcaklıklarında elde edilmiş PMN-PT-PMS numunelerinin SEM görüntüleri: (a)1100 °C, (b)1150 °C, (c)1175 °C, (d)1200 °C ve (e)1250 °C

Figure 3. SEM micrographs of PMN-PT-PMS samples with different sintering temperature: (a)1100 °C, (b)1150 °C, (c)1175 °C, (d)1200 °C, and (e) 1250 °C

Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen yoğunluk, kristal yapı ve mikroyapı; numunelerin dielektrik ve piezoelektrik özelliklerini de önemli oranda etkilemiştir. Farklı sinterleme sıcaklıklarında

üretmiş olan numunelere ait elektriksel özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. Dielektrik sabiti (K^T), piezoelektrik gerinim sabiti (d_{33}) ve elektromekanik bağlaşma faktörü (k_p) değerleri artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte artmış ve en yüksek değerlerine 1175 °C’de ulaşmışlardır. Daha yüksek sıcaklıklara devam edildiğinde ise değerlerin düştüğü görülmektedir. Bu sıcaklıklarda mikroyapının daha heterojen hale gelmesi, yoğunluk düşüşü ve piroklor fazın tekrar ortaya çıkması sonucu elektriksel özellikler azalmıştır.

Bir piezoelektrik seramiğin sergileyeceği dielektrik ve piezoelektrik davranışı etkileyen en önemli faktörlerden biri tane büyüklüğüdür. Tane boyutunun büyümesi, domain boyutunun da büyümesi ve sonuç olarak domain sınırlarının azalması anlamına gelir (Hoffman ve diğ., 2001). Bu sınırlar domain duvarı hareketini kısıtladıklarından, tane boyutu azaldıkça domain duvarı hareketi de daha fazla engellenir. Bu durum Çizelge 3’de verilen mekanik kalite faktörü (Q_m) ve kayıp tanjantı ($\tan \delta$) değerlerinin değişiminde de ortaya çıkmaktadır. Düşük Q_m ve yüksek $\tan \delta$ değerleri, bir piezoseramikte domain hareketinin kolay olduğunu göstergesidir. Sinterleme sıcaklığının artışıyla birlikte ortalama tane boyutunun arttığı numunelerde Q_m değeri düşük ve elektriksel enerji mekanik enerji dönüşümü sırasındaki kayıplar fazladır. Bu özellikler tipik yumuşak piezoseramik özellikleridir. Çalışılan tüm sinterleme sıcaklıkları içinde 1175 °C’de sinterlenen numuneler optimum elektriksel ($d_{33}=265$ pC/N, $K^T=4745$, $k_p=0,417$, $\tan\delta=2,5$ ve $Q_m=222$) ve yapısal ($\%Q_{görelî}\approx 98$) özellikler sergilemişlerdir.

Çizelge 3. Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş PMN-PT-PMS numunelerine ait dielektrik ve piezoelektrik özellikler

Table 3. Dielectric and piezoelectric properties of PMN-PT-PMS samples with different sintering temperature

Sinterleme Sıcaklığı (°C)	1100	1150	1175	1200	1250
K^T	2450	4354	4745	4652	4401
$\tan\delta$ (%)	2,2	2,4	2,5	2,6	2,6
d_{33} (pC/N)	185	210	265	255	235
Q_m	250,1	239,7	222,0	210,0	201,9
k_p	0,321	0,399	0,417	0,422	0,403

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, 1100-1250 °C aralığındaki farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile sinterlenmiş PMN-PT-PMS seramiklerinin fiziksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. 1150 °C ve altındaki sıcaklıklar; sinterlenmenin tamamlanması ve saf perovskit eldesi için yetersiz kalmıştır. Bununla birlikte 1200 °C’nin üstündeki sıcaklıklarda sinterlenen numunelerde ise heterojen bir mikroyapı ortaya çıkmaktadır. Yüksek yoğunluk, homojen mikroyapı ve saf perovskit yapısı; 1175 °C’de sinterlenen numunede elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar; seramiklerin yoğunluğunun, tane morfolojisi ve boyut aralığının, kristal fazların oluşumunun, piezoelektrik ve dielektrik özelliklerin sinterleme sıcaklığına duyarlı olduğunu ortaya koymuştur. Malzemenin optimum elektriksel performansı ($d_{33}=265$ pC/N, $K^T=4745$, $k_p=0,417$, $\tan\delta=2,5$ ve $Q_m=222$), 1175 °C’de sinterlenen numunelerde elde edilmiştir. Bu sonuç yüksek yoğunluk, yapısal homojenlik, düşük tetragonallik ve piroklor fazın miktarındaki düşüşün bir yansımasıdır.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; Yrd. Doç. Dr. Volkan Kalem'in danışmanlığında Osman DÜZEN'in Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda 2013-2014 güz yarıyılında başladığı "PMN-PT-PMS $[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3-Pb(Mn,Sb)O_3]$ Piezoelektrik Seramiklerinde Uygun Sinterleme Rejiminin Belirlenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aydın H.S., 2016, *PMN-PT $[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3]$ Esaslı Piezoelektrik Seramiklerin Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aydın H.S., Kalem V., 2016, "PMN-PT $[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3]$ Esaslı Seramiklerde Kompozisyonun Yapısal ve Elektriksel Özelliklere Etkisi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol. 4, No. 2, pp. 100-110.
- Bouquin, O., Lejeune, M., Boilot, J.P., 1991, "Formation of The Perovskite Phase in the $PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3-PbTiO_3$ system", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol.74, No. 5, pp. 1152-56.
- Carter, C.B., Norton, M.G., 2007, *Ceramic Materials: Science and Engineering*, Springer, New York.
- Choi, S.W., Shrout, T.R., Jang, S.J., Bhalla, A.S., 1989, "Dielectric and Pyroelectric Properties in The $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3$ system", *Ferroelectrics*, Vol. 100, pp. 29-38.
- Guha, J.P., 1999, "Reaction Chemistry and Subsolvus Phase Equilibria in Lead-based Relaxor Systems: Part I - Formation and Stability of The Perovskite and Pyrochlore Compounds in The System $PbO-MgO-Nb_2O_5$ ", *Journal of Materials Science*, Vol. 34, No. 20, pp. 4985-94.
- Hai, L., Bo-Ping, Z., Yu, P., Lei, Z., Kai-sheng, W., Yan-tao, L., 2015, "Effects of Sintering Temperature on Structure and Properties of BY-PT-PMN Ternary Piezoelectric Ceramics", *Journal of Materials Research*, Vol. 30, No. 6, pp. 782-790.
- Hoffmann, M.J., Hammer M., Endriss A., Lupascu D.C., 2001, "Correlation Between Microstructure, Strain Behavior, and Acoustic Emission of Soft PZT Ceramics", *Acta Materialia*, Vol.49, pp. 1301-1310.
- Inada, M., 1977, "Analysis of The Formation Process of the Piezoelectric PCM Ceramics", *National Technical Report (Matsushita Elect. Ind. Co.)*, Vol. 27, No. 1, pp. 95-102.
- Ketsuwan, P., Ngamjarrojana, A., Laosiritaworn, Y., Ananta, S., Yimnirun, R., 2007, "Effect of Sintering Temperature on Phase Formation, Dielectric, Piezoelectric, and Ferroelectric Properties of Nb-Doped $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ Ceramics", *Ferroelectrics*, Vol. 358, pp. 35-41.
- Liu, L., Fan, H., Ke, S., Chen, X., 2008, "Effect of Sintering Temperature on The Structure and Properties of Cerium-Doped $0.94(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO_3-0.06BaTiO_3$ Piezoelectric Ceramics", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 458, pp. 504-508.
- Naceur, H., Megriche, A., El Maaoui, M., 2014, "Effect of Sintering Temperature on Microstructure and Electrical Properties of $Sr_{1-x}(Na_{0.5}Bi_{0.5})_xBi_2Nb_2O_9$ Solid Solutions", *Journal of Advanced Ceramics*, Vol. 3, No. 1, pp. 17-30.
- Shrout, T.R., Swartz, S.L., 1983, "Dielectric-properties of Pyrochlore Lead Magnesium Niobate", *Materials Research Bulletin*, Vol. 18, No. 6, pp. 663-7.
- Swartz, S.L., Shrout, T.R., 1982, "Fabrication of Perovskite Lead Magnesium Niobate", *Materials Research Bulletin*, Vol.17, No. 10, pp. 1245-50.
- Takahashi, S., Sasaki, Y., Kawai, H., Hirose, S., 1996, "High-power Piezoelectric Characteristics in $Pb(Mo_{1/3}Sb_{2/3})O_3-Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3$ Solid Solution System", *Isaf '96 - Proceedings of the Tenth Ieee International Symposium on Applications of Ferroelectric*, Vol.1, pp. 2309-312.
- Takahashi, S., Yamamoto, M., Sasaki, Y., 1998, "Nonlinear Piezoelectric Effect in Ferroelectric Ceramics", *Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers*, Vol. 37, No. 9B, pp. 5292-6.

- Taşpınar, E., 1997, *Production and Characterization of Lead Zirconate Titanate and Lead Magnesium Niobate-Lead Titanate Piezoceramics*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Wakiya, N., Kim, B.H., Shinozaki, K., Mizutani, N., 1994, "Composition Range of Cubic Pyrochlore Type Compound in Lead Magnesium Niobium Oxygen System", *Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi-Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol.102, No. 6, pp. 612-615.
- Wakiya, N., Saiki, A., Ishizawa, N., Shinozaki, K., Mizutani, N., 1993, "Crystal-growth, Crystal-structure and Chemical-composition of a Pyrochlore Type Compound in Lead-magnesium-niobium-oxygen System", *Materials Research Bulletin*, Vol. 28, No. 2, pp. 137-143.
- Zhu, R., Yin, Y., Fang, B., Chen, Z., Zhang, S., Ding, J., Zhao, X., Luo, H., 2016, "Optimizing Structure and Electrical Properties of High-Curie Temperature PMN-PHT Piezoelectric Ceramics via Tailoring Sintering Process", *The European Physical Journal-Applied Physics*, Vol. 74, No. 3, pp. 30101.

STATISTICALLY GUIDED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

¹Barış KOÇER

¹Selçuk University, Department of Computer Engineering, Campus, Selçuklu, Konya, TURKEY
bariskocer@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 09.01.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.02.2017)

ABSTRACT: Artificial Bee Colony algorithm is one of the naturally inspired meta heuristic method. As usual, in a meta heuristic method, intuitively appealing way to have better results is extending calculation time or increasing the fitness evaluation count. But the desired way is acquiring better results with less computation. So in this work a modified Artificial Bee Colony algorithm which can find better results with same computation is developed by benefiting statistical observations.

Key Words: *Swarm intelligence, Meta heuristic algorithms, Artificial bee colony algorithm.*

İstatistiksel Olarak Yönlendirilen Yapay Arı Kolonisi Algoritması

ÖZ: Yapay Arı Koloni algoritması, doğadan ilham alan meta sezgisel yöntemlerinden biridir. Meta sezgisel yöntemle, daha iyi sonuçlar elde etmek için akla ilk gelen çözüm hesaplama süresini arttırmak veya uygunluk hesaplama sayısını arttırmaktır. Ancak istenilen yol, daha az hesaplama ile daha iyi sonuçlar elde etmektir. Bu çalışmada, istatistiksel gözlemlerden yararlanarak, aynı uygunluk hesaplama sayısı ile daha iyi sonuçlar bulunabilen Yapay Arı Koloni Algoritması, geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Sürü zekası, Meta sezgisel algoritmalar, Yapay arı kolonisi algoritması.*

INTRODUCTION

Genetic algorithms (GA) (Holland, 1975) had marked an era in the solution of NP hard problems. It is one of mostly used population based algorithm but in recent years, swarm intelligent is also used in population based algorithms and has attracted huge attention among the researchers. Swarm intelligence algorithms are inspired from collective behavior of animal groups like ant colonies, flocks of birds or bee swarms. This special type of the population based algorithms are referred as swarm intelligence. The secret of the success of the swarm intelligence is "self organization". In a self organization, individuals in the population are specialized to fulfill a special task without under control of a centralized authority to accomplish a global task. Swarm intelligence mostly used to solve non linear functions with multi local optimum and combinational optimization tasks. Particle swarm optimization (PSO) which was introduced by (Kennedy and Eberhart, 1995) is another popular swarm intelligence based method. PSO have been inspired from collective behavior of bird or fish groups while moving together. Ant colony algorithm (ACO) (Dorigo *et al.*, 1991) which simulates the behavior of ants to find best route to carry foods from source to home is another popular swarm intelligence method. Bee colonies are also good examples for swarm intelligence. In a bee colony there are specialized bee types for specialized task. For example, employee bees fly to food sources and dances in the hive according to position and the amount of the food. Onlooker bees watch the dance of the employee bees and decide

which food resource to go so they can select the food sources which they can gather more food with less energy consumption. (Drias *et al.*, 2005) have introduced a bee colony inspired algorithm and referred as "Bees Swarm Optimization" and have tested the algorithm on MAX-W-SAT (the maximum weighted satisfiability) problem. Yang introduced another bee oriented algorithm and called as Virtual Bee Algorithm and tested it with two dimensional problems under one agent and multi-agent conditions (Yang, 2005). Teodorovic proposed bee swarm intelligence based algorithm and tested to solve complex traffic and transportation problems (Teodorovic', 2003; Lucic and Teodorovic' 2002).

The main motivation of this work is Artificial bee colony (ABC) algorithm which simulates the foraging behavior and collective work of different kinds of bees by (Karaboga, 2005). The algorithm tested on multimodal and multi-dimensional numerical optimization problems. ABC was firstly developed to solve numerical optimization problems and the performance compared to GA and particle swarm inspired evolutionary algorithm (PS-EA) (Basturk and Karaboga, 2006; Karaboga and Basturk, 2007). Performance of differential evaluation (DE), PSO and evolutionary algorithm (EA) on basic numerical functions are also tested against ABC (Karaboga and Akay, 2008; Karaboga and Basturk, 2008). ABC algorithm is also used to train artificial neural network weights (Karaboga and Akay, 2007; Karaboga *et al.*, 2007), classify medical patterns, clustering (Karaboga *et al.*, 2008; Ozturk and Karaboga, 2008) and solving travelling salesman problem (Shrivastava *et al.*, 2015).

In this work our goal was improving the performance of the ABC algorithm without increasing the maximum fitness evaluation count. Performance of the proposed method is investigated for real-parameter optimization on both basic and composite functions presented at the Congress of Evolutionary Computation 2005 (CEC05). In Section 2 ABC algorithm was introduced. In Section 3 proposed modifications on ABC algorithm are introduced. In Section 4 test results for different dimensions of CEC05 problems are presented and in Section 5 test results are discussed.

ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Metaheuristic algorithms are developed to solve combinational optimization problems like travelling salesman problem or vehicle routing problem but today they are also used to solve real parameter estimation problem which can be described as finding best parameter values of a function which minimizes or maximizes the function. For example in equation 1 if it is wanted to find the best x and y values which minimizes the function under circumstances of $-3 < x < 5.5$ and $y > 12$ then this problem can be described as a real parameter optimization problem.

$$f(x, y) = x^2 - 2^y + 2xy \quad (1)$$

In this work the proposed method tested on real parameter optimization problem. ABC algorithm searches the global search space to find suitable parameter values by three types of bees (or agents) which are listed below.

Employee Bee: A food source (or possible solution) is assigned to an employee bee. The mission of an employee bee is giving information about the particular food source which it is assigned to onlooker bees. This information is the food amount (quality of the solution). After a food source has not enough resources anymore then the employee bee which assigned to that source become scout bees.

Onlooker Bee: This type of bees search better food sources around the employee bees. The idea behind is better solutions should be around the best solutions. At this point employee bees guide to onlooker bees to better solutions.

Scout Bee: Scout bees are assigned to find new food sources that are not found by employee bee. So they fly to far away that are not visited yet. After they found a new source they become employee bees.

The flowchart of the ABC algorithm is illustrated in Figure 1.

STATISTICALLY GUIDED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

A weak point of the ABC algorithm is that it searches a better solution near the current solution by modifying only one parameter at a time. But some of the other metaheuristic algorithms changes more than one parameter to speed up the convergence. However it is tried to modify more than one parameters in an ABC variant (Akay and Karaboga, 2010) but the algorithm uses another parameter which decides to make modification more than one parameter. The idea behind the proposed method finding value which is very close the optimal value to use on all agents as the second parameter modification. The problem is calculating that kind of near optimal value? At this point statistical methods come to help. Proposed method detects the near optimal values in three steps:

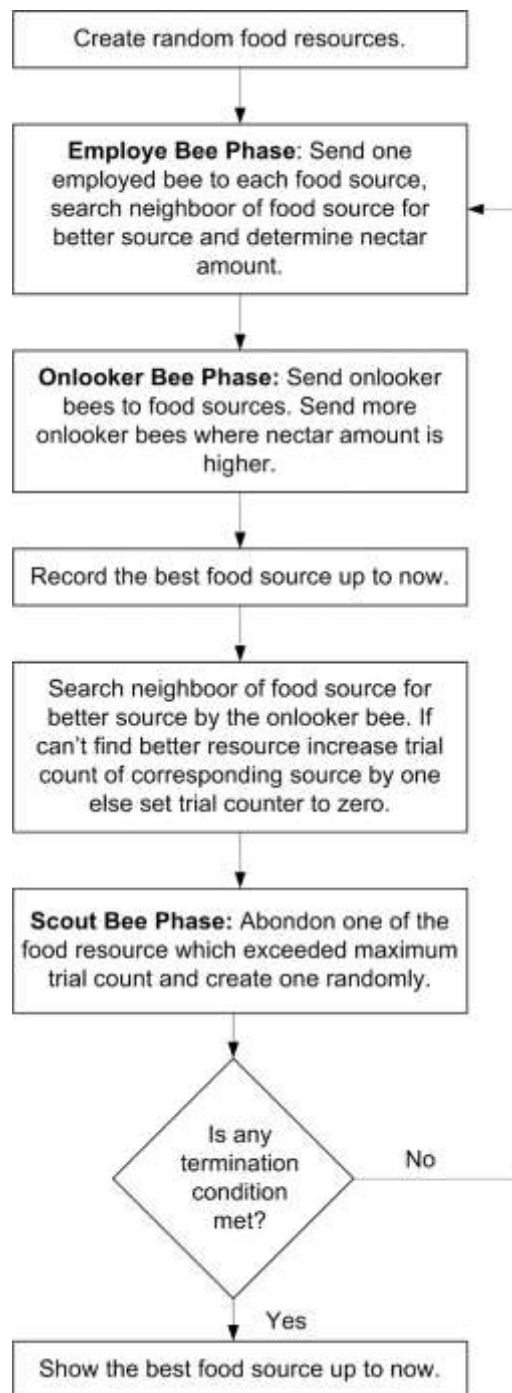


Figure 1. Flowchart of the ABC algorithm.

First step is detecting first 10 best fitness valued solutions. We use 100 as population count and 50 for food sources count. Solutions (food sources) are sorted by their fitness values and parameter values of first 10 solutions are reserved for further steps.

At the second step standard deviation (SD) values of the each parameter are calculated from the best fitness valued solutions that are detected and reserved in step 1. SD is a measurement technique to understand how much an array of variable are different from each other. SD is calculated in 3 steps. In first step average value of the array is calculated by equation 2. In second step variance of the array is calculated by equation 3 and in last step SD is calculated as square root of the variance in equation 4.

Flowchart of the proposed algorithm is presented in figure 2 and pseudo code is presented in figure 4. Changed parts are written in red.

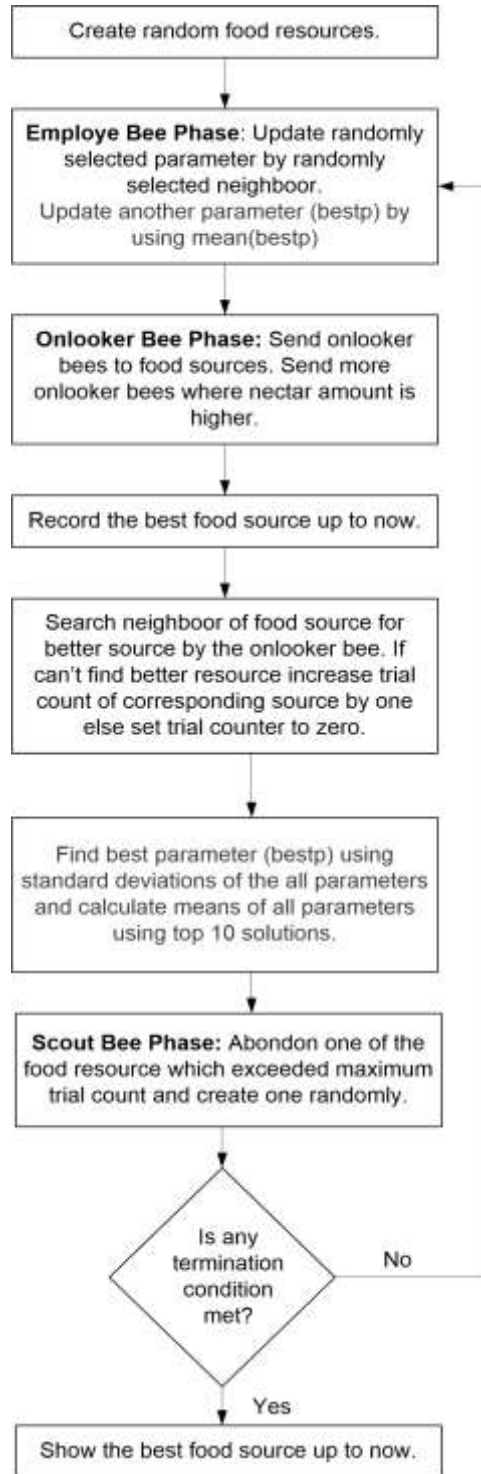


Figure 2. Flowchart of proposed ABC algorithm

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

(2)

$$VAR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_i - M)^2 \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{VAR} \tag{4}$$

SD values are calculated for each dimension of the food sources to find the parameter which is closer to optimum value. But how can it be decided that mean value of a parameter is near the optimum value only by looking the SD value of the parameter? Solution of that problem can be shown by an example. The box-plot representation in figure 3 is acquired by the parameter values of first 10 best solutions in 11.cycle of ABC for the 10 dimensions sphere function which is described by Equation 5.

$$f(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2 \tag{5}$$

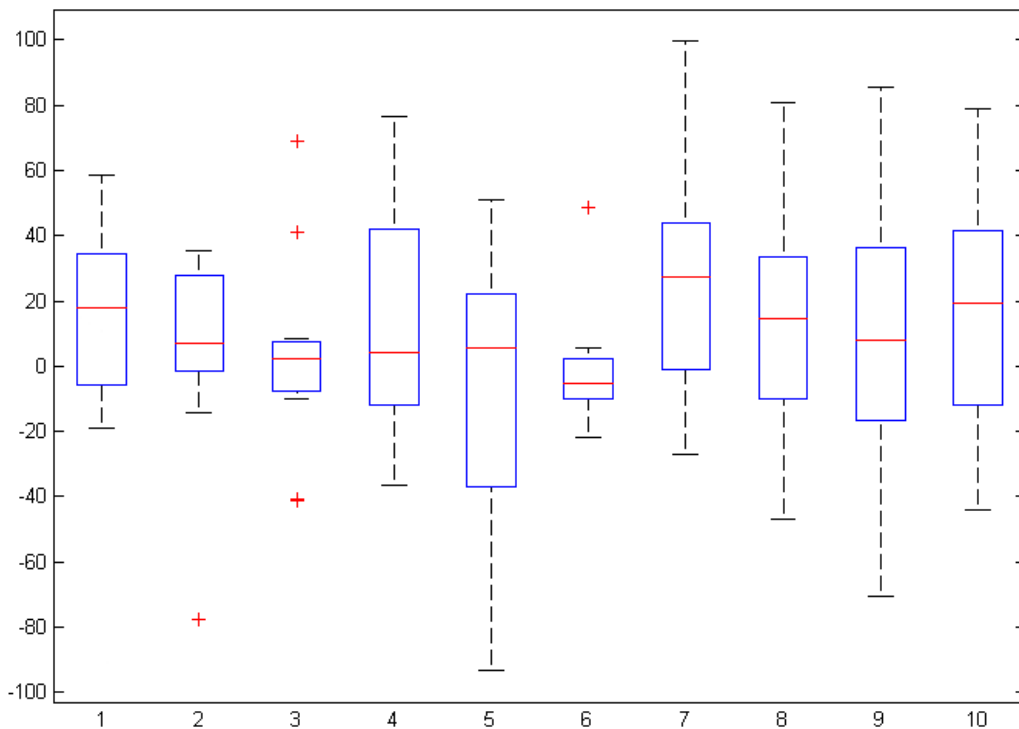


Figure 3. Box-plot representation of first 10 best solutions of the sphere function in 11.cycle.

Each box represents a parameter (or dimension). Short box represent small SD values and tall box represents big SD values. Values in figure 2 are summarized in Table 1. Columns in Table 2 represent the parameters and first two rows represent SD values, mean values of the first 10 best solutions respectively. The row referred as "Position on SD" represents the parameter's position when the parameters sorted by their SD values in ascending order and the row referred as "Position on Fitness" represents the parameter positions when the parameters are sorted by their distance of means values to optimum values. For example parameter 6 (D6) has a SD value 18 and when the parameters are sorted by the SD it's position is 1 because it has the lowest SD value among the parameters. The mean value of the D6 -1.82 and its optimum value for sphere function in equation 5 is zero. So the distance to optimum

value is -1.82 and its "Position on Fitness" value is also 1. The same relation can be seen other dimensions. So at this point it can be said that "Position on SD" values are related to "Position on Fitness" values. More clearly it can be said that mean value of the minimum SD valued parameter is very close to its optimum value. This assumption is the key concept of the proposed method. So we detect the best parameter in every cycle by SD values and use its value for second parameter modification.

Table 1. Summarized values for figure 3.

Description	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Standard Deviation	26.9	30.69	30.14	36.52	44.42	18	36.7	35.84	40.02	39.55
Mean	16.78	5.77	2.85	11.69	-8.86	-1.82	23.79	12.13	7.94	15.48
Position on SD	2	4	3	6	10	1	7	5	9	8
Position on Fitness	9	3	2	6	5	1	10	7	4	8

Modified parts of the algorithm are shown bold. In modified part *"/*Finding appropriate parameter*/"* best fitness valued solutions are sorted and first 10 of them are used to calculate SD values of the parameters. Minimum SD valued parameter number is assigned to "bestp" variable. The other modified part of the algorithm is *"/* Second parameter modification*/"* where the bestpth parameter of each employee bee is modified by the mean value of the bestpth parameter. Second parameter modification is similar to standard parameter modification in ABC except instead of finding a random parameter of a random neighbor it uses mean value of the bestpth parameter. Second parameter modification is used only in in employee bee phase because using it onlooker bee phase causes solutions to bias thought to same value. Second parameter modification is applied after 10 iterations from beginning in order to allow parameters to decide a near optimal value.

EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed method tested against to standard ABC algorithm with both basic and composite functions presented at Congress of Evolutionary Computation 2005 (CEC05) in four categories. First category is fitness evaluation tests. In the test proposed fitness values of the proposed method are compared to original ABC under the same conditions. In second test methods are compared by the stability. For this purpose standard deviation of fitness values that are obtained after 30 independent runs are compared. In third test convergence speeds are tested for both methods. Last test was time consumption test. In this test methods are compared by their time consumptions.

We have used 10, 30 and 50 for problem dimensions. For a fair comparison we have used the same parameters for both methods. Population size is set to 100 and food sources size is set to 50. MaxCycle is set according to dimension size. We established 10^4 fitness evaluations for each dimension by calculating MaxCycle value in Equation 6.

$$MaxCycle = \frac{D \times 10000}{pop_size} \quad (6)$$

where "D" represents the dimensionality and "pop_size" represents population number of the ABC algorithm.

<pre> Create random food sources x[i,j] where i represents the solution number and j represents the parameter evaluate the fitness of the all solutions for cycle=1 to MaxCycle do begin /*Employe bee phase*/ for fnum=1 to maxfoodnum do begin Select random neighbour a, random parameter b and generate random number c in interval[-1,1] t = x[fnum,b] + c(x[a,b]-x[fnum,b]) if (t>max[b]) t= max[b] if (t<min[b]) t= min[b] x[fnum,b] = t /* Second parameter modification*/ if cycle>10 then begin x[fnum,bestp]=x[fnum,bestp]+c(x[fnum,bestp]+mea n[bestp]) /*"bestp" is calculated below in /*Finding appropriate parameter*/ phase end calculate the fitness of x[fnum] if fitness is better than old one then trial[fnum]=0 else begin revert x[fnum,b] to old value trial[fnum]++ end end Calculate the probablity values of each food source p /*Onlooker bee phase*/ fnum=1 tnum=0 while fnum<=maxfoodnum begin generate random number r in interval [0,1] tnum++ if r<p[tnum] then begin </pre>	<pre> Select random neighbour a, random parameter b and generate random number c in interval[-1,1] t = x[tnum,b] + c(x[a,b]-x[tnum,b]) if (t>maxfnum) t=maxfnum if (t<minfnum) t=minfnum x[tnum,b] = t calculate the fitness of x[tnum] if fitness is better than old one then trial[tnum]=0 else begin revert x[fnum,b] to old value trial[tnum]++ end fnum++; end if tnum>maxfoodnum then tnum=0 end /*Scout bee phase*/ find maximum valued indices z in trial if trial[z]>maxtrial then generate random food source instead of x[z] /*Finding appropriate parameter*/ copy all foodsources x to y //in order not to break the orignality of ABC algorithm sort y according to fitness values for i=1 to D do begin mean[i]=0; for j=1 to 10 do begin mean[i] = mean[i] + y[j,i] end mean[i] = mean[i] / 10 stddev[i] = 0; for j=1 to 10 do begin stddev[i] = (mean[i] - y[j,i])² end stddev[i] = sqrt(stddev[i]/10) end find minimum valued indices and assign it bestp end </pre>
--	---

Figure 4. Proposed modified ABC algorithm.

Fitness Evaluation Test:

Fitness evaluation test results are obtained by the results of 30 independent runs. In "Function Number" column, corresponding function numbers in CEC05 are presented, in "ABC" column mean fitness value of the 30 independent runs are presented. Similarly in "Modified ABC" column mean fitness value of 30 independent runs are presented for proposed modified ABC algorithm. In "Better Than Classical ABC" column represents the comparison result of the mean of original ABC and Modified ABC test results. If Modified ABC is better than the original one then the column value is set to "Yes" otherwise column value is set to "No". "Statistically Significant" column represents paired t test results of the 30 independent runs at the 5% significance level. If difference between the results is statistically significance then column value is set to "Yes" otherwise the column value is set to "No".

Table 2. Test Results for 10 dimensions problems.

Function Number	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?	Statistically Significant?
1	9.47072E-17	9.94065E-17	No	No
2	18.94657779	1.662162747	Yes	Yes
3	575517.5816	763078.2204	No	No
4	1064.454258	290.0148787	Yes	Yes
5	99.87026555	12.7641938	Yes	Yes
6	1.019229712	3.042330888	No	No
7	0.134277423	0.108344259	Yes	No
8	20.30742474	20.30065673	Yes	No
9	0	0	No	No
10	28.38667902	18.26045643	Yes	Yes
11	5.623053561	5.128848372	Yes	Yes
12	44.31023529	62.94259948	No	No
13	0.035337889	0.041974926	No	No
14	3.339751658	3.350167432	No	No
15	3.15139E-06	3.75222E-05	No	No
16	151.1603956	139.3305692	Yes	Yes
17	164.9748003	155.2562062	Yes	Yes
18	543.8301847	545.9794051	No	No
19	608.1872842	550.5049652	Yes	No
20	552.1229053	550.2109244	Yes	No
21	389.3503569	367.4435637	Yes	No
22	754.4939213	737.8748394	Yes	No
23	520.2365368	528.4251605	No	No
24	200.0000027	200.0000404	No	No
25	200.0000078	200.0000572	No	No

Table 3. Test Results for 30 dimensions problems.

Function Number	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?	Statistically Significant?
1	5.10142E-16	5.30854E-16	No	No
2	6174.301225	4251.858141	Yes	Yes
3	8472701.954	8169506.466	Yes	No
4	33289.28758	30499.99252	Yes	No
5	11238.9255	9782.00526	Yes	Yes
6	3.319829264	5.95898134	No	No
7	0.061309309	0.044651046	Yes	Yes
8	20.77726229	20.79922538	No	No
9	0	0	No	No
10	331.4970905	253.7468551	Yes	Yes
11	28.31282623	27.24817996	Yes	Yes
12	8204.399412	9716.293662	No	No
13	0.316065204	0.347643753	No	No
14	12.92264784	12.87690019	Yes	No
15	5.61049E-05	0.015892386	No	No
16	292.7251296	285.3769222	Yes	No
17	359.291756	349.5481241	Yes	No
18	918.4480828	899.8375004	Yes	No
19	920.3222711	910.9465426	Yes	Yes
20	915.2599772	915.6701221	No	No
21	497.0657001	491.2270562	Yes	No
22	1075.049454	1031.820385	Yes	Yes
23	531.8314824	531.2477391	Yes	No
24	344.7514483	234.457366	Yes	No
25	395.9891783	250.784032	Yes	No

Table 4. Test Results for 50 dimensions problems.

Function Number	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?	Statistically Significant?
1	9.20521E-16	1.05959E-15	No	Yes
2	24310.18996	21763.67147	Yes	Yes
3	18745986.84	18108940.93	Yes	No
4	97433.28895	94860.89296	Yes	No
5	25355.42562	24600.06374	Yes	No
6	2.431763026	8.933342184	No	Yes
7	0.034510315	0.031968983	Yes	No
8	20.91500183	20.96498148	No	Yes
9	0	0	No	No
10	1013.368826	828.2220972	Yes	Yes
11	56.76164227	55.0178908	Yes	Yes
12	45751.19723	48587.14031	No	No
13	0.687145481	0.85773778	No	Yes
14	22.6787752	22.53280833	Yes	No
15	0.004183417	7.573192646	No	No
16	396.6940249	394.8546597	Yes	No
17	471.7846714	474.7504174	No	No
18	975.7403714	964.1504486	Yes	No
19	978.9170299	961.2534525	Yes	Yes
20	982.7706413	960.6250472	Yes	Yes
21	500.0001331	500.0000111	Yes	No
22	1159.142349	1136.929475	Yes	Yes
23	539.1241006	539.1237518	Yes	No
24	1333.38159	1308.975774	Yes	Yes
25	1332.985896	1314.894348	Yes	Yes

The fitness evaluation test results are a bit complicated so we summarized all the test tables above in Table 5.

Table 5. Summarized fitness evaluation test results.

Dimensions	Proposed method is better than the Classical ABC	Statistically Significant?	Proposed method is worse than the Classical ABC	Statistically Significant?
10	13	7	12	0
30	17	7	8	0
50	17	8	8	4

Fitness evaluation test results are encouraging. In most of the tests, proposed method is better than ABC in most cases and also when it is worse than the original ABC, the results are not statistically significance.

Standard Deviation Test

SD test are done in order to measure the stability of the methods. If two different methods compared with the same test functions by 30 independent runs it can be said that the smaller SD valued function is more stable than the other one. SD test results are presented in Table 6.

Table 6. SD test results

Function Number	D=10			D=30			D=50		
	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?	ABC	Modified ABC	Better Than Classical ABC?
1	1.18E-17	1.25E-17	No	5.55E-17	6.09E-17	No	1.32E-16	1.09E-16	Yes
2	14.83463	1.238683	Yes	1856.119	1387.997	Yes	3997.128	2726.737	Yes
3	297920.5	514213.6	No	2764282	2388461	Yes	4605850	5586789	No
4	648.3193	173.9363	Yes	5957.668	5570.806	Yes	12543.29	9729.833	Yes
5	121.8133	53.2	Yes	1527.727	1456.137	Yes	1948.405	2047.314	No
6	1.955067	7.789525	No	4.327962	9.071855	No	3.73836	13.4603	No
7	0.050566	0.051547	No	0.018554	0.017983	Yes	0.007188	0.014279	No
8	0.070881	0.080921	No	0.079209	0.082064	No	0.048878	0.039768	Yes
9	0	0	No	0	0	No	0	0	No
10	5.400138	5.343894	Yes	49.31465	42.80711	Yes	98.77225	108.6589	No
11	0.744279	0.800136	No	1.680044	1.458333	Yes	2.737719	2.497108	Yes
12	37.10748	71.9975	No	4491.794	4741.499	No	15669.93	18980.61	No
13	0.016922	0.020334	No	0.103545	0.109501	No	0.141407	0.274759	No
14	0.225732	0.226375	No	0.282256	0.251902	Yes	0.216866	0.350755	No
15	1.02E-05	0.000141	No	0.000188	0.053657	No	0.022268	35.91271	No
16	15.14174	14.37557	Yes	35.33667	40.476	No	7.913829	13.1236	No
17	18.33895	17.91638	Yes	45.07728	49.80905	No	10.30309	10.30978	No
18	101.8693	95.0339	Yes	4.319544	92.88999	No	30.22302	22.35548	Yes
19	144.8556	114.7886	Yes	4.497828	21.23954	No	20.42147	21.63619	No
20	99.95363	105.9822	No	21.73962	2.925873	Yes	28.11129	19.13792	Yes
21	77.05258	99.30221	No	15.80195	26.32415	No	0.000654	1.43E-05	Yes
22	120.5941	144.6947	No	29.30139	40.16287	No	32.73313	39.21758	No
23	52.49604	46.2016	Yes	5.988237	6.586686	No	0.000999	0.000916	Yes
24	1.38E-05	0.000215	No	325.6949	183.2311	Yes	28.38805	26.49105	Yes
25	3.5E-05	0.000308	No	362.1658	201.2555	Yes	28.57924	25.10953	Yes

The SD test results are a bit complicated so we summarized all the test tables above in Table 7.

Table 7. Stability test results.

Dimensions	Proposed method is more stable than the Classical ABC	Proposed method is less stable than the Classical ABC
10	9	16
30	11	14
50	11	14

In stability test it can't be said that original ABC is more stable than the proposed method for all situation. Especially test results are close for the problems which have 30 and 50 dimensions.

Convergence Speed test:

Convergence speed are illustrated in figure 5-10 in order to present which method can find better results with less fitness evaluations.

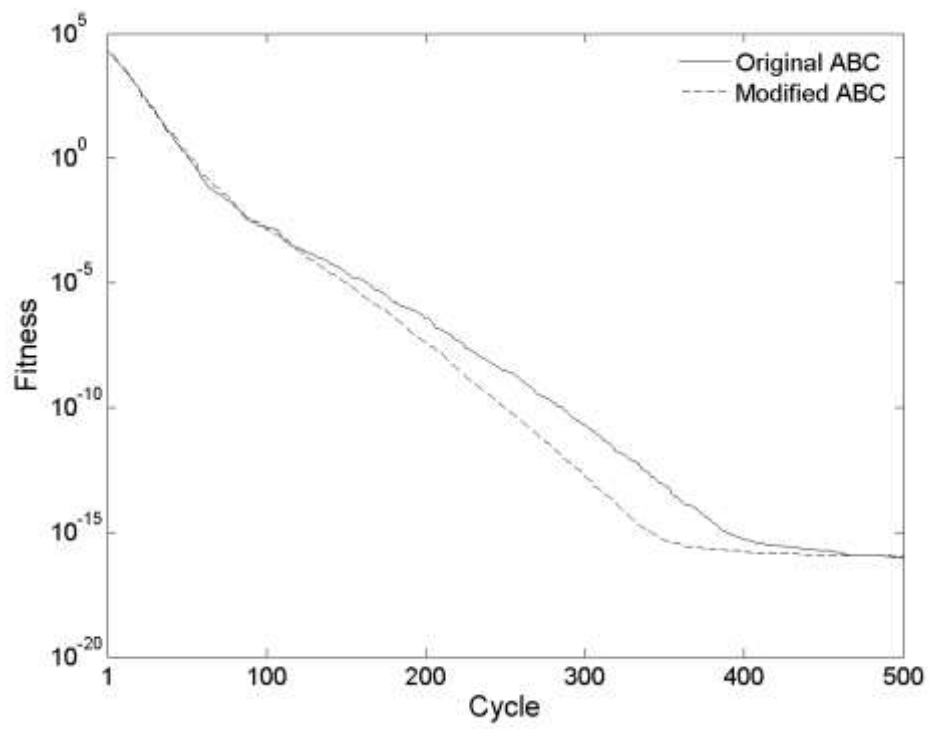


Figure 5. Convergence graphics for function 1 and dimension 10

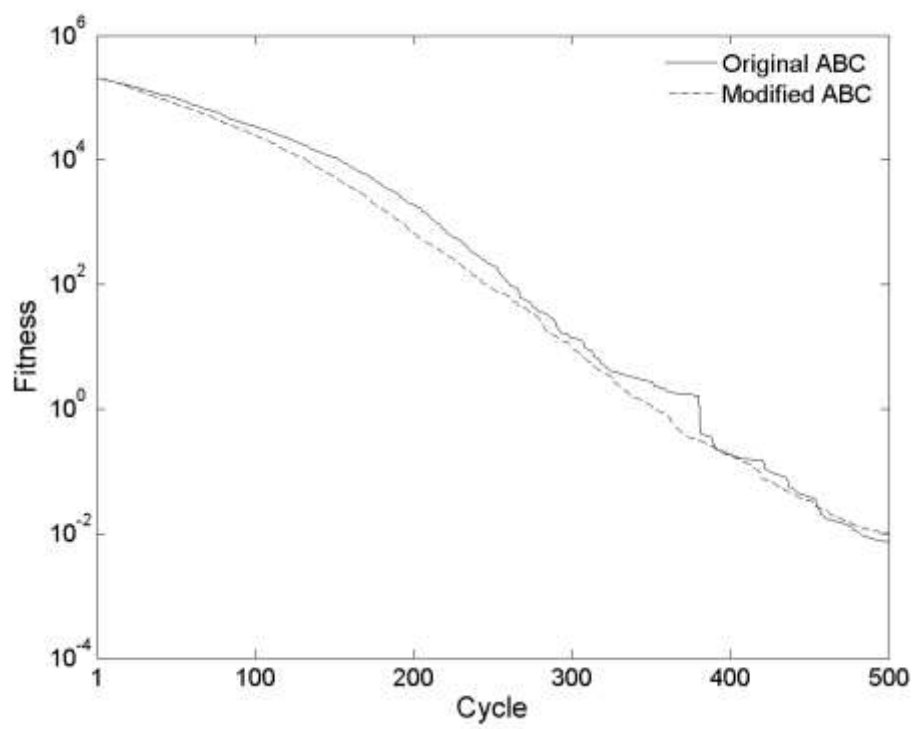


Figure 6. Convergence graphics for function 1 and dimension 50

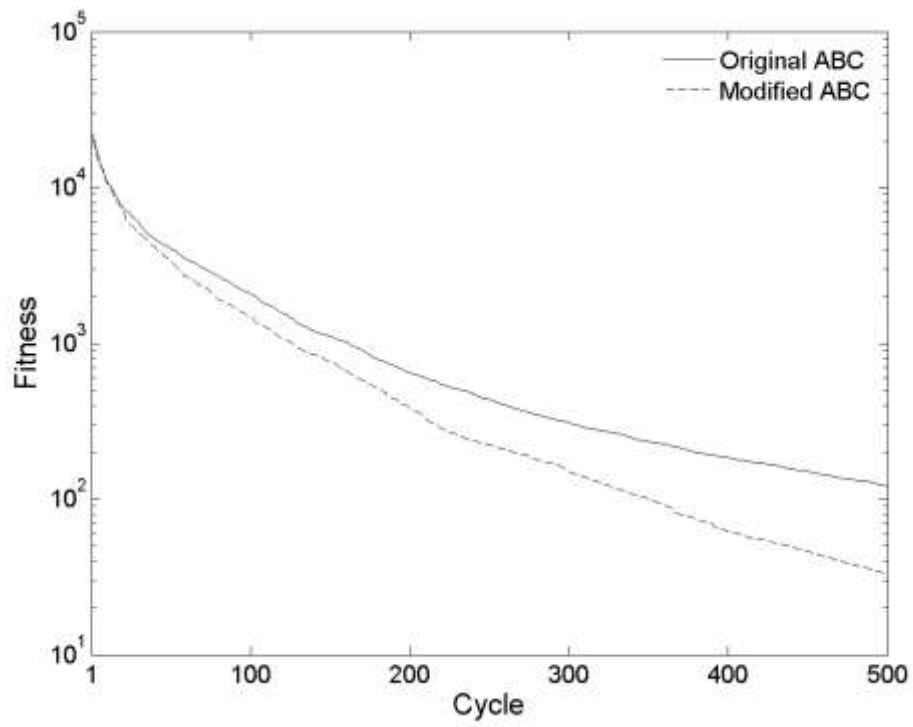


Figure 7. Convergence graphics for function 2 and dimension 10

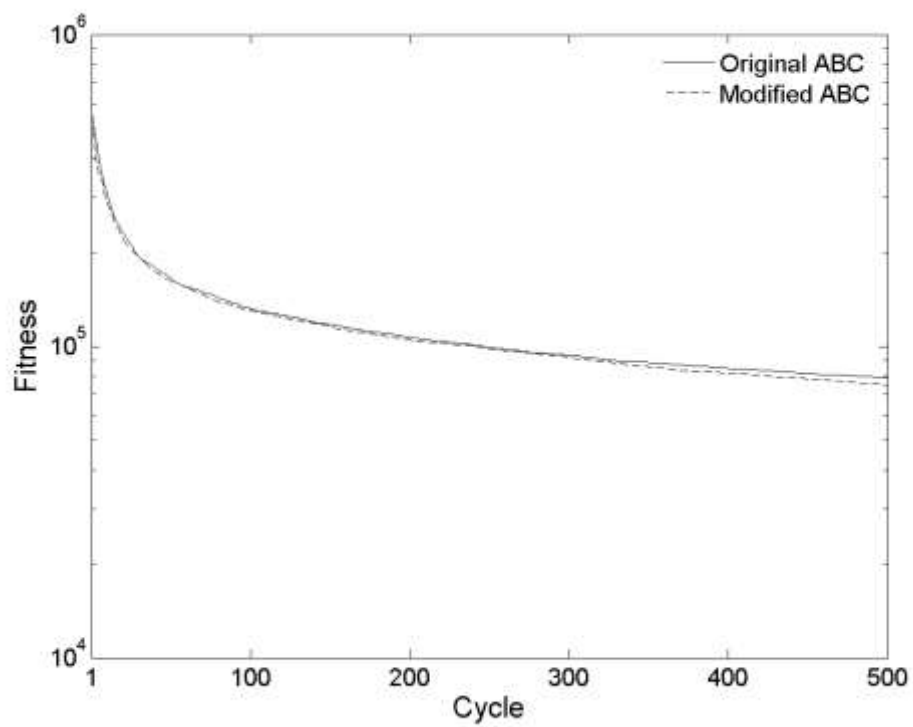


Figure 8. Convergence graphics for function 2 and dimension 50

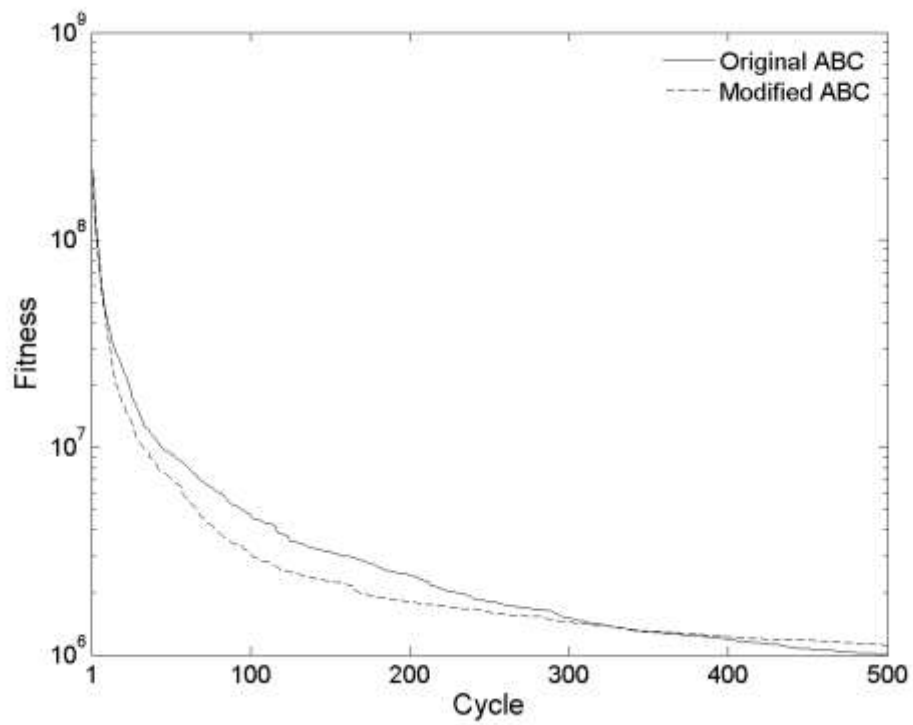


Figure 9. Convergence graphics for function 3 and dimension 10

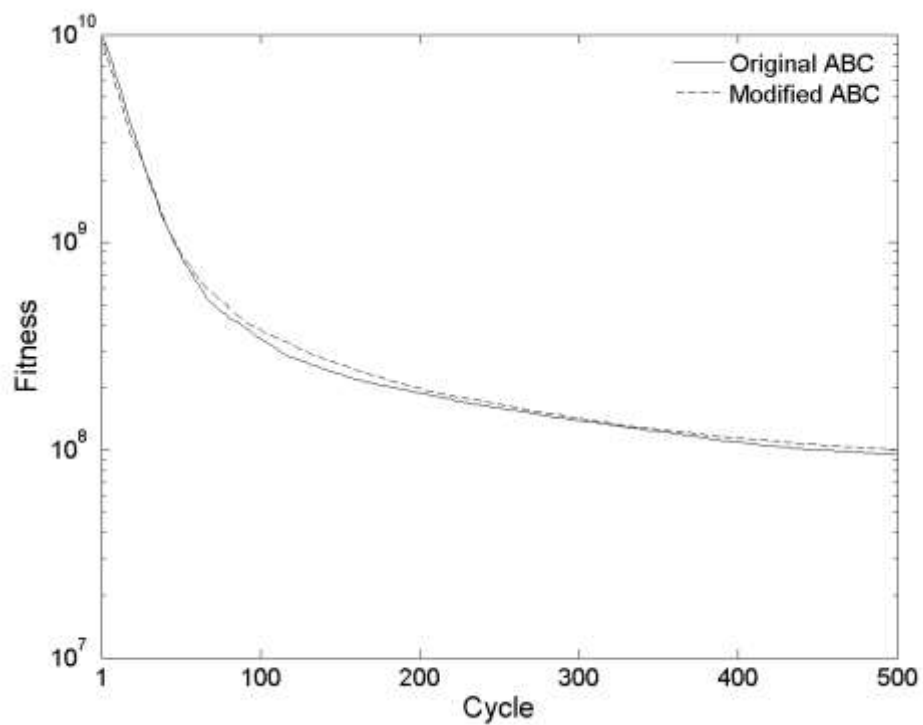


Figure 10. Convergence graphics for function 3 and dimension 50

In convergence test it can be said that proposed method find better solutions with less fitness evaluations in lower dimension sizes. When dimension sizes get larger the advantage of the proposed method is lost.

Time Consuming Test:

Developing a better method over the original one always has some additional cost. These costs may be additional fitness evaluations, additional computations or additional memory consumption. However the important rule in swarm intelligence methods is finding better fitness values with less or the same fitness evaluation counts. So proposed method uses the same fitness evaluation count and needs a little additional computation to find better fitness values. The additional computation cost is presented by a time consuming test for “Rosenbrock” function by the different dimension sizes in Table 8.

Table 8. Time consuming test results for Rosenbrock function.

Dimensions	Original ABC	Proposed Method	Increment (%)
10	9.53166	9.56286	0.327330182
30	29.7494	29.8586	0.367066227
50	51.1215	51.2931	0.335670902

When Table 8 evaluated, it can be said that proposed method needs less than 1% additional computation according to original one and this is not a significance difference.

CONCLUSIONS

According to experimental results it can be claimed that proposed method has found better result with same fitness evaluations. The proposed method needs only %0.5 additional computation and this cost can be tolerated. Some of the other modified methods also can find better results than original ABC algorithm but they need additional parameters and the values of the parameters should be set properly by the user, otherwise method may find worse results. In this perspective proposed method is a parameter-less method and can work without user interactions. Stability and fitness performance of the method can be improved method by additional modifications.

REFERENCES

- Akay, B., Karaboga, D., 2012 “A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization”, *Information Sciences*, Vol. 192, pp. 120-142. doi:10.1016/j.ins.2010.07.015
- Basturk, B., Karaboga, D., “An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric Function Optimization”, *IEEE Swarm Intelligence Symposium*, Indianapolis, Indiana, USA, May 2006.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A., *Positive Feedback as a Search Strategy*, Technical Report 91-016, Politecnico di Milano, Italy, 1991.
- Drias, H., Sadeg, S., Yahi, S., “Cooperative Bees Swarm for solving The Maximum Weighted Satisfiability Problem”, *Computational Intelligence and Bioinspired Systems*. in: 8th International Workshop on Artificial Neural Networks IWANN 2005, Vilanova, Barcelona, Spain, June 8–10 2005.
- Holland, J.H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Karaboga, D., 2005, *An Idea Based on Honeybee Swarm for Numerical Optimization*, Technical Report TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
- Karaboga, D., Basturk, B., 2007, “A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm”, *Journal of Global Optimization*, Vol. 39 (3), pp. 459–471.

- Karaboga, D., Akay, B., "Solving Large Scale Numerical Problems Using Artificial Bee Colony Algorithm", in: Sixth International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems Features, Strategies and Innovation, Sakarya, Türkiye, 14–17 October 2008.
- Karaboga, D., Akay, B., "An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks", in: 15th IEEE Signal Processing and Communications Applications, SIU 2007, Eskisehir, Türkiye, pp. 1–4, June 2007.
- Karaboga, D., Basturk, B., 2008, "On The Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", Applied Soft Computing, Vol. 8 (1), pp. 687–697.
- Karaboga, D., Akay, B., Ozturk, C., 2007, "Modeling Decisions for Artificial Intelligence, Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Training Feed-Forward Neural Networks", LNCS 4617/2007, Springer-Verlag, pp. 318–329.
- Karaboga, D., Ozturk, C., Akay, B., "Training Neural Networks with ABC Optimization Algorithm on Medical Pattern Classification", in: International Conference on Multivariate Statistical Modelling and High Dimensional Data Mining, Kayseri, TURKEY, 19–23 June 2008.
- Kennedy, J., Eberhart, R.C., in: "Particle Swarm Optimization", 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.
- Lucic, P., Teodorovic, D., "Transportation Modeling: An Artificial Life Approach", 14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI, 2002), pp. 216–223, 4-6 November 2002.
- Ozturk, C., Karaboga, D., "Classification by Neural Networks and Clustering with Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", in: Sixth International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems Features, Strategies and Innovation, Sakarya, Türkiye, 14–17 October 2008.
- Shrivastava A., Gupta M., Swami S., "Enhanced Artificial Bee Colony Algorithm with SPV for Travelling Salesman Problem", 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation, Pune, pp. 887-891, 2015.
- Teodorovic, D., 2003, "Transport Modeling by Multi-Agent Systems: a Swarm Intelligence Approach", Transportation Planning and Technology, Vol. 26 (4), pp. 289-312.
- Yang, X.S., "Engineering Optimizations via Nature-inspired Virtual Bee Algorithms", in: Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications: A Bioinspired Approach, LNCS, vol. 3562/2005, pp. 317– 323, June 2005.

DETERMINATION OF EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS OF INDUCTION MOTORS BY USING HEURISTIC ALGORITHMS

¹Murat SELEK, ²Hakan TERZİOĞLU

^{1,2}Selçuk University, Vocational School Of Technical Sciences, Selçuklu, Konya, TURKEY
¹mselek@selcuk.edu.tr, ²hterzioglu@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 16.02.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.03.2017)

ABSTRACT: Induction motors (IMs) are commonly used in industry due to the fact that they are simple, economic, durable, maintenance-free and they can run in every environmental conditions. Non-linear model and time varying parameters of IMs make it quite difficult to develop their mathematical models. In high performance applications, it is necessary to determine these parameters that affect driving technique. In this study, when induction motor (IM) was started with continuous and discrete signals, the effects on the motor equivalent circuit parameters of these operating states were investigated. Differential Evolution Algorithm (DEA) and Particle Swarm Optimization (PSO) were used to investigate and determine the changes in parameters and performance. Equivalent circuit parameters were determined on two IMs with 2.2kW and 5.5kW. In this study, it was seen that Differential Evolution Algorithm (DEA) and Particle Swarm Optimization (PSO) determined electrical equivalent circuit parameters of IM with minimum 0,07% error and minimum 0,28% error, respectively.

Key Words: Induction motor, Particle swarm optimization, Differential evolution algorithm, Equivalent circuit parameters of induction motor, Vector control.

Asenkron Motorların Eşdeğer Devre Parametrelerinin Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak Belirlenmesi

ÖZ: Asenkron motorlar basit, ekonomik ve sağlam olmaları, bakım gerektirmemeleri ve her türlü ortam koşullarında çalışabilmeleri gibi özelliklerinden dolayı, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motorların doğrusal olmayan modeli ve zamanla değişen parametreleri, matematiksel modelin çıkartılmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Yüksek performanslı uygulamalarda, sürme davranışlarını etkileyen bu parametrelerin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada asenkron motor sürekli ve ayrık zamanlı sinyallerle çalıştırıldığında, eşdeğer devre parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Parametre ve performans değişimlerinin incelenmesi ve belirlenmesi için Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA), Parçalı Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Eşdeğer devre parametreleri 2.2kW ve 5.5kW gücünde iki asenkron motor üzerinde belirlenmiştir. Yapılan çalışmada asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin Diferansiyel Evrim Algoritması ile minimum %0,07, Parçacık sürü optimizasyonu ile ise minimum %0,29 hata ile belirlendiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor, Parçacık sürü optimizasyonu, Diferansiyel evrim algoritması, Asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri, Vektör kontrol.

INTRODUCTION

Induction motors (IMs) are commonly used in industrial application because of the fact that they are simple, durable, cost-effective and high efficiency. IMs are used with speed control device or by connecting directly to the network. In terms of driving technique, speed control devices can be divided into two as continuous and discrete times. According to these driving techniques, it is important to carry out mathematical modeling of IMs. It is quite difficult to develop mathematical model of IM because of their non-linear model and time varying parameters. In high performance works, it is of great importance to determine these parameters which are affected by driving techniques properly. Therefore, in this study, a heuristic model that can properly determine equivalent circuit parameters of IM operated with different driving techniques was intended to be developed.

Many studies have been carried out so far to determine the parameters of IMs. In a study, researchers have tried to develop a model using the Taguchi method to run a squirrel cage IM effectively. The rated-current of IM was accepted as the quality characteristic. 5 control parameters as rated rotational speed, rated torque, rated phase voltage, efficiency and power factor were chosen to determine the value of quality characteristics. As a result of the regression analyses, it was emphasized that the most important parameters for rated current value were rated rotational speed and rated torque; and the control factors which are less important were rated phase voltage and efficiency (Nutu and Popescu, 2016).

A new method developed in another study provided to determine motor torque components, as well as motor parameters, which are developed by high harmonic components of the current. The validity of the suggested method was verified by comparing motor parameters obtained from unloaded/locked rotor tests performed on a real motor and motor parameters obtained by finite element analysis. In this study, a new approach is presented for IM parameters and torque characteristics obtained from time-harmonic finite element simulations with stationary rotor. This method is also suitable to calculate torque, rotor resistance and inductances like a rotor displacement function (Király and Žarko, 2016).

In another study, genetic algorithm is applied to predict the parameters of IM by means of stator voltage, stator current and rotor rotational speed (Sadasivan and Mammen, 2011), (Kampisios et al., 2008).

To predict the parameters of IM, a linear regression model was also used. This method suggests a recursive least square algorithm by using stator voltage, stator current and rotor rotational speed so as to predict motor parameters in an off-line work (Mohamed et al., 2011).

An Extended Kalman Filter method was also applied to describe the parameters of IM by using 3 phase stator voltage, stator current and rotor rotational speed (Laowanitwattana and Uatrongjit, 2015).

In another study in which Partical Swarm Optimization (PSO) algorithm was used, the changes of the parameters of an IM in steady-state conditions were observed and predicted dynamically. In this study, three phase current, voltage and rotational speed of IM were used as measured values.

In another study, the effect of temperature on motor parameters such as rotor and stator resistance was investigated by means of Two-Stage Single-Flock PSO technique. It is emphasized that the parameters were calculated and the average of normalized estimation error squares was minimized by square root. Simulation results show that the suggested method is at high accuracy and applicability. In this study, a new PSO method is presented to make it easier to predict the parameters of IM under the conditions of temperature rise. This method predicts time varying parameters of IM by taking into account the stator, rotor winding and the changes in the temperature (Tofighi et al., 2013).

In another study, two new methods called Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) and Artificial Neural Network (ANN) were presented to predict the parameters of single and double squirrel cage IM. It is stated that 20 IMs with different powers were used for this purpose. Experimental data contain the values of breakaway torque, current, maximum torque, full load, efficiency, active power and reactive power rate. The results obtained from the suggested ANN and ANFIS models were

compared to experimental data and to each other. According to these results, it is stated that ANFIS model gives more accurate results than ANN model (Jirdehi and Rezaei, 2014).

In this study, differently from the previous studies, equivalent circuit parameters of an IM running in continuous and discrete time are predicted using PSO and Differential Evolution Algorithm (DEA). The study is comprised of the following sections: Section 1 presents introduction; Section 2 deals with the equivalent circuit of IMs; Section 3 deals with the materials and methods section containing the used heuristic algorithms, test functions and the experimental setup; Section 4 gives the results of the study and Section 5 contains the conclusions.

MATERIAL AND METHOD

Induction motors

In IMs, the electrical and mechanical features of 3-phases are equal to each other (Çolak, 2014), (Terzioğlu et al., 2014). For this reason, when the features of one phase are determined in IMs, it means equivalent circuit of a 3-phase IM is also determined. Accordingly, when equivalent circuit of 3-phases IM is formed, it is sufficient that only 1-phase equivalent circuit is determined. In Figure 1, the equivalent circuit of an IM is seen (Çolak, 2014), (Terzioğlu et al., 2014).

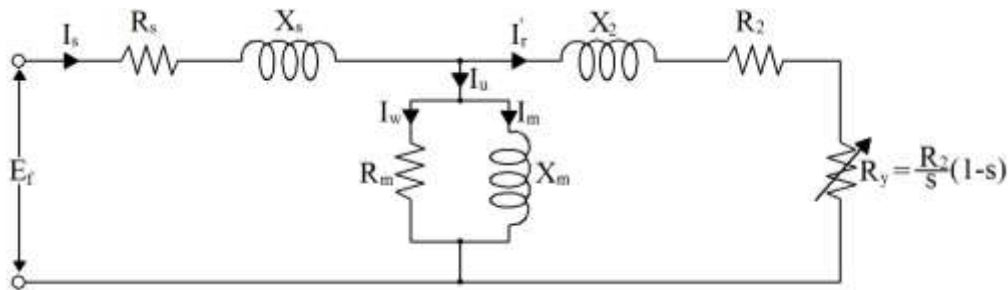


Figure 1. 1-phase equivalent circuit of an IM

The parameters of the equivalent circuit in Figure 1 are described as;

E_f : A phase voltage value (volt),

R_s : Internal resistance of stator winding (Ohm),

X_s : Leakage reactance of stator winding (Ohm),

I_s : Current passing through stator circuit (Ampere),

X_2 : Equivalent of rotor circuit leakage reactance transferred into rotor circuit (Ohm),

R_2 : Equivalent of rotor circuit resistance transferred into stator circuit (Ohm),

I_r' : Current passing through rotor circuit (Ampere),

R_m : Resistance of excitation circuit (Ohm),

X_m : Excitation reactance in open-circuit operation (Ohm),

I_u : Current passing through excitation circuit (Ampere),

I_m : Magnetizing current (Reactive component of excitation current) (Ampere),

I_w : The current through resistor R_m (Active component of excitation current) (Ampere),

R_y : Electrical resistance of the load in motor shaft in terms of stator terms (Ohm).

The circuit in Figure 1 is named as real equivalent circuit. To simplify the solution in this circuit, a simplified equivalent circuit which gives similar results to real equivalent circuit results is used (Terzioğlu et al., 2014). In balance 3-phases IM, a simplified equivalent circuit of 1-phase is designed agreeing the conditions below (Terzioğlu et al., 2014).

- Stator winding resistance was kept low to reduce stator copper loss.
- Leakage reactance of stator winding was minimized by reducing average length of wire of each winding.
- To reduce kernel losses (iron loss), thin plates made of low iron loss are used. R_m is kept high in this way.
- Conductivity of the iron chosen for the plates is high and flux density at the operating point of the motor is kept under the lap robe of magnetization curve. Magnetization reactance is high in that way.
- Simplified equivalent circuit which was obtained when excitation arm was put in the access of equivalent circuit is given in Figure 2 (Arslan et al., 2012).

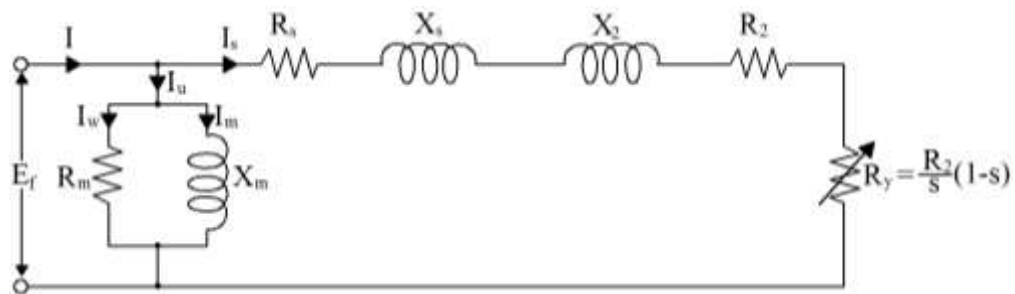


Figure 2. A simplified 1-phase equivalent circuit of IM

Where, I is the current that the motor draws from the network.

Particle swarm optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) is a heuristic algorithm developed by James Kennedy and Russell Eberhart in 1995 (Akbulut, 2009). This algorithm is based on social intelligence found in all living things in nature. The behaviors such as the sharing information of people by talking, the using each other to find the direction of birds and the making joint decision for movements of fish swarms are proof of a social existence. Inspired by the using each other to find the direction of birds and the moving together of fish swarms, PSOs have been developed (Eldem, 2014).

PSO shows similarities with evolutionary optimization techniques like Genetic Algorithm (GA) but it does not have evolutionary operators such as crossing and mutation. The solutions called as particles in PSO travel in the problem space by following the best results. The most significant difference of PSO from classical optimization techniques is that it does not need derivative knowledge. PSO can be successfully applied in many areas such as function optimization, fuzzy control system and artificial neural network. When PSO and GA are compared, it can be said that PSO is an algorithm that is easier to realize and less the parameter number to be set. For this reason, PSOs are applied in many areas today (Eldem, 2014). The flow diagram of PSO is seen in Figure 3.

In flow chart, the speed of each particle is arranged by Eq. 1 (Terzioğlu et al., 2013),

$$v_i^{k+1} = w v_i^k + c_1 r_1 (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 r_2 (gbest^k - x_i^k) \quad (1)$$

and the position is arranged by Eq. 2,

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

where, c_1 and c_2 are the learning factors, w is inertia weight, r_1 and r_2 are the numbers produced randomly in the range $[0,1]$.

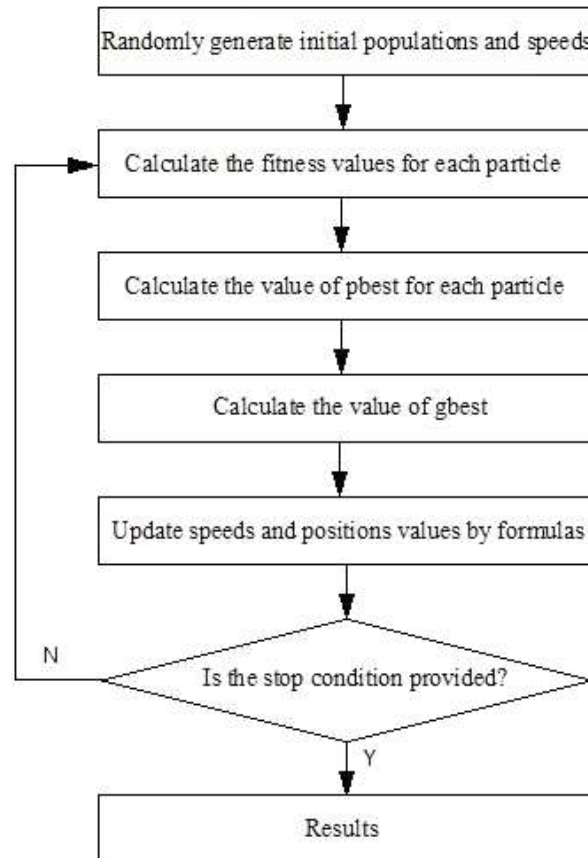


Figure 3. PSO flow chart

Differential evolution algorithm (DEA)

The techniques based on evolution principles are used to make up the deficiencies of commonly known optimization methods (Arslan et al., 2012), (Price et al., 2006). Recently, the term evolutionary computing representing all of these principles-based techniques has begun to be widely used. GA, evolutionary programming, evolutionary strategies and differential evolution algorithm (DEA) can be given as example to these algorithms (Price et al., 2006), (Storn and Price, 1997). DEA is an algorithm which is both simple and based on the powerful population. Especially, it is used to optimize the functions which are defined in an edited space and contain the design parameters with real precious. Optimization with real parameter composes the important and a broad class of the practical problems encountered in science, engineering and other work environments. Generally, the first operation to be done is to determine a problem-oriented heuristic approach when complex optimization problems are encountered (Özcan and Erol, 2013), (Akkoyunlu and Engin, 2011). These techniques which allow expert knowledge to be added to the design are quite successful when faced with general methods such as the algorithms based upon development. For example, if the objective function is in the form of a linear polynomial, there are successful methods such as Simplex and Karmakar algorithms developed to solve this kind of problem. These methods have the ability to find optimal solutions even if there are hundreds or even thousands of design variables in such problems. If the objective function isn't in the form of a linear polynomial and there aren't problem-oriented methods, generally methods such as Levenberg-

Marguardt algorithm, Branch and Bound are preferred (Karaboğa, 2014). In Figure 4, schematic diagram of DEA is seen.

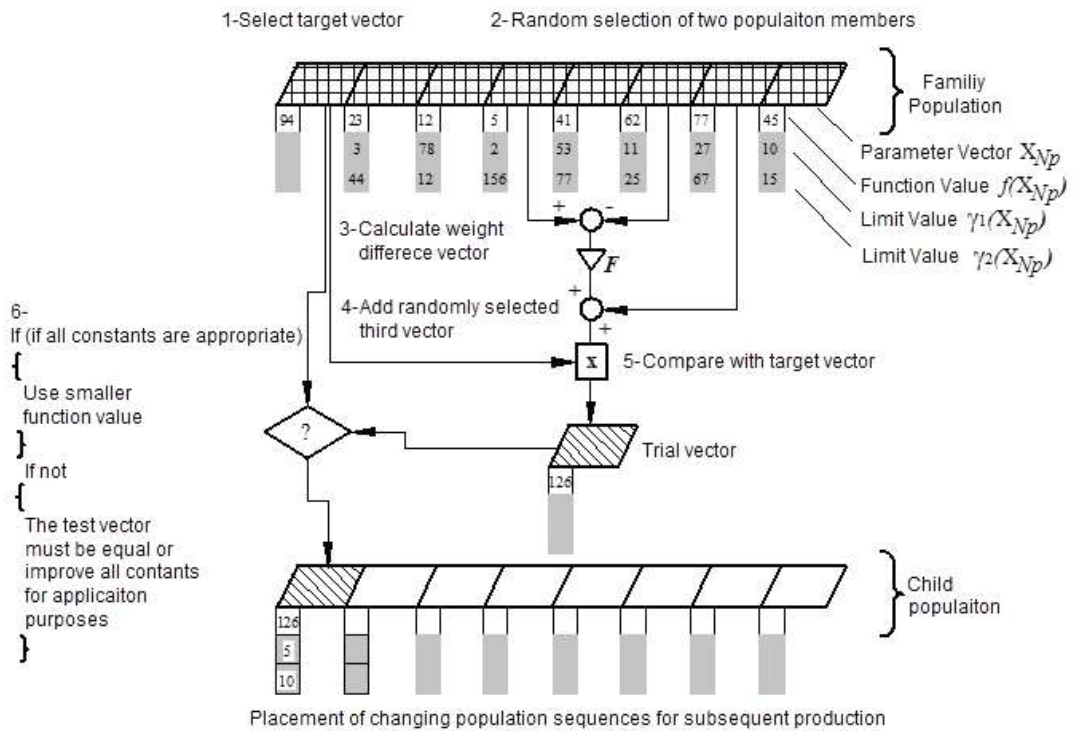


Figure 4. Schematic diagram of DEA (Kiranyaz et al., 2014)

Test functions

In this study, DEA and PSO were used as heuristic algorithms. The softwares of these algorithms were prepared in Matlab program. To determine the accuracy of the softwares, test functions in Table 1 were used (Kiranyaz et al., 2014).

Table 1. Test Functions

Func. No	Function name	Function	Value (D)	Limits
F1	Sphere	$f_1 = \sum_{i=1}^D x_i^2$	30	$-100 \leq x_i \leq 100$
F2	Schwefel	$f_2 = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)$	30	$-100 \leq x_i \leq 100$
F3	Generalized Rosenbrock	$f_3 = \sum_{i=1}^D \left\{ 100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right\}$	30	$-30 \leq x_i \leq 30$

Parameter values of PSO and DEA used to solve the test functions are given in Table 2.

Table 2. Optimization parameters used for heuristic algorithms

Particle Swarm Optimization Algorithms	Differential Evolution Algorithm
Number of particle = 100	Population Size = 100
Learning Factor (c ₁) = 1	Crossover rate = 0.80
Learning Factor (c ₂) = 1	Scaling Factor = 0.80

The stop criterias in test functions were determined as “0” error rate or the completion of the 1000 iteration. DEA and PSO algorithms were run 20 times for each test function and the average of the obtained results are given in Table 3. As shown in Table 3, DEA gives better results than PSO.

Table 3. Suitability values

Function No	PSO		DEA	
	Suitability value	Resulting value (result)	Suitability value	Resulting value (result)
F1	1.58069E-07	0	4.1628E-215	0
F2	0.952750131	0	2.28114E-08	0
F3	0.005127272	0	0	0

Modeling accuracy

Accuracy is a value which indicates how close the calculated value is to the measured value. For each data value, it is necessary to determine the error between the measured value (reference) and the predicted value. Measured values were defined by MPR=(Rsr, R2r, Xsr, X2r, Xmr) vector and predicted values were defined by MPP=(Rsp, R2p, Xsp, X2p, Xmp) vector. The test was repeated 10 times, so the value which was predicted i. times was defined as,

$$MPP_i=(Rsp_i, R2p_i, Xsp_i, X2p_i, Xmp_i), \quad 1 \leq i \leq 10$$

Average percentage error of each variant is calculated using Eq. (3).

$$\Delta_n = \frac{1}{10} * \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{|MPR_n - MPP_n^i|}{MPR_n} * 100 \right), \quad 1 \leq n \leq 5 \tag{3}$$

In Eq. (3), i refers to repetition number and n index refers to the variable number in MPP vector, respectively.

Experimental setup

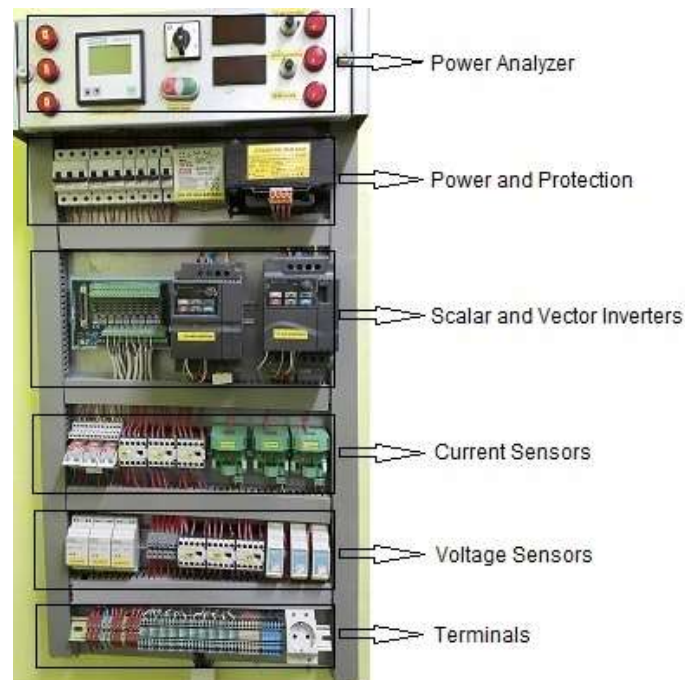


Figure 5. Inverter and sensor connection board of IM

IMs are used in various applications in industry with different control methods. In this study, IMs were run by using continuous and vector controlled speed controller devices. The control board performed for this study is seen in Figure 5. In the board, there is an isolation transformer, 3 pieces Phoenix current sensors, 3 pieces Klemsan tension sensors, Siemens power analyzer and board connection of data processing card. In this study, 2 pieces IMs whose attributes were given in Table 4 were used.

Table 4. Catalogue information of the IMs

Attributes	IM1	IM2
Power (kW)	2.2 kW	5.5 kW
Tension (V)	380 V - λ	380 V - Δ
Current(A)	5 A	11.2 A
Rpm (d/dk)	1420 d/dk	1435 d/dk
Moment (Nm)	14.6 Nm	35.9 Nm

RESULT AND DISCUSSION

In this study, different methods were used to determine the electrical parameters of IMs which were run with different driving techniques, the results and the differences were examined.

For this purpose, firstly using the test method, motor parameters of IMs whose attributes were given in Table 4 were determined. Test method consists of three tests as open-circuit run, locked rotor and stator winding resistance. The tests were performed for two different running conditions of IMs such as running with discrete time speed control device and running with continuous time speed control device. Equivalent circuit parameters of IMs were calculated using the motor data obtained from these running conditions. Equivalent circuit parameters $MPR=(R_{sr}, R_{2r}, X_{sr}, X_{2r}, X_{mr})$ which were calculated depending upon the data obtained from the tests on IMs were accepted as reference values.

Secondly, using motor data obtained from the tests, equivalent circuit parameters of IMs $MPP=(R_{sp}, R_{2p}, X_{sp}, X_{2p}, X_{mp})$ were tried to be predicted by PSO and DEA.

Determination of equivalent circuit parameters of IMs by using test method

For determining the IM data by the test method, the tests were carried out for open-circuit run, locked rotor and measurement of stator winding resistance. In accordance with IEEE standard test procedure, these tests were performed for two different running situations as running with discrete time speed control device and with continuous time speed control device. For calculating the effective resistance R_s of 1-phase of the IM, the direct current resistance obtained by measuring of stator winding resistance was multiplied by 1.2 (Çolak, 2014).

When the IM was run with discrete time speed control device and with continuous time speed control device, the obtained test results are given in Table 5.

Table 5. Test results of IMs run with different driving techniques

IMs	Continuous Time		Discrete Time		Winding resistance
	Open-circuit	Locked rotor	Open-circuit	Locked rotor	
IM1	V0=380 V	Vk=100 V	V0=380 V	Vk=100 V	Rd=3.5 Ω
	I0=3.2 A	Ik=5.8 A	I0=3 A	Ik=6 A	Rs=4.55 Ω
	P0=320 W	Pk=800 W	P0=380 W	Pk=900 W	
IM2	V0=380 V	Vk=90 V	V0=380 V	Vk=90 V	Rd=2.64Ω
	I0=4.9A	Ik=9.8 A	I0=4.8A	Ik=9.8 A	Rs=5,14Ω
	P0=370 W	Pk=850 W	P0=450 W	Pk=900 W	

For running with discrete time speed control device and with continuous time speed control device, the equivalent circuit parameters which were calculated by using the values in Table 5 are given in Table 6.

Table 6. The equivalent circuit parameters of IMs which are run with different driving techniques

Parameters	Continuous Time Speed Cont.		Discrete Time Speed Cont.	
	IM1	IM2	IM1	IM2
R_{sr}	4.55 Ω	5.14 Ω	4.55 Ω	5.14 Ω
R_{2r}	3,38 Ω	3.7 Ω	3.78 Ω	4.22 Ω
X_{sr}	3.01 Ω	6.6 Ω	2.4 Ω	6.43 Ω
X_{2r}	3.01 Ω	6.6 Ω	2.4 Ω	6.43 Ω
R_{mr}	801.23 Ω	1758.142 Ω	561.54 Ω	1307.22 Ω
X_{mr}	68.81 Ω	134.72 Ω	73.75 Ω	137.88 Ω

Determination of equivalent circuit parameters of IMs by using particle swarm optimization and differential evolution algorithm

In DEA and PSO algorithms, moment equations of IMs were used as an objective function (Arslan et al., 2012). These functions consist of locked rotor, overturning and full load moments. Error functions were obtained by using Eq. 4, 5 and 6. Suitability function was calculated as sum of square error with Eq. 7 (Arslan et al., 2012).

$$T_1 = \frac{V_s \frac{R_2}{s}}{\omega_s \left[(R_s + R_2/s)^2 + (X_s + X_2)^2 \right]} - T_n \tag{4}$$

$$T_2 = \frac{V_s^2 R_2}{\omega_s [(R_s + R_2)^2 + (X_s + X_2)^2]} - T_k \tag{5}$$

$$T_3 = \frac{V_s^2}{2\omega_s [R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X_2)^2}]} - T_d \tag{6}$$

The terms used in the equalities above are given below.

- T_n : Nominal moment
- T_k : Start momentum
- T_d : Overturning momentum
- T_1 : Error value in full road moment of rotation
- T_2 : Error value in start momentum
- T_3 : Error value in overturning moment

In PSO and DEA, suitability function is the sum of squares of moment error function and algorithms aim to minimize the error value.

$$\text{Suitability Function} = F_1^2 + F_2^2 + F_3^2 \tag{7}$$

Table 7. % maximum and minimum error values of equivalent circuit parameters for different running conditions

Equivalent Circuit Parameters	Max. and Min. Error Values	Continuous Time Speed Control				Discrete Time Speed Control			
		IM1		IM2		IM1		IM2	
		PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA
R_s	Δ_{1max}	3,18	0,47	3,85	1,19	8,9	2,32	4,95	1,97
	Δ_{1min}	2,84	0,41	3,65	1,15	8,65	2,12	4,82	1,92
R_2	Δ_{2max}	5,85	1,23	4,38	0,3	6,48	2,47	3,86	1,26
	Δ_{2min}	5,38	1,14	4,26	0,2	6,24	2,3	3,52	1,04
X_s	Δ_{3max}	3,74	1,73	0,83	0,48	7,16	2,12	1,33	1,11
	Δ_{3min}	3,63	1,64	0,7	0,43	6,97	2,05	1,2	1,06
X_2	Δ_{4max}	1,68	1,69	3,24	1,39	3,79	2,1	2,85	1,88
	Δ_{4min}	1,64	1,65	3,02	1,34	3,71	2,06	2,72	1,86
X_m	Δ_{5max}	0,44	0,23	0,29	0,08	0,37	0,31	0,3	0,09
	Δ_{5min}	0,41	0,2	0,27	0,06	0,33	0,29	0,28	0,07

Table 8. % error values of equivalent circuit parameters for different running conditions

Parameters	Continuous Time Speed Control				Discrete Time Speed Control			
	IM1		IM2		IM1		IM2	
	PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA
R_{sr}	4,55	4,55	5,14	5,14	4,55	4,55	5,14	5,14
R_{sp}	4,41	4,57	4,95	5,08	4,95	4,65	4,89	5,04
Δ_1	3,08	0,44	3,70	1,17	8,79	2,2	4,86	1,95
R_{2r}	3,38	3,38	3,70	3,70	3,78	3,78	4,22	4,22
R_{2p}	3,57	3,42	3,54	3,69	3,54	3,69	4,38	4,27
Δ_2	5,62	1,18	4,32	0,27	6,35	2,38	3,79	1,18
X_{sr}	3,01	3,01	6,60	6,60	2,4	2,4	6,43	6,43
X_{sp}	2,90	2,96	6,55	6,63	2,57	2,35	6,51	6,5
Δ_3	3,65	1,66	0,76	0,45	7,08	2,08	1,24	1,09
X_{2r}	3,01	3,01	6,60	6,60	2,4	2,4	6,43	6,43
X_{2p}	2,96	2,96	6,39	6,69	2,49	2,45	6,61	6,55
Δ_4	1,66	1,66	3,18	1,36	3,75	2,08	2,80	1,87
X_{mr}	68,81	68,81	134,72	134,72	73,75	73,75	137,88	137,88
X_{mp}	68,52	68,66	134,34	134,62	73,53	73,53	137,48	137,77
Δ_5	0,42	0,22	0,28	0,07	0,34	0,30	0,29	0,08

For DEA and PSO, the software of objective function determined in the problem was prepared in Matlab program. In the software, the calculations performed by using data obtained from experimental method were taken into account to determine the limit values of motor parameters $MPP=(R_{sp}, R_{2p}, X_{sp}, X_{2p}, X_{mp})$. The equivalent circuit parameters were calculated through PSO and DEA for running conditions of IMs with discrete time speed control device and with continuous time speed control device.

For two running conditions performed on IMs, algorithms were tested 10 times and the values obtained for each test were recorded. Then, the equivalent circuit parameters were calculated by using these values. The error value was calculated by using Eq. 3 for each value and it was found by taking error average of 10 tests.

The maximum and minimum error values obtained as a result of the performed tests are given in Table 7. These values show that the algorithms run in stable and the sufficient error range. The average of the values obtained from continuous time speed control device and discrete time speed control device of IM1 and IM2 is given in Table 8.

As shown in the Table 8, the data obtained from PSO and DEA include acceptable values for each running condition. As it is seen in Table 8, DEA algorithm gives better results than PSO in the running both with continuous time speed control device and discrete time speed control device.

Taking into account the determined equivalent circuit parameters of IMs, total error value for all motor parameters was calculated by using Eq. 8 and these values were given in Table 9.

$$\Delta = \frac{1}{5} * \sum_{n=1}^5 (\Delta_n) \quad (8)$$

Table 9. Total % error values of DEA and PSO for different running conditions

Continuous Time Speed Control				Discrete Time Speed Control			
IM1		IM2		IM1		IM2	
PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA	PSO	DEA
2,886	1,032	2,448	0,664	5,262	1,808	2,596	1,234

As it is seen in Table 9, DEA gives the best results both in all running conditions and in different IMs. DEA reduces the total % error value which indicates the success of the algorithm to 0,664%. However, PSO reveals lower performance than DEA with 2,448 % of the total % error value. Also, as shown in Table 9, DAE and PSO produce more errors in discrete time running condition than in continuous time running condition.

CONCLUSION

IMs are run by different speed control methods according to their places of use in industry. In this study, continuous time and discrete time speed control devices which were commonly used in the controls of IMs were applied. The effects of different speed control devices on motor parameters were investigated and heuristic algorithms were run in continuous and discrete time. In this way, the performances of heuristic algorithms in determination equivalent circuit parameters of IMs were investigated. The experimental studies were performed on 2,2 kW and 5,5 kW IMs.

As a result of this study, it was seen that DEA runs with minimum 0,07% error in continuous times running conditions and PSO runs with minimum 0,28 error in determination of equivalent circuit parameters of IMs; on the other hand, in discrete time running conditions DEA runs minimum 0,08% error and PSO runs with minimum 0,29% error. In this study, it was discovered that DEA gives better results than PSO. Moreover, it was seen that DEA and PSO produce better results in continuous time running than in discrete time running.

ACKNOWLEDGE

The authors are grateful for the financial support provided by Selcuk University Research Foundation under the Research Project No 14401035.

REFERENCES

- Akbulut, İ., 2009, *Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Anten Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Akkoyunlu, M.C., Engin, O., 2011, "Kesikli Harmoni Arama Algoritması Ile Optimizasyon Problemlerinin Çözümü: Literatür Araştırması", *J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ.*, Vol. 26, No.4, pp. 140-148.
- Arslan, M., Çunkaş, M., Sağ, T., 2012, "Determination of Induction Motor Parameters with Differential Evolution Algorithm", *Neural Computing and Applications*, Vol. 21, No.8, pp. 1995-2004.
- Çolak, İ., *Elektrik Makinaları – 2*, 2014, Seçkin Yayıncılık, Eylül 2014, 3. Baskı, 352 Sayfa.
- Eldem, H., 2014, *Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algortimaları Temelli Bir Hiyerarşik Yaklaşım Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Jirdehi, M.A., Rezaei, A., 2014, "Parameters Estimation of Squirrel-cage Induction Motors Using ANN and ANFIS", *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 55, No.1, pp. 357-368.

- Kampisios, K., Zanchetta, P., Gerada, C., Trentin, A., 2008, "Identification of Induction Machine Electrical Parameters using Genetic Algorithms Optimization", *Industry Applications Society Annual Meeting IAS '08. IEEE*, Edmonton, Alberta, Canada, 1-7, 5-9 October 2008.
- Karaboğa, D., 2014, *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayıncılık,
- Király, I., Žarko, D., 2016, "Extended space Vector Method for Calculation of Induction Motor Parameters", *Electric Power Components and Systems*, Vol. 44, No. 8, pp. 928-940.
- Kiranyaz, S., Ince T., Gabbouj M., 2014, "Multidimensional Particle Swarm Optimization for Machine Learning and Pattern Recognition", *Adaptation, Learning, and Optimization*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 15.
- Laowanitwattana, J., Uatrongjit, S., 2015, "Induction Motor States and Parameters Estimation, using Extended Kalman Filter with Reduced Number of Measurements". *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 18th Inter. Conf. on.*, Pattaya City, Thailand, pp. 1631-1635, 25-28 October 2015.
- Mohamed, Y.S., Hasaneen, B.M., Elbaset, A.A., Hussein, A.E., 2011, "Recursive Least Square Algorithm for Estimating Parameters of an Induction Motor", *Journal of Eng. Sciences, Assiut Uni.*, Vol. 39, No. 1, pp. 87-98.
- Nutu, C.S., Popescu, M.O., 2016, "Applying Taguchi Method for Control Parameters of an Induction Motor", *University Politehnica Of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering And Computer Science*, Vol. 78, No.2, pp. 203-208.
- Özcan, E.C., Erol, S., 2013, " Türkiye’de Elektrik Üretim Planlaması İçin Çok Amaçlı Bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli", *Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech.*, Vol. 1, No.1, pp. 41-54.
- Price, K., Storn, R.M., Lampinen, J.A., 2006, "Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization", *Springer; 2005 edition (December 22, 2005)*, 539 pages.
- Sadasivan, J., Mammen, O., 2011, "Genetic Algorithm Based Parameter Identification of Three Phase Induction Motors", *Reproduction*, Vol. 31, No. 10, pp. 51-56.
- Storn, R., Price, K., 1997, "Differential Evolution—a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces", *Journal of Global Optimization*, Vol. 11, No.4, pp. 341-359.
- Terzioğlu, H., Herdem, S., Bal, G., 2013, " The Minimization of Torque Ripples of Segmental Type Switched Reluctance Motor by Particle Swarm Optimization", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, Vol. 4, pp. 199-203.
- Terzioğlu, H., Kazan, F.A., Arslan, M., *Asenkron ve Senkron Makineler*, Mesleki Akademi, 2014, p.246.
- Tofighi, E.M., Mahdizadeh, A., Feyzi, M.R., 2013, "Online Estimation of Induction Motor Parameters using a Modified Particle Swarm Optimization Technique", *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE*, Vienna, Austria, pp. 3645-3650, 10-14 November 2013.

ACIL DURUM HABERLEŞMESİNDE KULLANILAN EL TELSİZİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SEÇİLMESİ

¹Atiye Zeynep KÜTÜKCÜ, ²Tamer EREN

^{1,2}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE
¹zeynept83@hotmail.com, ²teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 08.05.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.10.2016)

ÖZ: Türkiye jeolojik yapısı, topografik konumu ve iklim özellikleri bakımından doğal afetlerin yaşanma olasılığının yüksek olduğu bir ülkedir. Olası bir doğal ve insan kaynaklı afet veya arama-kurtarma faaliyeti öncesinde gereken önlemlerin alınması ve afet sonrası yardım faaliyetlerinin yürütülebilmesi için haberleşme sistemlerinin önemi büyüktür. Bu anlamda ilgili birimler arasında kurulacak iletişimin sağlanması için düzgün bir haberleşme altyapısı oluşturmanın gerekliliği açıktır. Bir afet olması durumunda mevcut bulunan birçok sistem devre dışı kalmakta ve haberleşmenin devam etmesi için kullanılacak en ideal çözümlerden biri "Telsiz Haberleşmesi" olmaktadır. Bu nedenle telsiz haberleşmesinin ana bileşeni olan telsizin seçimi ve acil durum haberleşmesinde verimli olarak kullanımı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü bünyesinde oluşturulan haberleşme altyapısı kapsamında alınması planlanan el telsizi seçim problemi ele alınmıştır. El telsizi seçim problemi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHS, AAS, TOPSIS ve ELECTRE kullanılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Acil durum haberleşmesi, El telsizi, Çok ölçütlü karar verme, AHS, AAS, TOPSIS, ELECTRE

Selection of The Hand-Held Radio Transceivers Which is Used for Emergency Communications with Multi Criteria Decision Making Methods

ABSTRACT: Turkey is a country where possibility of experiencing natural disasters is high in terms of geological structure, topographic location and climate characteristics. Before a possible natural and man-made disaster or search and rescue activity, communication systems have great importance in order to be taken necessary precautions and can be carried out post-disaster help activities. In this sense it's clear that necessity of building a proper communication infrastructure in order to be provided communication which is established between relevant units. In the event of a disaster existing most systems be disabled and "Wireless Communication" is one of the most ideal solutions to be used for continuation of communication. Therefore it gain importance that selection of the radio transceiver which is major component of wireless communication and its productive use in emergency communication. In this study, hand-held radio transceivers which are planned to be bought within the scope of communications infrastructure established in Provincial Disaster and Emergency Directorate, selection problem is tackled. Multi-criteria decision making models such as AHP, ANP, TOPSIS and ELECTRE are used for hand-held radio transceivers selection problem and obtained results are compared with each other.

Key Words: Emergency communication, Handheld radio transceivers, Multi-Criteria decision making, AHP, ANP, TOPSIS, ELECTRE

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye jeolojik yapısı, topografik konumu ve iklim özellikleri bakımından doğal afetlerin, jeolojik konumu ve eğitimsizlik, bilgisizlik, dikkatsizlikle beraber insanların doğayla etkileşimleri sonucunda oluşan insan kaynaklı afetlerin sıklıkla yaşandığı bir ülkedir. Doğal afetler insan kontrolü dışında gerçekleşir, büyük can ve mal kayıplarına neden olabilir. Ancak insan kaynaklı afetler kaza niteliği taşırlar. Olası bir afet öncesinde gereken önlemlerin alınması ve afet sonrası yardım faaliyetlerinin kesintisiz yürütülebilmesi için haberleşme sistemlerinin önemi büyüktür. Bu nedenle ilgili birimler arasında kurulacak iletişimin sağlanması için modern bir haberleşme sistemi altyapısı oluşturmanın gerekliliği açıktır. Bir afet olması durumunda mevcut bulunan telefon şebekeleri ve bunlara bağlı sistemler ile haberleşme, aşırı yüklenme vb. sebeplerle sağlanamamaktadır. Birçok sistem devre dışı kalmakta ve haberleşmenin devam etmesi için kullanılacak en ideal çözümlerden biri "Telsiz Haberleşmesi" olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, acil durum haberleşmesinin düzgün bir şekilde yürütülebilmesi için oluşturulması gereken haberleşme altyapısı kapsamında "Telsiz Haberleşmesi" nin önemini ortaya koymaktır. Buna bağlı olarak İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde haberleşme altyapısı oluşturmak için alınması planlanan el telsizi seçim problemi ele alınmıştır.

Bu çalışmanın giriş bölümünde, çalışmanın önemi ve amacı ortaya konulmuş, materyal ve yöntem bölümünde de problemin çözümünde kullanılacak yöntemler hakkında genel bilgi verilmiştir. Çalışmanın literatür araştırması bölümünde, çok ölçütlü karar verme yöntemleri ve radyo haberleşmesini içeren literatür çalışması sunulmuştur. Haberleşme ve haberleşme sistemleri başlığı altında, haberleşme sistemlerinden genel olarak bahsedilmiş ve radyo haberleşmesine değinilmiştir. Çalışmanın bulgular ve değerlendirme bölümünde, yöntemin probleme uygulanışı gösterilmiş ve son bölümde de elde edilen sonuçlar üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Problemin çözümünde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemleri hakkında şu şekilde bilgi verilebilir:

ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ (MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS)

Çok ölçütlü karar verme; sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya eleme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir (Hwang ve Yoon, 1981), (Evren ve Ülengin, 1992). Burada ÇÖKV yöntemlerinden olan ve problemin çözümünde kullanılan yöntemlerden birincisi açıklanmıştır:

Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (Analytic Hierarchy Process Method)

AHS Yaklaşımı, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen (Saaty, 1980) belirli hiyerarşiye göre düzenlenen kriterleri içeren, bu kriterlerin ağırlıklarını değerlendiren, kriterlere göre seçenekleri karşılaştıran ve sıralama yapılmasını sağlayan bir yaklaşımdır (Hu and Peng., 2008). AHS yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Modelin Kurulması ve Problemin Formüle Edilmesi: AHS yaklaşımında karar sürecini etkileyen tüm nicel ve nitel faktörler bu konuda uzman kişilerin görüşleri değerlendirilerek oluşturulmaktadır. Elde edilen bilgiler sonucunda amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenir.

Adım 2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması: Problem tanımlandıktan sonra ikili karşılaştırmalar ölçeği kullanılarak veriler toplanır ve ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir.

Adım 3: Kriter Ağırlıklarının ve Alternatiflerin Skorlarının Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrisleri yardımıyla her alternatifin ağırlığı hesaplanmaktadır. İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütun

değeri, bulunduğu sütun toplamına bölünerek matris normalleştirilmektedir. Normalleştirilmiş matristeki her sütunun toplam değeri 1 olmaktadır. Son olarak satırda yer alan değerlerin ortalamaları bulunarak öz vektörler elde edilmektedir.

Adım 4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması ve Sonuç Değerlendirme: Tutarlılık indeksini (CI) hesaplamak için (1) numaralı formül kullanılmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Formülde CI tutarlılık indeksini, λ_{\max} matristeki en büyük öz değeri, n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir.

Tutarlılık oranını (CR) hesaplamak için (2) numaralı formül kullanılmaktadır.

$$CR = CI/RI \quad (2)$$

Formülde RI, rassal indeks oranlarını göstermektedir. İkili karşılaştırmaların tutarlı olması için tutarlılık oranının 0,10'un altında olması istenmektedir.

Burada ÇÖKV yöntemlerinden olan ve problemin çözümünde kullanılan yöntemlerden ikincisi açıklanmıştır:

Analitik Ağ Süreci Yöntemi (Analytic Network Process Method)

Problemler her zaman hiyerarşik bir yapıyla ifade edilemeyebilirler. Böyle problemlerde yer alan kriterler ve alternatifler birbirleriyle karşılıklı etkileşim halinde olabilirler. Bu durumda, bileşenlerin ağırlıklarını (görelî önem vektörlerini) bulabilmek için daha karmaşık bir sürecin analizi gerekmektedir. Analitik Ağ Süreci bu tür problemlerde kullanılabilen bir tekniktir (Üstün ve diğ., 2005). ANP yöntemi 6 adımda uygulanmaktadır:

Adım 1: Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması: İlk aşamada karar problemi tanımlanmaktadır. Amaç, ana kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin net biçimde ifade edilmesidir (Ersöz ve diğ., 2011).

Adım 2: Kriterler arası Etkileşimlerin Belirlenmesi: İç ve dış bağımlılıklar ve varsa kriterler arası geri bildirimler ilişkilendirilmektedir.

Adım 3: Temel Karar Vericiler Arası İkili Karşılaştırma

Adım 4: Elde Edilen Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Kontrolü: İkili karşılaştırmalar bir matris şeklinde yapılır ve böylece kriterlerin öncelik değerleri elde edilmiş olur.

Adım 5: Süper Matrisin Oluşturulması ve Analizi: Süper matris, parçalı bir matris olup, her matris bölümü bir sistem içindeki iki kriter arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kriterlerin birbirleri üzerindeki uzun dönemli nispi etkisini belirleyebilmek için süper matrisin kuvveti alınmaktadır. Önem ağırlıklarının bir noktada eşitlenmesini sağlamak için süper matrisin $(2n+1)$. kuvveti alınır, buradan rastgele seçilmiş büyük bir sayıdır ve elde edilen yeni matris limit süper matris olarak isimlendirilmektedir (Görener, 2009). Süper matrisin genel hali (3) numaralı matriste gösterilmiştir.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (7)$$

Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması (8) numaralı formülde gösterilmiştir.

$$A^- = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right) \right\} \quad A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (8)$$

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: Her bir alternatife ilişkin karşılaştırma kriter değerleri bulunurken pozitif ve negatif ideal çözüm kümesinden uzaklıklar Öklid uzaklık yaklaşımı ile hesaplanır. Pozitif ideal çözüm kümesinden sapma değerleri hesaplanırken (9a) numaralı formül, negatif ideal çözüm kümesinden sapma değerleri hesaplanırken (9b) numaralı formül kullanılır. Hesaplanan S_i^* ve S_i^- değerleri sayısı, alternatif sayısı kadar olacaktır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (9a) \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9b)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Yakınlık katsayısı değerinin nasıl hesaplanacağı (10) numaralı formülde gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (10)$$

Formülde gösterilen C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında yer alır ve C_i^* değerinin 1'e yakın olması ideal çözüme olan yakınlığını ve 0'a yakın olması ideal çözüme olan uzaklığını gösterir. Burada ÇÖKV yöntemlerinden olan ve problemin çözümünde kullanılan yöntemlerden dördüncüsü açıklanmıştır:

ELECTRE Yöntemi (Elimination and Choice Translating Reality Method)

Yöntem, her bir değerlendirme faktörü için alternatifler arasındaki ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanmaktadır. ELECTRE yöntemi 8 adımda uygulanmaktadır:

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar verici tarafından başlangıç matrisi olarak oluşturulan A matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler (m), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterleri (n) yer almaktadır. Karar matrisi (11) numaralı matristeki gibi oluşturulmuştur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Normalizasyonda maliyet kriterleri için (12) numaralı formül kullanılmaktadır.

$$x_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{a_{ij}}\right)^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Normalizasyonda fayda kriterleri için (13) numaralı formül kullanılmaktadır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ij})^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Hesaplamalar sonucunda normalize X_{ij} matrisi (14) numaralı matristeki gibi oluşturulur.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar vericiler tarafından ilk olarak değerlendirme faktörlerinin ağırlıkları (w_i) belirlenmelidir. Daha sonra (15) numaralı formülle X matrisindeki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak Y matrisi oluşturulmaktadır.

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_m x_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Adım 4: Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Belirlenmesi: Uyum setlerinin belirlenmesi için Y matrisinden yararlanılır. Alternatifler değerlendirme faktörleri açısından kıyaslanır ve uyum/uyumsuzluk setleri oluşturulur. (16) numaralı formülüne göre C_{kl} satır elemanları birbirleriyle büyüklük açısından karşılaştırılmaktadır. Uyum setleri oluşturulurken $k \neq l$ olmalıdır. Bir uyum setindeki eleman sayısı en fazla değerlendirme faktörü sayısı (n) kadar olabilir.

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (16)$$

Yöntemde her uyum setine (C_{kl}) karşılık bir uyumsuzluk seti (D_{kl}) bulunmaktadır. Uyumsuzluk seti elemanları, ilgili uyum setine ait olmayan j değerlerinden oluşmaktadır. D matrisinin elemanları (D_{kl}), (17) numaralı formül ile hesaplanmaktadır.

$$D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\} \quad (17)$$

Uyum ve uyumsuzluk setlerinde maliyet ve fayda kriterleri bulunmaktadır. Maliyet kriteri olması durumunda uyum seti formülünün tersi alınmalıdır.

Adım 5: Uyum (C) ve Uyumsuzluk (D) Matrislerinin Oluşturulması: Uyum matrisinin oluşturulması için uyum setlerinden yararlanılır. C matrisinin elemanları (18) numaralı formül ile hesaplanmakta ve (19) numaralı matris gibi gösterilmektedir.

$$c_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (18) \quad C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (19)$$

(D) Uyumsuzluk matrisinin elemanları (20) numaralı formül ile hesaplanmakta ve (21) numaralı matris gibi gösterilmektedir.

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (20) \quad D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (21)$$

Adım 6: Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Oluşturulması: Uyum üstünlük matrisinin elemanları uyum eşik değerinin (\underline{c}) uyum matrisinin elemanlarıyla (c_{kl}) karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir. Uyum eşik değeri (\underline{c}), (22) numaralı formülle hesaplanmaktadır. m karar noktası sayısını göstermektedir.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (22)$$

Uyum üstünlük matrisinin (F) elemanları (f_{kl}) (23 ve 24) numaralı formüllerle belirlenmektedir.

$$c_{kl} \geq \underline{c} \rightarrow f_{kl} = 1 \quad (23) \quad c_{kl} < \underline{c} \rightarrow f_{kl} = 0 \quad (24)$$

Uyumsuzluk üstünlük matrisinin (G) elemanlarını oluşturmak için öncelikle uyumsuzluk eşik değeri (\underline{d}), (25) numaralı formülle hesaplanmaktadır.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (25)$$

G matrisinin elemanları (g_{kl}), da F matrisine benzer şekilde sadece "1" ve "0" değerlerini alırken, matrisin köşegeni üzerinde aynı karar noktaları gösterildiğinden değer yoktur. G matrisinin elemanları (g_{kl}), (26 ve 27) numaralı formüllerde gösterildiği gibi değerlendirilmiştir.

$$d_{kl} \geq \underline{d} \rightarrow g_{kl} = 1 \quad (26) \quad d_{kl} < \underline{d} \rightarrow g_{kl} = 0 \quad (27)$$

Adım 7: Toplam Üstünlük Matrisinin (E) Oluşturulması: Toplam üstünlük matrisinin elemanları e_{kl} , f_{kl} ve g_{kl} elemanlarının karşılıklı çarpımına eşittir. E matrisi $m \times m$ boyutlu ve "1" ve "0" değerlerinden oluşmaktadır. Matriste "1" değerini alan alternatif diğer alternatife göre daha üstün kabul edilmektedir.

Adım 8: Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi: E matrisinin satır ve sütunları alternatifleri göstermektedir. Matrisin değerlerine göre sıralama yapılmalıdır.

LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Radyo/telsiz haberleşmesi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

Koçkan (2008), taşıtlar arası haberleşme konulu tez çalışmasında kablosuz ağ teknolojilerini araştırmış, araştırma sonucunda belirlenen uygun ağ teknolojisiyle, araçtan araca bir ağ kurulum uygulaması gerçekleştirmiş, Aytaç ve Birgün (2011), çalışmalarında Hava Kuvvetleri Komutanlığı (HvKK) ikmal sisteminin mevcut durumunu göz önünde bulundurarak, olası bir Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) sistemi seçimi esnasında, en uygun RFID sistemini seçmek amacıyla önemli olan kriterleri belirleyerek hiyerarşik bir model oluşturmuş ve bu model üzerinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemini kullanarak bir uygulama gerçekleştirmiştir. Metelev (2012), çalışmasında aralıklı antenlerden sinyallerin oluşumu için, sinyal işleme algoritmaları ve aygıtlarının testinde benzetim kullanılarak iyonosfer kaynaklı yüksek frekanslı radyo kanalı olarak kullanılmak üzere bir model önermektedir. Prunckun (2014), Bu makale uluslararası teröristler tarafından kablosuz yayınların muhtemel kullanımı sırasında güvenli bir iletişim ortamı sağlamayı tartışmaktadır. Kuo ve Fitch (2014), İletişim bağlantıları, modül dengesizliğini tolere etmeli ve komşudan komşuya iletişim modelini uygulamalıdır. Bu makalede, bu zorlukları ele alan modül başına çoklu wireless' e dayalı bir kablosuz sistem önerilmektedir. Grancharova ve diğ., (2015), çalışmasında döner kanatlı İHA' larının yörünge planlama problemlerini çözmek için bir dağıtılmış doğrusal MPC yaklaşımı önerilmiştir. Pandit ve Singh (2015), Bilişsel radyo iletişim sistemleri spektrum paylaşımı için iki farklı uyarılma politikası ile ortalama parazit gücü kısıtı altında çevre kayıplarıyla kanal kapasitesi sayısal olarak hesaplanmıştır. Cano ve Allen (2015), çalışmada yörüngesel açısal momentum (OAM) haberleşme sistemleri için iki yeni çoklu-anten faz-gradyan saptama şemaları sunulmaktadır. Bunların bit hata oranı performansları Monte Carlo simülasyonları ile elde edilmektedir. Sayyed ve diğ. (2015), Bu çalışmada Çift-Küme Tek Telsiz Haberleşme Mimarisi (DSSRC) bir İHA' na bir WSN ve çukur düğümüyle iki yönlü bir şekilde iletişim

kurmaya izin vermektedir. Önerilen mimari böyle İHA' dan WSN' e devam eden en iyi ve en güvenilir haberleşme gibi özellikle farklı ağ QoS gereksinimlerini desteklemek üzere tasarlanmıştır.

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

AHS yöntemi kullanılarak literatürde yapılmış çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Nikou ve Mezei (2013), Mobil servislerin ve bu servislere yönelimi etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi, Caputo ve diğ. (2013), Endüstriyel düzeneklerde güvenlik araçları seçimi, E. Önder ve diğ. (2014), Hemşirelik kariyerine yönelime neden olan faktörlerin değerlendirilmesi, Bade ve diğ., (2014), İşbirlikçi tedarik zinciri risk faktörleri değerlendirilmesi, Fenta ve diğ. (2015), Kuzey Etiyopya Raya Vadisi uzaktan algılama ve CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme kullanılarak yeraltı suyu potansiyelinin mekansal analizi, Asuquo (2015), QOS Mobil veri ağlarının değerlendirilmesi, Özder ve Eren (2015a), tedarikçi seçimi, Bedir ve diğ. (2015) tedarikçi seçimi üzerine çalışmışlardır.

ANP yöntemi kullanılarak son yıllarda literatürde yapılmış çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Thangamani (2012), ANP yöntemini teknoloji seçimi, Bastı ve Boyar (2012), muhasebe paket programı seçimi, Özder ve Eren (2015b), tedarikçi seçimi, Özder ve diğ. (2016), akademik personel seçimi üzerine çalışmışlardır.

TOPSIS yöntemi kullanılarak son yıllarda yapılmış çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Yılmaz ve Konyar (2013), Finansal performans değerlendirme, Danaei ve Haghighi (2013), Stok market performans değerlendirilmesi İç ve diğ., (2015), Finansal göstergelere göre firma seçimi, Özder ve diğ. (2015), tedarikçi seçimi, Lakshmi ve diğ. (2015), TOPSIS'te çelişkili kriterlerin kullanılması ile daha iyi bir laptop tanımlanması üzerine çalışmışlardır.

ELECTRE yöntemi kullanılarak son yıllarda yapılmış çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Çakın ve Özdemir (2013), İzmir'de makine sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için saç malzeme seçimi, Orçanlı ve Özdemir (2013), Tüketicilerin kredi kartı seçimleri, Çelik ve Ustasüleyman (2014), Türkiye'deki üç GSM operatörünün hizmet kalitesinin, performansının değerlendirilmesi, Soba ve Kemal (2014), Uşak'ın beş ilçesi için banka şubesi açılma kararı, üzerine çalışmışlardır.

Literatür incelendiğinde, telsiz haberleşmesi ve ÇÖKV yöntemlerinin beraber ele alındığı çalışmaya rastlanılmamıştır. Haberleşme sistemleri ile genellikle elektrik-elektronik ve elektronik-haberleşme mühendislerinin ilgilendiği ve daha çok bu konunun teknik kısmıyla ilgili çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada farklı olarak telsiz haberleşmesi incelenmiş, bunun acil durum haberleşmesindeki önemi ortaya konulmuş ve problem ÇÖKV yöntemleri ile çözülmüştür.

HABERLEŞME VE HABERLEŞME SİSTEMLERİ (COMMUNICATION AND COMMUNICATION SYSTEMS)

Ses, görüntü, video, veri gibi bilgilerin kablolu veya kablosuz olarak bir yerden bir yere yüksek verim ve kalitede, güvenli olarak iletilmesine haberleşme denir. İnsanoğlu var olduğundan beri haberleşme ihtiyacı hissetmiştir. Geçmişten günümüze kadar haberleşme yapmak için pek çok yöntem kullanılmış ve bu süreçte çeşitli haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. Geçmişten günümüze gelen haberleşme sistemlerini altı gruba ayırabiliriz: Telefon, Küresel Mobil İletişim Sistemleri (GSM), Faks, Uydu Haberleşme Sistemleri, İnternet ve Telsiz Haberleşmesi.

Bu çalışmanın temel konusu olan telsiz haberleşmesinden kısaca şu şekilde bahsedilebilir:

Telsiz ve Telsiz Haberleşmesi (Radio and Radio Communication): Telsiz haberleşmesi; elektromanyetik dalgalar yoluyla, resim, ses gibi verilerin bir yerden diğerine gönderilmesine denir. Telsiz haberleşmesi, sabit ve hareketli birimlerin birbirleriyle ve ana birim ile haberleşmesinde ciddi bir öneme sahiptir. Normal hayat koşullarında telefon, faks, internet gibi çeşitli araçlarla haberleşme sağlanmaktadır. Fakat savaş, terör saldırısı ve doğal afetler gibi olağanüstü koşullar oluşması durumunda kablolu haberleşme sistemleri arızalanmakta veya tamamen devre dışı kalmaktadır. Bu koşullarda telsiz haberleşmesi en iyi seçenek olmaktadır. Telsiz haberleşme cihazlarını ve sistemlerini şu şekilde sınıflandırabiliriz: Telsiz kullanım alanlarına göre; kara, hava, deniz olarak, kullanım şekillerine göre; el, araç, sabit telsiz cihazları, çalışma frekanslarına göre; HF, VHF, UHF olarak üçe ayrılır. HF

(High Frequency yani Yüksek Frekans): Uzun mesafe görüşmelerde kullanılır. VHF (Very High Frequency yani Çok Yüksek Frekans): Orta ve kısa mesafe haberleşmede kullanılır. UHF (Ultra High Frequency yani Aşırı Yüksek Frekans): Tesir mesafesi daha kısadır. Ancak bina vb. engellerin bulunduğu yerlerde daha etkili bir haberleşme sağlar.

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND EVALUATION)

Bu bölümde ilk olarak bu problemin ele alınma sebepleri, alternatif ve kriterlerin nasıl belirlendiği ve yöntemleri kullanarak nasıl sonuçlar elde edildiği üzerinde durulacaktır.

Problemin Tanımı (Definition of the Problem)

Geçmişten günümüze kadar insanoğlu, iletişimini devam ettirmek için birçok yöntem kullanmıştır. Bununla beraber değişen hayat şartlarında gereksinimlerle beraber haberleşme yöntemleri de farklılık göstermiş, mevcut haberleşme sistemlerinin eksikleri yenileriyle giderilmeye çalışılmıştır. Türkiye, 1999 yılında meydana gelen, büyük oranda can ve mal kayıplarına neden olan Marmara depremi sonrasında acil durum haberleşmesi altyapısının eksikliğini ciddi anlamda hissetmiştir. Acil durum haberleşme altyapısının eksikliği, kurum ve kuruluşlar arasındaki iletişim ve koordinasyon noksanlığı, yaşanan kayıpları ve acıları daha da artırmıştır. Deprem sonrasında telsiz haberleşmesinin önemi daha iyi anlaşılmış ve günümüze kadar devam eden süreçte acil durum haberleşmesi kapsamında telsiz altyapısı adım adım geliştirilmiştir.

Kurum ve kuruluşlar kendi bünyelerinde haberleşme birimi oluşturmuş ve bu birimlerde görev alacak yetkili mühendis ve teknisyenler belirlenmiştir. Birimler ve kurumların kendi aralarındaki koordinasyonu telsiz haberleşmesi ile sağlanmış, olaylara yerinde ve zamanında müdahale imkânı doğmuştur. Hali hazırda birçok kurum ve kuruluş tarafından yürütülen haberleşme altyapısı projeleri devam etmekte ve geliştirilmektedir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından Haberleşme ve Bilişim Altyapı Projeleri kapsamında Kesintisiz ve Güvenli Haberleşme Sistemi Projesi (KGHS) yürütülmektedir. Proje kapsamında Başkanlık tarafından taşra teşkilatı olan İl Afet ve Acil Durum Müdürlüklerine, illerin nüfusuna ve Büyükşehir Belediyesi olup olmadığına göre farklı bütçelerde ve adetlerde el telsizi alımı yapılacaktır.

Bu çalışmada bir ilin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü bünyesinde oluşturulan haberleşme altyapısı kapsamında alınması planlanan el telsizi seçim problemi ele alınmıştır. Problemden kullanılan kriterler, kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri kurumun haberleşme biriminde görevli mühendis ve teknisyenlerin uzman görüşü ile uygulama yapılan ilin deneyimli TRAC (Türkiye Radyo Amatörleri Cemiyeti) üyelerinin görüşleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Amatör telsizcilik, hiçbir menfaat gözetmeksizin ve beklemezsizin kendilerine ayrılmış frekans bantlarında yapılan telsiz haberleşmesine verilen isimdir. Bu faaliyeti yürütenlere de amatör telsizci denir. Amatör telsizciler, bilgi ve tecrübelerini paylaşmak, ortak çalışmalar yapmak üzere kendi aralarında gönüllülük esasına göre çalışan sivil toplum kuruluşları kurmuşlardır. Bu derneklerden birisi de TRAC'dır. Radyo amatörlerinin kurdukları bu dernekler, afet hallerinde Sivil Savunma kuruluşlarına gönüllü olarak haberleşme desteği vermektedir. TRAC gerekli hukukî prosedürü yerine getirmesi sebebiyle kamu yararına çalışan bir kuruluş sayılmaktadır.

Problemin çözümünde kullanılan alternatif ve kriterler ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Alternatives and Criteria):

Acil durum haberleşmesinde kullanılacak el telsizi seçim problemi çok ölçütlü karar verme tekniklerinden AHS, ANP, TOPSIS ve ELECTRE kullanılarak çözülecektir. Ayrıca AHS ve ANP

yöntemlerinden elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerine entegre edilmiştir. Daha sonra elde edilen bütün sonuçlar değerlendirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Belirlenen kriterler şu şekilde açıklanmıştır:

Kriterler (Criteria):

Problemin çözümü için 5 adet kriter belirlenmiştir. Bunlar duyum hassasiyeti, pil ömrü, işlevsellik, fiziksel korunum, maliyet ve satış sonrası hizmet olarak sıralanabilir. Bu kriterlerin belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan bilgiler uygulama yapılan ildeki ve diğer büyük illerdeki firma bayiliklerinden elde edilmiştir. Kriterler aşağıdaki gibi ayrıntılı olarak açıklanmıştır:

1.Duyum Hassasiyeti: Günümüz şartlarında çeşitli bantlarda kullanılan cihazlardan veya aynı frekansta bulunan kullanıcılardan kaynaklı kirlilik oluşmaktadır. Duyum Hassasiyeti cihazın bulunduğu frekanstaki kaliteli veriyi alabildiği, en düşük μV veya dBm değeridir. Bu değerlerin düşük olması cihazın o kadar iyi olduğunu gösterir. Desibel (dB), sinyal gücünün miktarıdır. dB sembolü, hangi ölçü değerleri ile karşılaştırıldığını belirtmek için çoğu kez diğer ölçü sembollerıyla birlikte kullanılır. Örnek olarak dBm , 1 miliwatt karşılığı desibel değeridir.

2.Pil Ömrü: Pilin verimli kullanım durumunda dayanabildiği maksimum süreye pil ömrü denir.

3.İşlevsellik: Cihazın kullanıcı tarafından rahatlıkla kullanılabilmesine denir. El telsizi seçiminde işlevsellik kriteri ekran görüntüsü ve yalın tuş kontrolü olmak üzere iki ana bileşenden oluşur.

-Ekran görüntüsü: Kanal ismi, güç seviyesi durumu, kanal özelliği, GPS durumu, okunmamış ileti simgesini içerir.

-Yalın tuş kontrolü: Her tuşun kısa ve uzun süreli basılma durumundaki işlevidir.

4.Fiziksel Korunum: Cihazın yağmur, su, toz, yüksekten düşme, güneş radyasyonu, vibrasyon vb. dış etkenlere karşı korunumunu içerir. MIL-STD 810 vb. standardına göre belirlenir. Sıcaklık, rüzgar, nem, yağmur, toz vb. çevre koşullarına maruz kalma durumları için geliştirilmiş standartlardır.

5.Maliyet ve Satış Sonrası Hizmet: Cihazda istenen özelliklerin yanı sıra minimum maliyetli olması ve satış sonrası servis işlemlerinin zamanında yapılmasıdır.

Problemin çözümünde kullanılacak alternatifler şu şekilde açıklanmıştır:

Alternatifler (Alternatives)

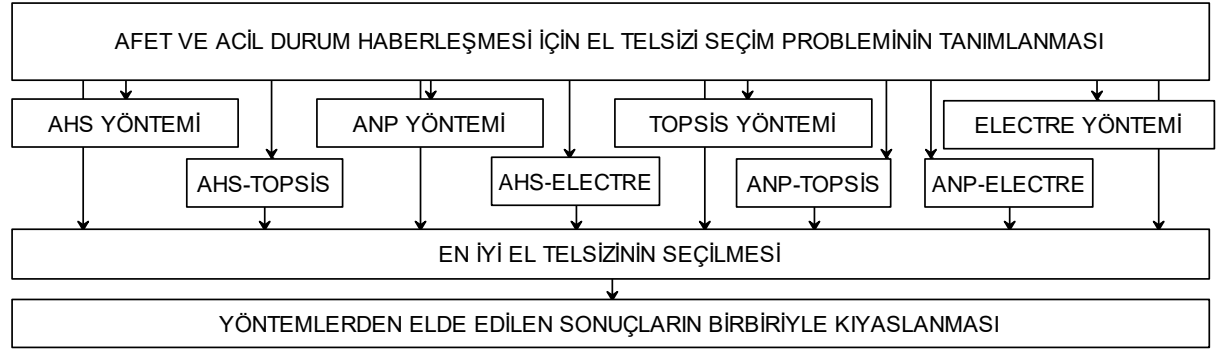
Alternatifler belirlenirken seçilecek olan el telsizinde istenilen minimum özellikler uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Bunun neticesinde farklı marka ve modeller incelenerek 4 alternatif üzerinde karar kılınmıştır. Bunlar; Motorola DP-4801, HyTera X1p, Aselsan 4900, Aselsan 4700'dür. Afet ve acil durum haberleşmesi için kullanılacak el cihazlarında bulunması gerekli minimum şartlar aşağıdaki gibidir:

- 140-170 Mhz arasındaki frekanslarda kullanılabilmelidir.
- Sayısal özellikte olmalıdır.
- En az 4 watt çıkış gücü
- En çok $0.40 \mu\text{V}$ veya -115dBm dinleme hassasiyeti olmalıdır.
- 12,5 / 20 /25 kHz kanal genişliğinde olmalıdır.
- Frekans kararlılığı sayısal için en fazla $\pm 3.5 \text{ppm}$ olmalıdır.
- Intermodülasyon değeri en az 60 dB olmalıdır.
- Su geçirmezliği en az cihazın gövdesine herhangi bir yönden gelen su sıçramaları cihaza zarar vermez olmalıdır.

• Toza Dayanıklı en az toz zerrelere, cihazın normal işleyişini engelleyecek, güvenliğini bozacak şekilde cihazın içine giremez olmalıdır.

Karar verme, genel olarak seçenek kümesinden, en az bir amaç doğrultusunda ve bir ölçüte dayanarak en uygun, mümkün bir ya da birkaç seçeneği seçme sürecidir. Buna göre karar verme süreci karar vericinin seçenekler, ölçütler, çevresel etkiler, karar vericinin öncelikleri ve kararın sonuçları

elemanlarını içerir. Süreç, karar vericinin mevcut seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması şeklinde bitebilir. Bu aşamada en doğru kararı vermek için çok ölçütlü karar verme yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Belirli kriterlerin genel olarak ikili karşılaştırmalarının esas alındığı çok ölçütlü karar verme yöntemleri en doğru kararın verilmesine sayısal verilerle yardımcı olmaktadır [38]. Bu çalışmada, el telsizi seçim problemi için 5 kriter ve 4 alternatif belirlenmiştir. ÇÖKV yöntemlerini kullanmaktaki amaç alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmektir. El telsizi seçim probleminde çözüm sırasında izlenecek yol Şekil 1’de gösterilmiştir.



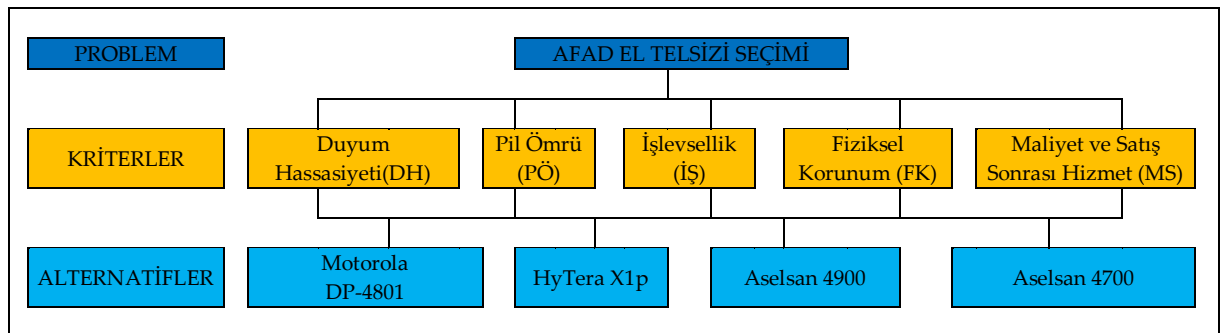
Şekil 1. El Telsizi seçim probleminin algoritması
Figure 1. Algorithm of hand-held radio transceivers selection problem

Birinci yöntemin probleme uygulanışı şu şekilde gösterilmiştir:

Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (Analytic Hierarchy Process Method)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminde kullanılan alternatif ve kriterler Şekil 2’de gösterilmiştir. AHS yöntemi ile problem çözümü 4 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Modelin Kurulması ve Problemin Formüle Edilmesi



Şekil 2. Alternatif ve kriterler
Figure 2. Alternatives and criteria

Adım 2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması: Duyum hassasiyeti kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Duyum hassasiyeti kriterinin ikili karşılaştırma matrisi

Table 1. Pairwise comparison matrix of hearing sensitivity criterion

Alternatif	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
M-4800	1.00	1.28	1.49	1.49
HyTera X1p	0.78	1.00	1.49	1.49
A-4900	0.67	0.67	1.00	1.00
A-4700	0.67	0.67	1.00	1.00

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0232/0.90=0.0258 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.
Pil ömrü kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Pil ömrü kriterinin ikili karşılaştırma matrisi

Table 2. Pairwise comparison matrix of battery life criterion

Alternatif	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
M-4800	1	1 4/5	1 2/7	1 2/7
HyTera X1p	5/9	1	8/9	8/9
A-4900	7/9	1 1/9	1	1
A-4700	7/9	1 1/9	1	1

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0022/0.90=0.0025 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.
İşlevsellik kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. İşlevsellik kriterinin ikili karşılaştırma matrisi

Table 3. Pairwise comparison matrix of functionality criterion

Alternatif	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
M-4800	1.00	0.67	1.14	1.14
HyTera X1p	1.50	1.00	0.90	0.90
A-4900	0.88	1.11	1.00	1.00
A-4700	0.88	1.11	1.00	1.00

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0174/0.90=0.0193 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.

Fiziksel etkilere karşı korunum kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Fiziksel etkilere karşı korunum kriterinin ikili karşılaştırma matrisi

Table 4. Pairwise comparison matrix of conservation against physical effects criterion

Alternatif	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
M-4800	1	1	1 1/8	1 1/2
HyTera X1p	1	1	1 2/9	1 2/7
A-4900	8/9	5/6	1	1 1/6
A-4700	2/3	7/9	6/7	1

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0012/0.90=0.0013 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.

Maliyet ve satış sonrası hizmet kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Maliyet ve satış sonrası hizmet kriterinin ikili karşılaştırma matrisi

Table 5. Pairwise comparison matrix of cost and after sales service criterion

Alternatif	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
M-4800	1	7/8	1 1/4	1 1/5
HyTera X1p	1 1/7	1	1 4/9	1 1/3
A-4900	4/5	2/3	1	1
A-4700	5/6	3/4	1	1

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0011/0.90=0.0012 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.

Kriter ağırlıklarının ve ağırlıkların skorlarının belirlenmesine yarayacak kriter matrisi verileri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Kriter matrisi

Table 6. Criterion matrix

Alternatif/Kriter	DH	PÖ	İŞ	FK	MS
M-4800	0.318	0.324	0.243	0.282	0.265
HyTera X1p	0.281	0.202	0.264	0.277	0.302
A-4900	0.150	0.237	0.247	0.238	0.208
A-4700	0.201	0.237	0.247	0.202	0.224

Adım 3: Kriter Ağırlıklarının ve Alternatiflerin Skorlarının Belirlenmesi: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Table 7. Pairwise comparison matrix of criteria

Kriter	DH	PÖ	İŞ	FK	MS
DH	1.00	1.29	1.00	1.80	1.00
PÖ	0.78	1.00	0.71	1.40	0.78
İŞ	1.00	1.40	1.00	0.80	1.00
FK	0.56	0.71	1.25	1.00	0.56
MS	1.00	1.29	1.00	1.80	1.00

Adım 4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması ve Sonuç Değerlendirme: Alternatiflere göre göreceli öncelikler Çizelge 8’de gösterilmiştir.

$CR=CI/RI \Rightarrow CR=0.0219/1.12= 0.0243 \leq 0.10$ olduğundan matris tutarlıdır.

Çizelge 8. Alternatiflere göre göreceli öncelikler

Table 8. Relative priorities according to the alternatives

Alternatif/Kriter	DH	PÖ	İŞ	FK	MS
M-4800	0.318	0.324	0.243	0.282	0.265
HyTera X1p	0.281	0.202	0.264	0.277	0.302
A-4900	0.150	0.237	0.247	0.238	0.208
A-4700	0.201	0.237	0.247	0.202	0.224

Kriterlere göre göreceli öncelikler Çizelge 9’da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Kriterlere göre göreceli öncelikler

Table 9. Relative priorities according to the criteria

Kriterler	Öncelikler
DH	0.231
PÖ	0.177
İŞ	0.205
FK	0.156
MS	0.231

Ürünlerin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirileceği sonuç skorları Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10. Ürünlere göre sonuç değerlendirme

Table 10. Result assessment according to the products

Alternatifler	Ağırlıklar
M-4800	0.286
HyTera X1p	0.268
A-4900	0.212
A-4700	0.222

AHS yönteminden elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

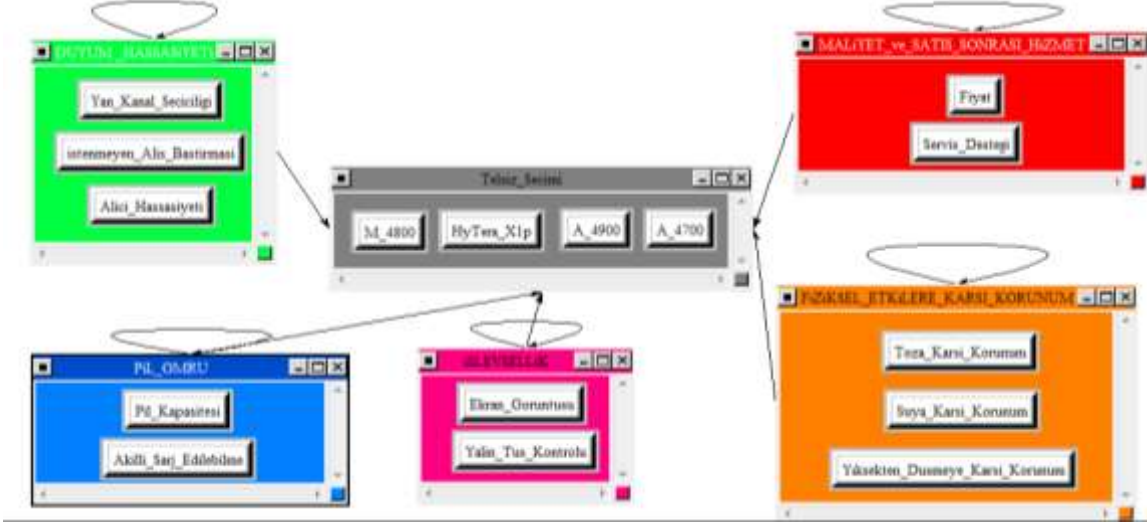
Değerlendirme: Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminin probleme uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirilirse en yüksek skora sahip Motorola DP-4800 model el telsizi ilk sırada, daha sonra HyTera X1p ikinci sırada, Aselsan 4700 üçüncü sırada ve Aselsan 4900 model el telsizi dördüncü sırada seçilmiştir. İkinci yöntemin probleme uygulanışı şu şekilde gösterilmiştir:

Analitik Ağ Süreci Yöntemi (Analytic Network Process Method)

El telsizi seçim problemi ANP yöntemi ile 6 adımda çözülmüştür.

Adım 1: Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması: Probleme ait alternatif, kriter ve alt kriterler Şekil 3 'te gösterilmiştir.

Adım 2: Kriterler Arası Etkileşimlerin Belirlenmesi: ANP yöntemine ait kriter, alt kriter ve alternatifler Şekil 3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Problemin ağ yapısı

Figure 3. Network structure of the problem

Adım 3: Temel Karar Vericiler Arası İkili Karşılaştırma: ANP yöntemine göre ağırlıklandırma yapılacak kriterler "x" ile gösterilmiş, yapılmayacaklar ise boş bırakılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

	Duyum Hassasiyeti			Fiziksel Korunum			İşlevsellik		Maliyet ve Satış Sonrası Hizmet		Pil Ömrü		Alternatifler			
	1.A.H.	2.İ.A.B.	3.Y.K.S.	1.S.K.K.	2.T.K.K.	3.Y.D.K.K.	1.E.G.	2.Y.T.K.	1.F.	2.S.D.	1.A.Ş.E.	2.P.K.	Aselsan 47	Aselsan 49	HyTera X1P	Motorola 48
Duyum Hassasiyeti	1.A.H.	X	X	X												
	2.İ.A.B.	X	X	X												
	3.Y.K.S.	X	X	X												
Fiziksel Korunum	1.S.K.K.				X	X	X									
	2.T.K.K.				X	X	X									
	3.Y.D.K.K.				X	X	X									
İşlevsellik	1.E.G.							X	X							
	2.Y.T.K.							X	X							
Maliyet ve Satış Sonrası Hizmet	1.F.									X	X					
	2.S.D.									X	X					
Pil Ömrü	1.A.Ş.E.											X	X			
	2.P.K.											X	X			
Alternatifler	Aselsan 47	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Aselsan 49	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	HyTera X1P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Motorola 48	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			

Şekil 4. ANP yöntemine göre ağırlıklandırmalar

Figure 4. Weightings according to the ANP method

Adım 4: Elde Edilen Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Kontrolü: Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık hesaplamaları Super Decisions programında hesaplanmıştır.

Adım 5: Süper Matrisin Oluşturulması ve Analizi: Super Decisions programında elde edilen süper matrisin ekran görüntüsü Şekil 5'te gösterilmiştir.

	Duyum Hassasiyeti			Fiziksel Korunum			İşlevsellik		Maliyet ve Satış		Pil Ömrü		Alternatifler				
	1.A.H.	2.İ.A.B.	3.Y.K.S.	1.S.K.K.	2.T.K.K.	3.Y.D.K.K.	1.E.G.	2.Y.T.K.	1.F.	2.S.D.	1.A.Ş.E.	2.P.K.	Aselsan 4700	Aselsan 4900	HyTera X1P	Motorola 4800	
Duyum Hassasiyeti	1.A.H.	0,208	0,208	0,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.İ.A.B.	0,125	0,125	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	3.Y.K.S.	0,167	0,167	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fiziksel Korunum	1.S.K.K.	0,000	0,000	0,000	0,227	0,227	0,227	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.T.K.K.	0,000	0,000	0,000	0,136	0,136	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	3.Y.D.K.K.	0,000	0,000	0,000	0,136	0,136	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
İşlevsellik	1.E.G.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,294	0,294	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.Y.T.K.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,206	0,206	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maliyet ve Satış Sonrası Hizmet	1.F.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,400	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.S.D.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pil Ömrü	1.A.Ş.E.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,286	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.P.K.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,214	0,214	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alternatifler	Aselsan 4700	0,066	0,135	0,119	0,074	0,119	0,129	0,060	0,107	0,111	0,156	0,026	0,118	0,000	0,000	0,000	0,000
	Aselsan 4900	0,066	0,135	0,119	0,074	0,119	0,145	0,160	0,143	0,105	0,156	0,158	0,118	0,000	0,000	0,000	0,000
	HyTera X1P	0,147	0,095	0,131	0,176	0,143	0,065	0,160	0,107	0,151	0,063	0,158	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000
	Motorola 4800	0,221	0,135	0,131	0,176	0,119	0,161	0,120	0,143	0,133	0,125	0,158	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000

Şekil 5. Süper matris

Figure 5. Super matrix

Adım 6: En İyi Seçeneğin Seçimi.

ANP yönteminden elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: Genel bir değerlendirme yapılacak olursa beş ana kriter içerisinde duyum hassasiyeti ve fiziksel korunum 0.125 genel ağırlığa sahip olmasından dolayı en önemli kriterler olmaktadır. Alternatifler arasında 0.151 ağırlığına sahip olan Motorola 4800 model el telsizi öncelikli tercih olarak ortaya konulmuştur. Sonuç değerlendirme ekran görüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir.

		Normalized By Cluster	Limiting
Duyum Hassasiyeti	1.A.H.	0.417	0.052
	2.İ.A.B.	0.250	0.031
	3.Y.K.S.	0.333	0.042
Fiziksel Korunum	1.S.K.K.	0.455	0.057
	2.T.K.K.	0.273	0.034
	3.Y.D.K.K.	0.273	0.034
İşlevsellik	1.E.G.	0.588	0.049
	2.Y.T.K.	0.412	0.034
Maliyet ve Satış Sonrası Hizmet	1.F.	0.800	0.067
	2.S.D.	0.200	0.017
Pil Ömrü	1.A.Ş.E.	0.571	0.048
	2.P.K.	0.429	0.036
Alternatifler	Aselsan 4700	0.190	0.095
	Aselsan 4900	0.240	0.120
	HyTera X1P	0.268	0.134
	Motorola 4800	0.303	0.151

Şekil 6. Sonuç değerlendirme

Figure 6. Result assessment

Üçüncü yöntemin probleme uygulanışı şu şekilde gösterilmiştir:

TOPSIS Yöntemi (Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution Method)

TOPSIS yönteminin probleme uygulanması 6 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Karar Matrisinin (A_{ij}) Oluşturulması: Kriter matrisi Çizelge 11'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Kriter matrisi

Table 11. Criteria matrix

Alternatif/Kriter	DH	PÖ	İŞ	FK	MS
M-4800	45	27	60	48	44
HyTera X1p	50	17	82	50	50
A-4900	60	19	82	42	35
A-4700	60	18	55	42	37

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R_{ij}) Oluşturulması: Standart karar matrisi (5a) numaralı formül yardımıyla r_{ij} değerlerinin hesaplanmasıyla R_{ij} matrisi elde edilmiştir.

$$W_i = \{0.22 \quad 0.20 \quad 0.22 \quad 0.14 \quad 0.22\} \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V_{ij}) Oluşturulması: Ağırlıklı standart karar matrisi (V), (6) numaralı formülle hesaplanmıştır.

Adım 4: Pozitif İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözüm Kümelerinin Oluşturulması: TOPSIS yönteminde belirtilen (7) numaralı formül ile A_{max} değerleri hesaplanır. TOPSIS yönteminde belirtilen (8) numaralı formül ile A_{min} değerleri hesaplanır.

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: TOPSIS yönteminde belirtilen (9a) ve (9b) formülleri ile ayırım ölçüleri hesaplanır.

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: TOPSIS yönteminde belirtilen (10) formülü ile ideal çözüme göre yakınlıklar hesaplanır. Ayırım ölçüleri ve ideal çözüme göreli yakınlıkların hesaplanmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 12. Ayırım ölçüleri ve ideal çözüme göreli yakınlıklar
Table 12. Distinction measures and relative affinities to ideal solution

S1 +	0.048509	S1 -	0.05524	C 1	0.532443	M-4800
S2 +	0.052551	S2 -	0.059671	C 2	0.531721	HyTera X1p
S3 +	0.056594	S3 -	0.052731	C 3	0.482332	A-4900
S4 +	0.070529	S4 -	0.031302	C 4	0.307392	A-4700

TOPSIS yönteminden elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: TOPSIS yöntemine göre yapılan hesaplamaların sonucunda ideal çözüme yakınlık değeri $C_1^* = 0.532443$ en yüksek olan Motorola marka DP-4801 model ürün seçilmiştir.

Dördüncü yöntemin probleme uygulanışı şu şekilde gösterilmiştir:

ELECTRE Yöntemi (Elimination and Choice Translating Reality Method)

ELECTRE yönteminin probleme uygulanması 8 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Karar Matrisinin (A_{ij}) Oluşturulması: ELECTRE yönteminde kullanılacak olan karar matrisi Çizelge 13'te verildiği gibidir.

Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Normalizasyonda maliyet kriterleri için (12) numaralı, fayda kriterleri için (13) numaralı formül kullanılmaktadır.

$$w_i = \{0.22 \quad 0.20 \quad 0.22 \quad 0.14 \quad 0.22\} \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Ağırlıklı standart karar matrisi (Y), (15) numaralı formülle X matrisindeki elemanların ilgili w_i değeri ile çarpılmasıyla elde edilir.

Adım 4: Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Belirlenmesi: C matrisinin elemanları (c_{kl}) (16) numaralı formülüne göre, D matrisinin elemanları (d_{kl}), (17) numaralı formül ile hesaplanmaktadır.

Adım 5: Uyum (C) ve Uyumsuzluk (D) Matrislerinin Oluşturulması: Uyum matrisi (C), (19) numaralı; uyumsuzluk matrisi (D), (21) numaralı matriste gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.

Adım 6: Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Oluşturulması: Yöntemdeki (22) numaralı formülde belirtildiği şekilde \underline{c} uyum indeksi hesaplanır. Elde edilen uyum indeksi değeri (23) ve (24) numaralı formüllerde gösterildiği şekilde c_{kl} değerleri ile kıyaslanır Böylece e_{kl} değerleri oluşturulur.

Adım 7: Toplam Üstünlük Matrisinin (E) Oluşturulması: Belirlenen e_{kl} değerleri ile toplam üstünlük matrisi (E) oluşturulur. (25) numaralı formülde belirtildiği şekilde \underline{d} uyumsuzluk indeksi hesaplanır.

Elde edilen uyumsuzluk indeksi değeri (26) ve (27) numaralı formüllerde gösterildiği şekilde d_{kl} değerleri ile kıyaslanır Böylece f_{kl} değerleri oluşturulur.

Adım 8: Karar Noktalarının Önem Sırasının Belirlenmesi: Hesaplanan net üst ve net alt değerler Çizelge 13'te gösterilmiştir.

Çizelge 13. Net üst ve net alt değerler

Table 13. Clear upper and clear lower values

Alternatifler	Net En Üst Değer	Net En Alt Değer	Net En Üst Değer Sıralaması	Net En Alt Değer Sıralaması
M-4800	0.08	-0.738	2	1
HyTera X1p	0.62	-0.719	1	2
A-4900	-0.06	-0.266	3	3
A-4700	-0.64	1.723	4	4

ELECTRE yönteminden elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: ELECTRE yönteminin probleme uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara göre; bir değerlendirme yapacak olursak net en üst değere göre HyTera X1p marka, Net en alt değer sıralamasında ise Motorola 4800 marka el telsizi öncelikli olarak tercih edilmiştir.

AHS – TOPSIS Entegrasyonu (AHP - ELECTRE Integration)

Analitik hiyerarşi süreci yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları alınarak TOPSIS yöntemine uygulanmıştır. Karar vericiler tarafından oluşturulan kriter matrisi Çizelge 13'te gösterildiği gibidir. Alınan ağırlıklar şu şekildedir:

$$Ağırlıklar = [0.231 \quad 0.177 \quad 0.205 \quad 0.156 \quad 0.231]$$

İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri Çizelge 14'te gösterilmiştir.

Çizelge 14. Ayırım ölçüleri ve ideal çözüme göreli yakınlıklar

Table 14. Distinction Measures and Relative Affinities to Ideal Solution

S1 +	0.048189	S1 -	0.051107	C 1	0.514692	M-4800
S2 +	0.047903	S2 -	0.059454	C 2	0.553795	HyTera X1p
S3 +	0.055427	S3 -	0.051223	C 3	0.480292	A-4900
S4 +	0.066978	S4 -	0.032753	C 4	0.328413	A-4700

AHS-TOPSIS entegrasyonundan elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: Problemin çözümünde AHS yönteminden alınan ağırlıkların TOPSIS yöntemine entegre edilmesiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilirse ideal çözüme göreli yakınlığın en fazla olduğu HyTera X1p model el telsizi tercih edilmektedir.

AHS – ELECTRE Entegrasyonu (AHP - ELECTRE Integration)

El telsizi seçim problemi AHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarının ELECTRE yönteminde kullanılmasıyla çözülecektir. Karar vericiler tarafından oluşturulan kriter matrisi Çizelge 13'te gösterildiği gibidir. Alınan ağırlık değerleri şu şekildedir:

$$Ağırlıklar = [0.231 \quad 0.177 \quad 0.205 \quad 0.156 \quad 0.231]$$

Yöntemin sonucunda oluşan net en üst ve net en alt değerler Çizelge 15'te gösterilmiştir.

Çizelge 15. Net üst ve net alt değerler

Table 15. Clear upper and clear lower values

Alternatif/Kriter	DH	PÖ	İŞ	FK
M-4800	0.02	-0.494	3	2
HyTera X1p	0.809	-0.694	1	1
A-4900	0.044	-0.299	2	3
A-4700	-0.873	1.487	4	4

AHS – ELECTRE entegrasyonundan elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: Problemin çözümünde AHS yönteminden alınan ağırlıkların ELECTRE yöntemine entegre edilmesiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilirse net en üst değere göre HyTera X1p model, net en alt değere göre yine HyTera X1p model el telsizi diğerlerine göre öncelikli olarak tercih edilmektedir.

AAS – TOPSIS Entegrasyonu (ANP - TOPSIS Integration)

El telsizi seçim problemi ANP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarının TOPSIS yönteminde kullanılmasıyla çözülecektir. Karar vericiler tarafından oluşturulan kriter matrisi Çizelge 13'te gösterildiği gibidir. Alınan ağırlık değerleri şu şekildedir:

$$\text{Ağırlıklar} = [0.250 \quad 0.167 \quad 0.167 \quad 0.250 \quad 0.166]$$

İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri Çizelge 16'da gösterilmiştir.

Çizelge 16. Ayırım ölçüleri ve ideal çözüme göreli yakınlıklar
Table 16. Distinction measures and relative affinities to ideal solution

S1 +	0.045199	S1 -	0.047539	C 1	0.512615	M-4800
S2 +	0.046591	S2 -	0.050082	C 2	0.518054	HyTera X1p
S3 +	0.049093	S3 -	0.047725	C 3	0.492937	A-4900
S4 +	0.059007	S4 -	0.035092	C 4	0.372924	A-4700

AAS – TOPSIS entegrasyonundan elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

Değerlendirme: Problemin çözümünde ANP yönteminden alınan ağırlıkların TOPSIS yöntemine entegre edilmesiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilirse ideal çözüme göreli yakınlığın en fazla olduğu HyTera X1p model el telsizi diğerlerine göre öncelikli olarak tercih edilmektedir.

AAS – ELECTRE Entegrasyonu (ANP - ELECTRE Integration)

El telsizi seçim problemi ANP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarının ELECTRE yönteminde kullanılmasıyla çözülecektir. Karar vericiler tarafından oluşturulan kriter matrisi Çizelge 13'te gösterildiği gibidir. Alınan ağırlık değerleri şu şekildedir:

$$\text{Ağırlıklar} = [0.250 \quad 0.167 \quad 0.167 \quad 0.250 \quad 0.166]$$

Yöntemin sonucunda oluşan net en üst ve net en alt değerler Çizelge 17'de gösterilmiştir.

Çizelge 17. Net üst ve net alt değerler

Table 17. Clear upper and clear lower values

Alternatifler	Net En Üst Değer	Net En Alt Değer	Net En Üst Değer Sıralaması	Net En Alt Değer Sıralaması
M-4800	0	-0.292	3	2
HyTera X1p	0.831	-0.164	1	3
A-4900	0.003	-0.728	2	1
A-4700	-0.834	1.184	4	4

AAS – ELECTRE Entegrasyonundan elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır

Değerlendirme: Problemin çözümünde ANP yönteminden alınan ağırlıkların TOPSIS yöntemine entegre edilmesiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilirse net en üst değere göre HyTera X1p model, net en alt değere göre ise Aselsan 4900 model el telsizi diğerlerine göre öncelikli olarak tercih edilmektedir.

Uygulanan bütün yöntemlerden elde edilen sonuçlar tek bir tabloda gösterilmiş ve yorumlanmıştır.

Genel Değerlendirme: Problemimizin AHS, ANP, TOPSIS, ELECTRE AHS-TOPSIS, AHS-ELECTRE ANP-TOPSIS ve ANP-ELECTRE yöntemleri ile çözümünden elde edilen veriler doğrultusunda bir tablo elde edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 18'de gösterilmiştir.

Çizelge 18. Yöntemlerin genel değerlendirmesi*Table 18. General assessment of the methods*

Yöntem	M-4800	HyTera X1p	A-4900	A-4700
AHS	1	2	4	3
ANP	1	2	3	4
TOPSIS	1	2	3	4
ELECTRE N.E.Ü.D.	2	1	3	4
ELECTRE N.E.A.D	1	2	3	4
AHS-TOPSIS	2	1	3	4
AHS-ELECTRE NEÜD	3	1	2	4
AHS-ELECTRE NEAD	2	1	3	4
ANP-TOPSIS	2	1	3	4
ANP-ELECTRE NEÜD	3	1	2	4
ANP-ELECTRE NEAD	2	3	1	4

NEÜD : Net en üst değer

NEAD: Net en alt değer

Değerlendirme: Tabloya bakıp özetlemek gerekirse; AHS, ANP, TOPSIS, ELECTRE N.E.A.D yöntemlerinin uygulanması neticesinde Motorola marka DP-4801 model el telsizi; ELECTRE N.E.Ü.D., AHS-TOPSIS, AHS-ELECTRE N.E.Ü.D, AHS-ELECTRE N.E.A.D, ANP-TOPSIS, ANP-ELECTRE N.E.Ü.D, yöntemlerinin uygulanması neticesinde HyTera marka X1p model el telsizi ve ANP-ELECTRE N.E.A.D. uygulanması neticesinde ise Aselsan marka 4900 model el telsizi öncelikli seçim olarak elde edilmiştir. Genel olarak; problemin çözümünde kullanılan ana yöntemler olan AHS, ANP, TOPSIS, ELECTRE ile yapılan çözümlerde Motorola DP-4801 model el telsizinin ancak ağırlıkların alınarak TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri ile sıralamaların yapıldığı entegre çözümlerde ise HyTera marka X1p model el telsizinin 1. sırada tercih edildiği görülmüştür. TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin adımları birbirine benzediği için çıkan sonuçların benzer olması şaşırtıcı değildir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada uygulama yeri olarak telsiz haberleşmesini aktif olarak kullanan yerlerden birisi olan bir ilin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tercih edilmiştir. Haberleşme altyapısı oluşturulması kapsamında “el telsizi seçim problemi” ele alınmış ve problemin çözülmesi için AHS, ANP, TOPSIS, ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler literatürde en çok kullanılan yöntemlerdir. Ancak bu çalışmada, AHS ve ANP yöntemlerinin sonucunda ortaya çıkan kriter ağırlıkları kullanılarak bu yöntemlerin TOPSIS ve ELECTRE ile entegrasyonları yapılmış ve sıralamalar elde edilmiştir. Problemden kullanılan kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri kurumun haberleşme biriminde görevli mühendis ve teknisyenlerin uzman görüşü ile uygulama yapılan ilin deneyimli TRAC (Türkiye Radyo Amatörleri Cemiyeti) üyelerinin görüşleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ortaya çıkan sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Gelişmiş ülkelerde telsiz haberleşmesi sadece afet anında veya acil durumlarda, kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılan bir sistem değildir; aynı zamanda günlük hayatın ayrılmaz bir parçasıdır. Yurtdışında radyo amatörlüğü bir hobi olmanın ötesinde birçok alanda kullanılmaktadır. Ticari kaygıları olmadığı gibi kurum ve kuruluşlarla da bilgi alış-verişinde bulunmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı, telsiz haberleşmesinin önemini anlaşılmasına yardımcı olmak ve ülkemizde de günlük hayatta yaygınlaşmasını sağlamaktır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde haberleşme sistemleri ile genellikle elektrik-elektronik ve elektronik-haberleşme mühendislerinin ilgilendiği ve daha çok bu konunun teknik kısmıyla ilgili çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada farklı olarak telsiz haberleşmesi incelenmiş, bunun acil durum haberleşmesindeki önemi ortaya konulmuş ve problem ÇÖKV yöntemleri ile çözülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Asuquo, E. D., 2015, "Analytic Hierarchy Process for QOS Evaluation of Mobile Data Networks", *International Journal of Computer Networks or Communications*, Vol. 7 (6), pp. 125-137.
- Aytaç Ö.G., Birgün, S., 2011, "Radyo Frekansı ile Tanımlama Sistemi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Vol. 1(5), pp. 81-88.
- Bade, A., Prostean, G., Gilles Goncalves, G., Hamid Allaoui, H., 2014, "Assessing Risk Factors in Collaborative Supply Chain with the Analytic Hierarchy Process (AHP)", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 124, pp. 114-123.
- Bastı, M., Boyar, E., 2012, "Muhasebe Paket Programı Seçiminde Analitik Ağ Sürecinin Kullanımı", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Vol. 34, pp. 261-280.
- Bedir N., Özder E. H., Eren T., 2015, "The Third Party Logistics Firm Selection Using AHP-PROMETHEE Methods". 13th International Logistics and Supply Chain Congress, İzmir, 22 – 23 October 2015.
- Cano, E., Allen, B., 2015, "Multiple-Antenna Phase-Gradient Detection for OAM Radio Communications", *IET Journals and Magazines*, Vol. 9, (51), pp. 724-725.
- Caputo, A. C., Pelagagge, P.M., Salini, P., 2013, "AHP-Based Methodology for Selecting Safety Devices of Industrial Machinery", *Safety Science*, Vol. 53, pp. 202-218.
- Cristóbal, J.R.S., 2012, "Contractor Selection Using Multicriteria Decision-Making Methods", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 138 (6), pp. 751-758.
- Çakın, E., Özdemir, A., 2013, "Tedarikçi Seçim Kararında Analitik Ağ Süreci (ANP) ve ELECTRE Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama". *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Vol. 15 (2), pp. 339-364.
- Çelik, N., Murat, G., 2010, "Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Üniversite Dinamik Entegre Strateji Model Geliştirilmesi", *Yönetim*, Vol. 21 (67), pp. 32-51.
- Çelik, P., Ustasüleyman, T., 2014, "ELECTRE I ve PROMETHEE Yöntemleri ile GSM Operatörlerinin Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, Vol. 6, (12), pp. 137-160.
- Danaei, A., Haghighi, M. M., 2013, "Measuring The Relative Performance of Stock Market Using TOPSIS". *Management Science Letters*. Vol. 3 (1), pp. 91-96.
- Ersöz, F., Kabak M., Yılmaz, Z., 2011 "Lisansüstü Öğrenimde Ders Seçimine Yönelik Bir Model Önerisi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Vol. 8 (2), pp. 227-249.
- Evren, R., Ülengin, F., 1992, *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Fenta, A. A., Kifle, A., Gebreyohannes, T., Hailu, G., 2015, "Spatial Analysis of Groundwater Potential Using Remote Sensing and GIS-Based Multi-Criteria Evaluation in Raya Valley, Northern Ethiopia", *Affiliated with Institute of Geo-information and Earth Observation Sciences*, Vol. 23 (1), pp. 195-206.
- Görener, A., 2009, "Kesici Takım Tedarikçisi Seçiminde Analitik Ağ Sürecinin Kullanımı", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Vol. 4 (1), pp. 99-110.
- Grancharova, A., Grøtli, E. I., Ho, D., Johansen, T. A., 2015, "UAVs Trajectory Planning by Distributed MPC under Radio Communication Path Loss Constraints", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 1 (79), pp. 115-134.
- Jun, H., Jian-Liang P., 2008, "Application of Supplier Selection Based on the AHP Theory". *Knowledge Acquisition and Modeling Workshop (International Symposium, Wuhan, China, pp. 1095-1097, 21-22 December 2008.*
- Hwang, C.L., Yoon, K. P., 1981, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", Springer-Verlag, 1981.
- İç, Y. T., Tekin, M., Pamukoğlu, F. Z., Yıldırım, S. E., 2015, "Kurumsal Firmalar İçin Bir Finansal Performans Karşılaştırma Modelinin Geliştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 30 (1), pp. 71-85.

- Koçkan, C., 2008, Taşıtlar Arası Haberleşme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kuo, V., Fitch, R., 2014, "Scalable Multi-Radio Communication in Modular Robots", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 7 (62), pp. 1034-1046.
- Lakshmi, T. M., V Prasanna Venkatesan; Martin, A., 2015, "Identification of a Better Laptop with Conflicting Criteria Using TOPSIS", *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, Vol. 7(6), pp. 28-36.
- Metev, S., 2012, "Modification of the Watterson Model of The Ionospheric HF Radio Communication Channel for Adaptive Spaced Reception". *Radiophysics and Quantum Electronics*, Vol. 4 (55), pp. 241-252.
- Nikou, S., Mezei, J., 2013, "Evaluation of mobile Services and Substantial Adoption Factors with Analytic Hierarchy Process (AHP)", *Telecommunications Policy*, Vol. 37 (10), pp. 915-929.
- Orçanlı, K., Özdemir, A., 2013, "Kredi Kartı Seçimine Yönelik Bir Karar Modeli ve Uygulama: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) - ELECTRE Yöntemi", *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 4 (1), pp. 077-106.
- Önder, G., Aybas, M., Önder, E., 2014, "Hemşirelerin Stres Seviyesine Etki Eden Faktörlerin Öncelik Sırasının Çok Kriterli Karar Verme Tekniği İle Belirlenmesi", *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, Vol. 1 (1), pp. 21-35.
- Özder E. H., Eren T. 2015a, "Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Entegrasyonu: Örnek Bir Uygulama", 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu: Ege Üniversitesi, İzmir, 14 – 16 Ekim 2015.
- Özder E. H., Eren T., 2015b, "Integration of Analytic Network Process and Goal Programming Methods in Supplier Selection: A Case Study". XVIIth International Symposium On Econometrics, Operations Research And Statistics, Edirne, 7 - 12May 2015.
- Özder E. H., Bedir N., Eren T., 2016, "Academic Staff Selection with ANP & PROMETHEE Method: A Case Study In Turkey", 32. International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI), UAE-Dubai, 5 March 2016.
- Özder E. H., Eren T., Çetin Özel S., 2015, "Supplier Selection With TOPSIS And Goal Programming Methods: A Case Study". *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, Vol. 19(1), pp. 109-112.
- Pandit, S., Singh, G., 2015, "Channel Capacity in Fading Environment with CSI and Interference Power Constraints for Cognitive Radio Communication System", *Wireless Networks*, Vol. 4, (21); pp.1275-1288.
- Prunckun, H., 2014, "Covert Radio Communications: a Viable Tactic for International Terrorists?", *Defense and Security Analysis*, Vol. 2(30), pp. 176-184.
- Saaty, T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, USA: Mcgraw-Hill International Book Company.
- Sayyed, A., Araújo, G. M., Bodanese, J. P., Becker, L. B., 2015, "Dual-Stack Single-Radio Communication Architecture for UAV Acting As a Mobile Node to Collect Data in WSNs", *Sensors*, Vol. 9(15), pp. 23376-23401.
- Soba, M., Kemal, M., 2014, "Banka Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ve ELECTRE Metodu ile Belirlenmesi: Uşak İlçeleri Örneği", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Vol. 11(25), pp.459-473.
- Thangamani, G., 2012, "Technology Selection for Product Innovation Using Analytic Network Process (ANP) – A Case Study", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 3(5), pp. 560-565.
- Üstün Ö., Özdemir M.S., Demirtaş E.A., 2005, "Kıbrıs Sorunu Çözüm Önerilerini Değerlendirmede Analitik Serim Süreci Yaklaşımı", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Vol. 16(4), pp. 2-13.
- Yılmaz, B. B., Konyar, A. M., 2013, "Financial Performance Evaluation of Publicly Held Lodging Companies Listed in Istanbul Stock Exchange with TOPSIS Method", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 95, pp. 143-151.

ANP VE TOPSIS YÖNTEMLERİYLE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIM ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Evren Can ÖZCAN, ² Sultan ÜNLÜSOY, ³Tamer EREN

¹Bakım Yönetim Sistemi Müdürü, Elektrik Üretim A.Ş., ANKARA

^{2,3}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE

¹evrencan.ozcan@euas.gov.tr, ²sultanunlusoy@gmail.com, ³teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 20.10.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.02.2017)

ÖZ: Küresel dünyada milletlerin refah seviyesini yükseltmek için geliştirilmesi zorunlu olan sürdürülebilir kalkınma hamlelerinin önemli bir aşamasını, verimlilik, ekonomiklik ve çevreye duyarlılık temelinde sürdürülebilir enerji politikaları teşkil etmektedir. Bu kapsamda, ülkeler sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarını mümkün olan en üst seviyede elektrik üretiminde kullanmak için çalışmalar yürütmek zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı, azımsanmayacak ölçüde yenilenebilir enerji kaynak potansiyeline sahip olan Türkiye'nin bu kaynaklarını verimli, güvenilir, ekonomik, kesintisiz ve çevreye duyarlı elektrik üretimi gerçekleştirmek amacı doğrultusunda yatırım öncelikleri açısından değerlendirmektir. Bu amaçla çalışmada, literatürdeki çalışmalar ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2015–2019 Stratejik Planı referans alınarak belirlenen ve ağırlıkları ANP (Analytic Network Process) yöntemi ile hesaplanan teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerden oluşan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriter altında, Türkiye'nin sahip olduğu hidroelektrik, rüzgar, biokütle, güneş ve jeotermal enerji kaynakları TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile sıralanmış ve bu kaynaklar ile yapılacak yatırım öncelikleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Çok kriterli karar verme, TOPSIS, ANP, Türkiye.

Evaluation of the Renewable Energy Investments in Turkey Using ANP and TOPSIS Methods

ABSTRACT: Sustainable energy policies constitute the most part of the sustainable development moves which are compulsory to be improved in order to increase prosperity level in global world on the basis of efficiency, economy and environmental awareness. In this scope, the countries have to carry out studies in order to use their renewable energy resources at the highest level possible. Within this context, the aim of this study is to evaluate the resources of Turkey having a considerable amount of potential renewable ones with the goal of realizing efficient, reliable, economic, uninterrupted and environmentally friendly electricity generation. In this study, to reach this goal, hydroelectric, wind, biomass, solar and geothermal energy resources in Turkey have been ranking by TOPSIS method under 4 main criteria and 12 related sub-criteria comprised of technical, economic, social and environmental factors determined based on the studies in literature and 2015-2019 Strategic Plan of the Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) and the weights of which are calculated with ANP method and the investment priorities which will be made by using these resources have been obtained.

Keywords: Renewable energy resources, Multi-Criteria decision making, TOPSIS, ANP, Turkey.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde küresel anlamda yaşanan nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, artan ticaret olanakları ve sürekli gelişen teknolojinin insan hayatında vazgeçilmez bir unsur haline gelişi enerjiye olan talebi her geçen gün biraz daha artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2010-2035 yılları arasında enerji talebindeki artışın %93'ünü gelişmiş ülkelerin oluşturacağını ve bunun maliyetinin 30 trilyon doları bulacağını öngörmektedir (Buntaine ve Pizer, 2015).

2015 sonu itibarıyla dünyada tüketilen enerjinin %87'si petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen fosil kaynaklardan karşılanmıştır (Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, 2016). Yenilenemeyen bu kaynaklar rezerv cinsinden ifade edilmektedir ve bu durum er ya da geç bu kaynakların tükeneyeceği anlamına gelmektedir. Diğer ülkelerden kaynak tedarik etme seçeneği ise, dünya üzerinde süregelen güç dengesi değişimleri nedeniyle güvenilir ve sürdürülebilir bir seçenek olmaktan uzaktır. Bunların yanı sıra, iletişim araçlarıyla çevre bilincinin artması, fosil yakıtların doğal kaynaklar üzerinde küresel seviyede olumsuz etkiye sahip olması ve bu bağlamda gelişen gelecekle ilgili endişeler elektrik üretiminde alternatif kaynak arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir (Kum, 2009).

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de dünya ortalamasının üzerinde seyreden bir enerji talep artışı söz konusudur (Özcan ve Eren, 2014). Elektrik tüketiminin 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık olarak yaklaşık %6,9 artışla 392 TWh'e, baz senaryoya göre ise yıllık ortalama %5,5 artışla 357,4 TWh'e ulaşması beklenmektedir (TEİAŞ, 2016). Bununla birlikte Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti, bu ivmeli artışı verimli, ekonomik ve çevreye duyarlı bir şekilde karşılayabilmek adına sürdürülebilir enerji politikaları geliştirmekte ve bu kapsamda, Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini mümkün olan en üst seviyede kullanarak Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin 100. kuruluş yılı olan 2023'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payını en az %30'a yükseltmeyi hedeflemiştir (Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014). Bu tip stratejik bir hedefin büyük yatırımları beraberinde getirdiği gerçeğinden hareketle, büyük altyapı yatırımları grubuna giren söz konusu santral yatırımlarının birbirleriyle etkileşim içerisinde olan çok sayıda kriterin dikkate alınarak planlanması stratejik açıdan büyük bir öneme sahiptir.

Bu bağlamda çalışmada, problemin büyüklüğü ve çok kriterli yapısı temel alınarak birbirleri ile etkileşim halinde olan birçok kriter ve alt kriter altında karar vericilere analitik çözümler üreten yöntemler grubu olarak tanımlanabilecek çok kriterli karar verme yöntemleri temel alınmış olup ağırlıkları ANP ile hesaplanan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriterle bağlı olarak Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan 5 tip elektrik üretim santrali yatırımının öncelikleri TOPSIS sıralama algoritması ile belirlenmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

İnsanlar günümüzde, günlük ya da iş yaşantılarında birbirleri ile çelişen ya da ilişkili birçok kriterle bağlı olarak kararlar almak durumunda kalmaktadır. Bu kapsamda, yöneylem araştırmasının bir alt disiplini olan ve karar verme sürecini bu gerçeğe göre ele alan çok kriterli karar verme yaklaşımlarının kullanımı her geçen gün daha da fazlaşmaktadır.

Birçok çözüm yaklaşımının var olduğu bu önemli yöneylem araştırması dalında, kriter ve alt kriterler arasındaki etkileşimi dikkate alarak karar verme sürecindeki analitiklik düzeyini artıran bir yöntem olarak ANP ile uygulama kolaylığı ve ürettiği etkin sonuçlar ile sıralama algoritmaları arasında TOPSIS dikkat çekmekte olup literatürde bu yöntemleri birlikte kullanarak yapılmış proje seçiminden (Mahmoodzadeh vd., 2007) pazarlama stratejisi belirlemeye (Wu vd., 2010), yazılım alternatifleri arasından en uygun olanın belirlenmesinden (Perçin ve Gök, 2013) servis sağlayıcı yer seçimine (Chang vd., 2015) kadar birçok çalışma bulunmaktadır.

Dünya siyaseti ve insanlığın enerjiye olan bağımlılığı ile doğası gereği çok kriterli bir yapıya sahip olan ve bu nedenle etkin çözümlerin üretilmesi için analitik yaklaşımlara ihtiyaç duyan enerjiyle ilgili karar verme süreçlerinin bu özellikleri dikkate alındığında, bu problemler kritik optimizasyon problemleri grubuna dahil edilebilir ve bu denli önemli olan bu problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı etkin sonuçlar verecektir (Özcan ve Küçükayarar, 2016). Bu kapsamda, aşağıda verilen çalışmalar gibi bu çalışmada da çok kriterli karar verme yaklaşımlarına başvurulmuş ve yukarıda bahsedilen özellikleri nedeniyle bu yaklaşımlardan ANP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılarak, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak olan yatırımlarının en uygun sırası belirlenen kriterler dahilinde elde edilmiştir.

(Heo vd., 2010), Kore’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım payının belli bir tarihten sonra daha da artırılabileceğinden ve bu nedenle Ar-Ge çalışmalarına verilen önemden bahsetmişler ve çalışmalarında bulanık ANP yöntemi ile göz önünde bulundurulmuş her bir faktörün etkisini değerlendirmişlerdir. (Kaya ve Kahraman, 2010) çalışmalarında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak İstanbul’da yenilenebilir enerji alternatiflerini değerlendirmişler ve üretim yeri seçimi için öneride bulunmuşlardır. (Uysal, 2011), Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli yönlerden önemine vurgu yaptığı çalışmada, GRAF Teorisi ve Matris Yaklaşımı ile seçim için bir model önerirken (Barry vd., 2011), Afrika için 13 farklı kriteri değerlendirerek sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji için teknoloji seçimi yapmışlardır. (Yi vd., 2011), Güney Kore’de yaşanan enerji sıkıntısının üstesinden gelebilmek için yenilenebilir enerji kaynakları ile sürdürülebilir enerjiye katkı sağlayacak çözüm önerisini AHP ve BOCR yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. (Sadeghi vd., 2012), İran’ın ekonomik yönden kalkınması amacıyla, belirlenen 4 alternatif yenilenebilir enerji kaynağı arasından en uygun olanını Bulanık ANP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile seçmişlerdir. (Ertay vd., 2013), sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme için enerji tüketimine dikkat çektikleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden bahsettikleri çalışmalarında, MACBETH ve AHP yöntemlerini kullanarak belirlenen kriterlere göre alternatifleri değerlendirmişlerdir. (Ayan ve Pabuçcu, 2013), ETKB’nin 2010-2014 Stratejik Planından (2009) yola çıkarak yenilenebilir kaynak seçimi problemi için bir hiyerarşi oluşturmuş ve ağırlıkları AHP ile hesaplayarak seçim yapmışlardır. (Yazdani-Chamzini vd., 2013), çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi ile COPRAS yöntemini entegre ederek yenilenebilir enerji kaynakları proje seçiminde göz önünde bulundurulmuş çeşitli faktörleri değerlendirmişler ve mevcut alternatifler arasından en uygun olanını belirlemişlerdir. (Tasri ve Susilawati, 2014), son zamanlarda yaşanan enerji kaynakları kıtlığına dikkat çekerek alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine vurgu yapmışlar ve yenilenebilir enerji kaynakları arasından seçim yapmak için bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. (Ahmad ve Tahar, 2014), Malezya’da sürdürülebilir enerji üretim sistemine katkıda bulunması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini gözden geçirmişler ve belirlenen seçenekler arasından en uygun olanını AHP ile seçmişlerdir. (Büyüközkan ve Güleryüz, 2014), bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki seçim sürecinde kritik öneme sahip kriterleri belirleyerek yatırımcıya maksimum mali faydayı sağlayan en uygun kaynağı bulmak için alternatifler arasında sıralama yapmışlardır. (Şengül vd., 2015) ise, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları arasından seçim yapmak için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. (Trappey vd., 2015), iklimde yaşanan değişikliklerle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin öneminden bahsederek, temel alınan hedefler çerçevesinde SOM (kümeleme yöntemi) ve AHP ile yenilenebilir enerji politikalarını değerlendirmişlerdir. (Abdullah ve Najib, 2016) çalışmalarında, bulanık AHP yöntemini kullanarak Malezya için enerji planlamasında yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmişlerdir. (Al Garni vd., 2016), çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarını Suudi Arabistan için değerlendirmişler ve ekonomik yönden kalkınmaya yönelik bir yaklaşım önermişlerdir. (Stojcetovic vd., 2016), Sırbistan’da yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma kararını verirken önemli olan kriterleri belirlemişler ve Sırbistan için özel koşullara en uyum sağlayacak olan yenilenebilir enerji kaynaklarını SWOT analizi ve AHP kullanarak değerlendirmişlerdir. (Weigelt ve Shittu, 2016) ise çalışmalarında, 1999 ve 2010 yılları arasındaki firmaların kaynak yatırımları

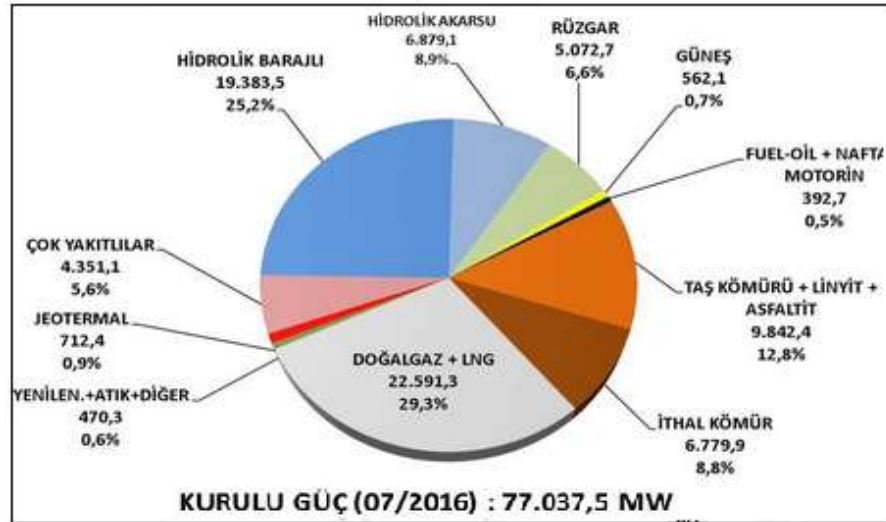
ile rekabetteki çeşitli yönlerden etkisini incelemek amacıyla ABD elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımları incelemiştir.

TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUM VE YENİLENEBİLİR KAYNAK POTANSİYELİ (CURRENT STATUS AND RENEWABLE RESOURCE POTENTIAL IN TURKEY)

Dünya siyasetinin yakın tarihine bakıldığında bütün önemli gelişmeler için temel bir kaide vardır: “Ya politika enerjiyi takip eder, ya da enerji politikayı...”. Bütün güç oyunu aslında bu kural üzerinden döner ve oynanır. Bu bağlamda, herhangi bir uluslararası olayın tarihini yazarken ya da sayfalarca analizini yaparken enerjiden, yani fosil yakıt denkleminde (dünyada tüketilen enerjinin %87’sinin bu kaynaklardan karşılandığı düşünüldüğünde) söz edilmemesi düşünülemez (Özcan ve Küçükayarar, 2016).

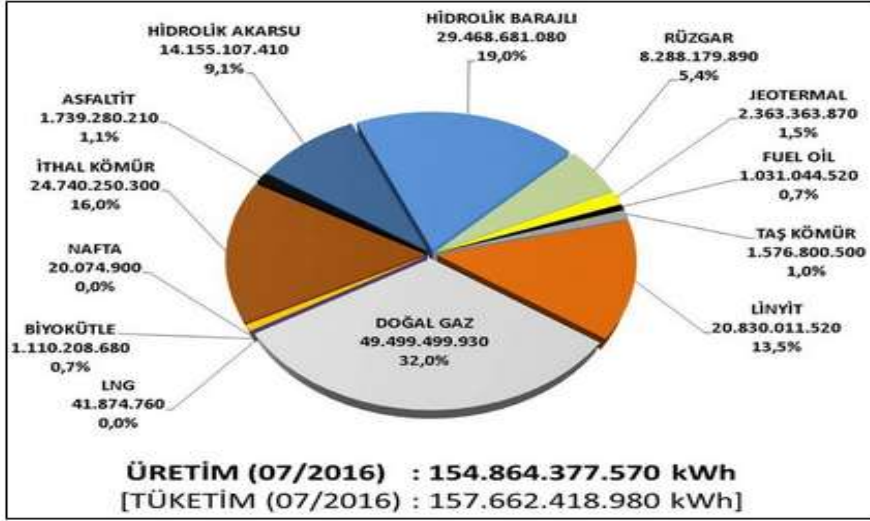
Fosil yakıtlar şimdiye dek her ne kadar dünyanın gelişimini hızlandırmış olsa da, günümüzde dünyanın sonu için olağan şüpheli konumundadır. Ancak, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin 2015 Aralık ayındaki Paris Toplantısı ile dünya gündeminin en tepesine yerleştiği bugünlerde dahi, fosil yakıtsız bir gelecek uzun yıllar öngörülememektedir (Özcan ve Küçükayarar, 2016). Bununla birlikte, fosil yakıtların çevreye verdikleri zarar, yenilenebilir kaynaklara nazaran maliyetlerinin yüksek oluşları ve birçok ülke için ithal kaynak pozisyonunda olmaları, dünya arenasında ülkeleri söz sahibi kılan enerji konusunda sürdürülebilir politika üretme gereksiniminden dolayı, hükümetleri sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarını en etkin bir biçimde kullanma doğrultusunda arayışlar içine sokmaktadır.

Türkiye de dünya ile paralel olarak, 77.000 MW’ı aşan kurulu gücü (Şekil 1) ile Temmuz 2016 sonu itibariyle 160 milyar kWh’e yaklaşan enerji talebinin (Şekil 2) %70’ine yakını (Şekil 3) fosil kaynaklardan karşılamakla birlikte, ürettiği sürdürülebilir enerji politikaları gereği sahip olduğu, 430-450 GWh/yıl hidrolik, 400 GWh/yıl rüzgar, 365 GWh/yıl güneş, 16 GWh/yıl jeotermal ve 1,58 GWh/yıl biokütle (Demir ve Emeksiz, 2016) kaynak potansiyelini hızla elektrik üretimine kanalize etmektedir. Son 3 yılda yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye toplam elektrik üretimi içindeki payının yaklaşık %10 oranında artması ve hükümetin 100. yıl hedefine şimdiden ulaşması bunun en belirgin işaretleridir.



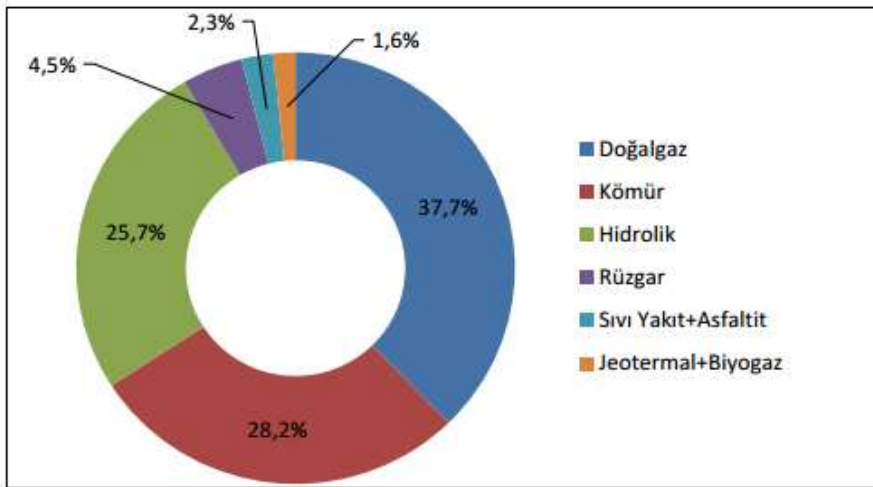
Şekil 1. Türkiye'nin kaynaklara göre kurulu gücü – Temmuz 2016 sonu (TEİAŞ, 2016)

Figure 1. Installed capacity of Turkey according to the resources – End of July, 2016



Şekil 2. Türkiye'nin kaynaklara göre üretim ve tüketimi – Temmuz 2016 (TEİAŞ, 2016)

Figure 2. Electricity generation and consumption of Turkey according to the resources – End of July, 2016



Şekil 3. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı - 2015 sonu (TEİAŞ, 2016)

Figure 3. Distribution of electricity generation of Turkey according to the resources – End of 2015

Yukarıda da değinildiği üzere, sürekli artış eğiliminde olan enerji talebini fosil kaynaklardan sağlamak sonlu bir sürece dahil olmak anlamına gelmektedir. Bu sebeple, yenilenebilir kaynak potansiyelini mümkün olan en üst seviyede kullanmak ülkelerin sürdürülebilir enerji arzı temelinde öncelikli hedefidir. Türkiye de tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerle birlikte bu gerçekler ile hareket etmekte olup yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesi ve çevre dostu enerji teknolojilerin kullanımı ile sera gazı emisyonunun azaltılması ana temasını içeren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olmuş ve 2009 yılında Kyoto Protokolünü imzalamıştır. Ayrıca, Yenilenebilir Enerji Eylem Planı ve yakın zamanda yapılması öngörülen Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nı gündeme getirmiştir. Görüldüğü üzere Türkiye, yenilenebilir kaynak kullanımı konusunda istikrarlı bir şekilde ilerlemekte ve yenilenebilir teşvik mekanizması, gümrük vergisi muafiyeti, vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği, faiz desteği, yatırım yeri tahsisi, katma değer vergisi muafiyeti gibi kolaylıklarla yatırımcıları yenilenebilir enerji kaynak santrallerinin inşası doğrultusunda teşvik etmektedir. Tüm bu gerçekler ve gelişmeler, Türkiye için sahip olunan yüksek yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini hayata geçirmek için yatırım önceliklerinin bütün çerçevesi ile ele alınarak analitik temelli olarak belirlenmesini ön plana çıkarmakta ve bu durum da bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ (MULTICRITERIA DECISION MAKING METHODS)

Çok kriterli karar verme yöntemleri, ölçülebilen ve ölçülemeyen birçok stratejik kriteri bir arada değerlendirme imkânı sunan ve aynı zamanda karar verme sürecinde birden çok kişinin yargısına başvuran analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlerden; kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alması ve böylelikle tek bir yöne bağlı modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırarak karar vericilere daha hassas ve tutarlı sonuçlar üreten ANP (Yıldız, 2014) ile diğer sıralama algoritmalarına nazaran uygulama kolaylığı olan ve etkin sonuçlar üreten TOPSIS yöntemleri sahip oldukları avantajlar nedeniyle bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

ANP (Analytic Network Process)

Bazı problemler hiyerarşik yapıya sahip olmamalarına rağmen problemin çözümünde ele alınan kriter, alt kriter ve alternatifler birbirleriyle etkileşim halinde olabilir. Karar vermede etkili olan kriterler arasındaki ilişkileri göz önünde bulunduran ANP yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP'nin genelleştirilmiş halidir (Alptekin, 2010). ANP, sayısal faktörlerin ifade edilemediği durumlarda da iyi bir çözümleyicidir (Yaralıoğlu, 2010) ve AHP' ye kıyasla daha karmaşık karar verme problemlerine uygulanabilmektedir. ANP yönteminin uygulama adımları şu şekildedir:

Adım 1: Karar Verme Probleminin Belirlenmesi

Adım 2: İlişkilerin Belirlenmesi: Kriter ve alt kriterler arasındaki etkileşimler (içsel/dışsal bağımlılıklar ve geri bildirimler) belirlenir.

Adım 3: Kriterler Arası İkili Karşılaştırmaların Yapılması

Adım 4: Tutarlılığın Hesaplanması: Her bir karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Eğer hesaplanan bu değer 0,10'dan küçükse matris tutarlıdır.

Adım 5: Süper Matrislerin Sırayla Oluşturulması:

-Ağırlıklandırılmamış Süpermatris: Süpermatrisler , problemi oluşturan kriter, alt kriter ve alternatifler arasındaki tüm etkileşimlerin hesaplamaya katıldığı üstünlük vektörlerinden oluşan bir kare matristir (Göktürk vd., 2011).

-Ağırlıklandırılmış Süpermatris: Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin her bir sütun toplamının 1'e eşitlendiği halidir (Anık, 2007).

-Limit Süpermatrisin: Ağırlıklandırılmış süpermatrisin satırları değişmeye kadar kuvvetinin alınmasıyla oluşturulur.

Adım 6: En İyi Alternatifin Belirlenmesi: Alternatifler, limit süpermatris ve kriter ağırlıklarının bulunarak bu değerler arasından en yüksek olan alternatifin seçilmesi ile gerçekleştirilir.

TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir ve karar verme problemlerinde çözüme ulaşırken yapılan analizler ile pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin seçilmesine dayanmaktadır. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenilen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede etkili olan kriterler yer almaktadır. Başlangıç matrisi olarak da adlandırılmaktadır.

Adım 2: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Aşağıdaki eşitlik yardımıyla standart karar matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Kriterlerin değerlendirilebilmesi için ağırlık oranları belirlenir. Daha sonra her ağırlık değeri standart karar matrisindeki ilgili kriterin değeri ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

Adım 4: İdeal (A) ve Negatif İdeal (A-) Çözümlerin Oluşturulması:* Kriterlerin monoton artan ve monoton azalan eğilim gösterdiği varsayımına göre ağırlıklı standart karar matrisindeki değerlerden maksimum ve minimum olanları tespit edilir.

Adım 5: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması: Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak matristeki her bir karar noktasının kriter değerlerinin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Ayrım ölçütleri kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (4)$$

Burada negatif ideal ayırım ölçütünün, toplam ayırım ölçütleri içindeki payı hesaplanır. C_i^* değeri 0-1 aralığında değer alır. Bu değer 1 değerini alması ilgili karar noktasının ideal çözüme, 0 değerini alması ise, karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını ifade etmektedir. (Arıbaş, 2015).

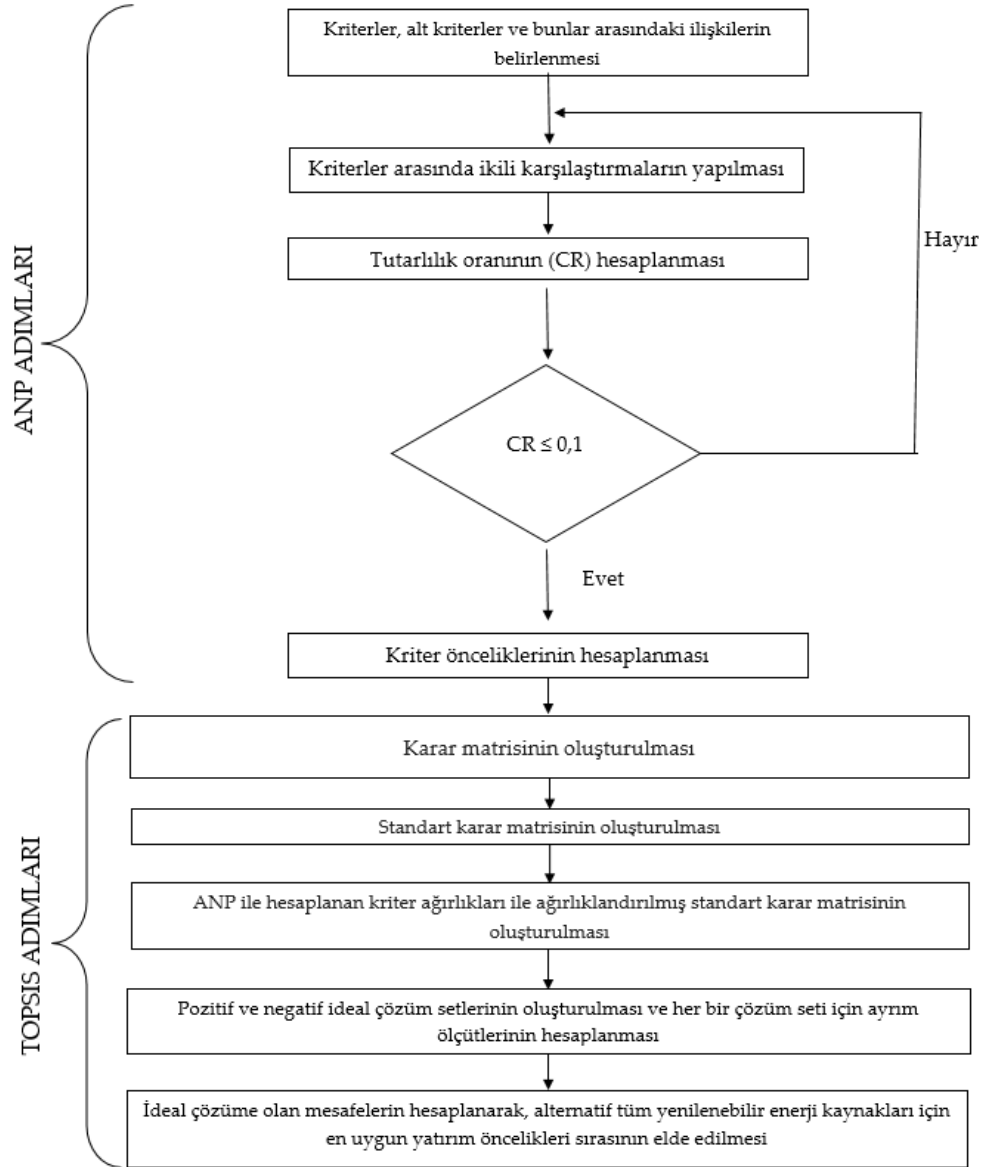
UYGULAMA (Case Study)

Her ne kadar günümüzde Türkiye toplam elektrik üretiminin çok büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanırsa da, Türkiye Cumhuriyeti Devleti Hükümetinin yukarıdaki bölümlerde bahsedilen nedenlerden ötürü geliştirdiği sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının 2023 yılına kadar en az %30 seviyesine yükseltilmesi stratejik bir hedef olarak belirlenmiştir (Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014). Bu bağlamda, 430-450 GWh/yıl hidrolik, 400 GWh/yıl rüzgar, 365 GWh/yıl güneş, 16 GWh/yıl jeotermal ve 1,58 GWh/yıl biokütle (Demir ve Emeksiz, 2016) kaynak potansiyeline sahip olan Türkiye'nin 2015 sonu itibarıyla 264 milyar kWh enerji tüketimi olduğu ve bu talebin yaklaşık %70'inin ithal ağırlıklı fosil yakıtlardan karşılandığı düşünüldüğünde, bu potansiyelin kademeli olarak elektrik üretimindeki payının artırılması tutarlı bir hedef olmakla birlikte, sürdürülebilir enerji politikalarının uygulanması açısından da bir zorunluluktur. Bu kapsamda bu çalışmada, Türkiye'nin önemli seviyede sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini aktif hale getirmesi için yapması gereken santral yatırımları teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin tamamı dikkate alınarak, literatürde kabul görmüş olan ANP ve TOPSIS yöntemlerinin entegre kullanımı ile değerlendirilmiş ve bu alternatiflerin hayata geçirilme öncelikleri sıralanmıştır. Uygulamanın aşamaları Şekil 4'de sunulmuştur.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Seçiminde Kullanılan Kriterler (Criteria for Renewable Energy Resources Selection)

Türkiye Cumhuriyeti Devleti, ETKB'nin 2015–2019 Stratejik Planına göre, enerji ve maden kaynaklarını etkin, verimli, güvenli, zamanında ve çevreye duyarlı şekilde kullanarak güçlü ve güvenilir enerji altyapısı oluşturmak, bununla birlikte dışa bağımlılığı azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlayarak, Türkiye'yi bölgesel anlamda liderliğe taşımak ve uluslararası arenada söz sahibi konuma getirmeyi stratejik olarak hedeflenmektedir. Bu stratejik hedef temel alınarak, ETKB'nin 2015–2019 Stratejik Planı, Ayan ve Pabuççu (2013)'nun yenilenebilir enerji yatırım projelerinin

değerlendirilmesi ve seçimi için önerdikleri hiyerarşik modelde kullandıkları kriterler ile Ahmad ve Tahar (2014)'in çalışmasında kullanılan bazı alt kriterler referans alınarak aşağıda detayları verilen değerlendirme kriterleri, alt kriterler ile belirlenmiştir.



Şekil 4. Uygulama aşamaları

Figure 4. Application steps

Teknik Kriterler: Bu hedefler santralin kuruluşu ve işleyişiyle ilgilidir.

Verimlilik: Enerjide verimlilik; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ile üretim düşürülmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin tamamıdır (TEVEM, 2010). Enerji Verimliliği Kanunu ile ETKB tarafından belirlenen verimlilik hedefi, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmaktır. Bu hedef, elektrik üretiminde kWh başına kullanılan enerji kaynağı miktarının, dolayısıyla da kaynak konusunda dışa bağımlılığın azalması anlamına gelmektedir.

Santral inşa süresi: İnşasına başlanan santralin tamamlanması ile üretime başlanabilmesinden ötürü, diğer hedeflerin gerçekleştirilmesi için bu kriter ön şarttır.

Ekonomik Kriterler: Enerji üretim santralleri büyük alt yapı yatırımlarıdır ve her büyük üretim tesisinin kurulduğunda olduğu gibi bunlar için de tekno-ekonomik analiz olarak adlandırılacak kapsamlı bir fizibilite çalışmasının yapılması zorunludur. Fizibilite çalışmalarında teknik parametreler daima ekonomik kısıtlara bağlı olduğu için, bu ana kriter bu çalışmada yapılan değerlendirmenin vazgeçilmezidir.

Maliyet: Her yatırım için değerlendirilen kriterlerin başında maliyet gelmektedir. Yatırımcının zarar etmemesi için, yatırımın ilk yatırım maliyetinin döneme etkisi ile dönemsel işletme maliyeti toplamının kazançtan küçük olması beklenir.

Devlet teşviki: Hükümet yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda özellikle son yıllarda birçok teşvik vermektedir. Katma değer vergisi ve gümrük vergisi muafiyeti, hibe/kredi, üretilen enerjinin alım garantisi vb. bunlara örnektir.

Ekonomik ömür: Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığı belirleyen önemli bir faktördür.

Dışa bağımlılık: Dışa bağımlılığın azaltılması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içindeki payının artırılması ile mümkün olacak önemli bir stratejik hedeftir. Bu kapsamda, kaynak potansiyelinin fiziksel büyüklüğü belirleyici bir unsurdur.

Sosyal Kriterler: Santral yatırım kararının verilmesinde toplumsal fayda göz önüne alınması gereken bir diğer temel kriterdir.

İstihdam olanakları: Türkiye'nin de etkilendiği son 10 yılda yaşanan küresel krizlerin etkileri, artan nüfus, Ortadoğu'daki savaş iklimi ve buradan kaçan birçok insanın Türkiye'ye iltica etmesi gibi birçok neden, son 10 yılda ortalama %10 olarak gerçekleşen işsizlik oranının bu seviyelerde devam etmesine neden olmaktadır. Elektrik üretim santrallerinin büyük alt yapı yatırımları grubunda oluşu ve istihdam alanlarının oluşturulmasının devletlerin stratejik görevleri arasında yer alması bu durumlar ile birlikte ele alındığında, santral yatırım kararında istihdam olanaklarının etkisini ortaya çıkarmaktadır (Özcan ve Erol, 2014).

Sosyal kabul: Sosyal kabul, santrallerin toplum tarafından kabul edilirlilik düzeyini gösteren bir parametre olarak, iş imkanları, sera gazı emisyonları, görüntü kirliliği, alan ve su kullanımı vb. birçok kriterden etkilenmektedir ve maksimize edilmesi gereken bir hedeftir (Özcan ve Erol, 2014). Bunlardan özellikle çevre ile ilgili olanlar, önemine binaen aşağıda ayrı kriterler olarak belirlenmiştir.

Çevresel Kriterler: Enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklı kül, cüruf, sanayi atıkları ve zararlı sera gazı emisyonları çevre ve insan sağlığını, dolayısıyla da ilerleyen yıllarda toplumsal yaşam kalitesini ve iklimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sorunlar ile mücadelede enerji sektörünün etkin rol oynaması öngörülmekte olup gerekli tedbirlerin alınması dünya genelinde bir zorunluluk olarak dikkate alınmaktadır (ETKB, 2010).

Alan gereksinimi: Santral yatırım kararının verilmesinde, toplam alan kullanımı ve birim m²'ye enerji miktarı önemli bir kriterdir.

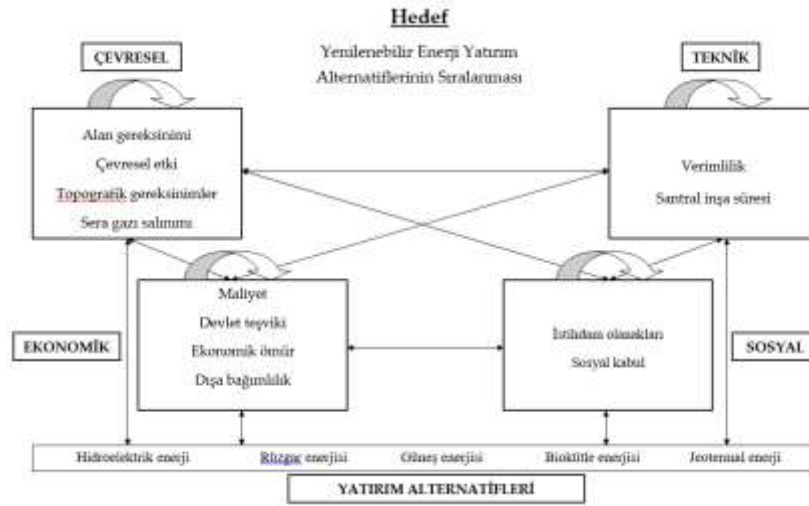
Çevresel etki: Çevresel kirlilik, canlı yaşamına etki eden değişiklikler vb. etkilerin bütünüdür. Barajlı bir hidroelektrik santralin kurulması için yapılan barajın su tutması sonucunda bulunduğu akarsu yatağının etrafındaki karasal alanı su altında bırakması ve yaşama imkanlarını yok etmesi ya da bir rüzgar santralının meydana getirdiği elektromanyetik dalgalanmalar ile kuşların göç yollarını etkilemesi örnek olarak verilebilir (Özcan, 2013).

Topografik gereksinimler: Santral yapılacak sahaların sahip olması gereken jeolojik özellikler, kullanılan bir yakıt söz konusu ise, bu yakıtın santral sahasına ikmal gibi topografyaya bağlı unsurlar da yatırım kararının değerlendirilmesi sürecinde göz önüne alınmıştır (Özcan, 2013).

Sera gazı salınımı: Fosil yakıtlı elektrik üretim santralleri baca gazlarını oluşturmakta, bu gazlar ise CO₂, SO₂ ve NO_x'den oluşan zararlı molekülleri içermektedir. Sera gazları olarak adlandırılan bu moleküller, çevre, hava ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Oysaki, yenilenebilir kaynak kullanan santrallarda bu gazların emisyon oranları değişmekle birlikte, çevre ve insan sağlığını etkilemeyecek seviyede düşüktür (Özcan, 2013).

ANP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (Calculation of Criteria Weights by ANP)

Literatürdeki çalışmalar ve enerji sektöründe üst düzey pozisyonlarda aktif olarak çalışan ve sektörün dinamiklerine hakim uzman görüşlerine başvurularak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan santral yatırımlarının öncelik sırasının belirlenmesi amacıyla etki eden ve bir önceki bölümde detaylandırılan kriterler arasındaki bağımlılıklar, ilişkiler ve etkileşimler Şekil 5'de ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5. Ağ yapısı

Figure 5. Network structure

Kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıklarının) belirlenmesi için ana ve alt kriterlerin Şekil 5'de verilen ağ yapısına göre birbirleriyle ilişkileri dikkate alınarak tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve elde edilen ağırlıklar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Değerlendirme kriterleri için hesaplanan nihai ağırlıklar

Table 1. Calculated final weights for evaluation criteria

Ana Kriterler	Alt Kriter	Ağırlıklar
Teknik	Verimlilik	0,68471
	Santral inşa süresi	0,31529
Ekonomik	Maliyet	0,35026
	Devlet teşviki	0,13367
	Ekonomik ömür	0,32617
	Dışa bağımlılık	0,1899
Sosyal	İstihdam olanakları	0,57969
	Sosyal kabul	0,42031
Çevresel	Alan gereksinimi	0,1502
	Çevresel etki	0,54778
	Topografik gereksinimler	0,10156
	Sera gazı salınımı	0,20046

TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Alternatiflerinin Sıralanması

Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak alternatifleri (hidroelektrik, rüzgar, güneş, biokütle ve jeotermal) için yukarıda belirtilen 4 ana kriter altındaki 12 alt kriter dikkate alınarak yatırım öncelik sırasının elde edilmesi amacıyla, ilk aşamada Çizelge 2'de sunulan verilere ve ölçülemeyen değerler için (çevresel etkiler ve topografik gereksinimler) bir önceki bölümde bahsedilen uzman görüşlerine göre oluşturulan karar matrisi 0-10 arasındaki tam sayılı değerleri içeren bir skala (en iyi değere 10 atanmış ve diğerleri buna göre oranlanmıştır) kullanılarak oluşturulmuş ve Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Karar matrisi için veri tablosu

Table 2. Data table for decision matrix

Yatırım Alternatifleri	Kriterler									
	¹ Verimlilik (%)	² İnşa süresi (yıl)	³ Maliyet (\$/kW)	⁴ Devlet teşviki (\$/kWh)	⁵ Ekonomik ömür (yıl)	² Dışa bağımlılık (Kaynak Potanseli-GWh/yıl)	² İstihdam olanakları (kişi/MW)	**Sosyal kabul	⁶ Alan gereksinimi (km ² /MW)	***Sera gazı salınımı (g/kWh)
Hidroelektrik	90	4	2.936	9,6	30	140.000	0,33	0,0479	8,1	10
Rüzgar	26	1	2.213	11	25	144.000	0,40	0,1340	0,05	10
*Güneş	21	2	3.873	22,5	25	380.000	0,53	0,1137	0,04	11
Biokütle	40	2	4.114	18,9	20	93.000	1	0,1270	20	25
Jeotermal	16	2	4.362	13,2	25	4.500	2,13	0,1312	0,007	38

*: Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisine ait değerlerdir.

** : Görüntü kirliliği, bölgeye katkı, çevresel etkiler ve birim elektrik üretim maliyeti kriterleri kullanılarak söz konusu santrallerin sosyal kabul faktörleri AHP yöntemi ile hesaplanmıştır (Özcan ve Erol, 2014).

***: Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı salınımı açısından çevre üzerinde etkisinin olmadığı genel olarak düşünülmeyle birlikte, santrallerde çalışan özellikle motorlar, pompalar ve şalt ekipmanları tabloda verilen değerleri üretmektedir (Özcan ve Erol, 2014).

1: Verim değerleri, kullanılan teknoloji, saha spesifikasyonları ve çevresel etkilere bağlı olarak değişebilmekle birlikte, tipik ekipmanlar ve özel işletme koşulları baz alınarak tahmin edilmiş değerleri göstermektedir (EIA, 2017).

2: (Özcan ve Erol, 2014).

3: (Kaya ve Koç, 2015).

4: Teknoloji bazında sabit alım fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesi dahil toplam değerleri göstermektedir (Yılmaz ve Hotunluoğlu, 2015).

5: (IRENA, 2015).

6: (Cheng ve Hammond., 2016).

Çizelge 3. Karar matrisi*Table 3. Decision matrix*

Yatırım Alternatifleri	Kriterler											
	Verimlilik	İnşa süresi	Maliyet	Devlet teşviki	Ekonomik ömür	Dışa bağımlılık	İstihdam olanakları	Sosyal kabul	Alan gereksinimi	Çevresel etki	Topografik gereksinimler	Sera gazı salınımı
Hidroelektrik	10	3	8	4	10	5	2	4	1	3	4	10
Rüzgar	3	10	10	5	8	5	3	10	6	5	6	10
Güneş	3	5	6	10	8	10	3	7	6	7	6	9
Biokütle	4	5	5	8	6	4	5	8	1	4	7	6
Jeotermal	2	5	4	6	7	1	10	9	10	5	6	4

ANP ile hesaplanan kriter ağırlıkları ile karar matrisinin normalizasyonu sonucunda elde edilen normalize karar matrisi kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur. Daha sonra, ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri hazırlanmış ve bu kümelere ayırım ölçütleri hesaplanarak, ideal ve negatif ideal çözümlere yakınlıklar, yani alternatif yenilenebilir enerji kaynakları için yatırım öncelik sıralaması elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin öncelik sıralaması*Table 4. Priority rank of the renewable energy investment alternatives*

Alternatifler	Öncelik Değeri	Öncelik Sırası
Hidroelektrik	0,505736607	2
Rüzgar	0,512961675	1
Güneş	0,351292402	5
Biokütle	0,418438199	3
Jeotermal	0,363520351	4

SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

Enerji tüketiminin, özellikle artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme olguları, sürekli gelişen teknoloji ve artan ticaret olanakları neticesinde dünya genelinde gösterdiği ivmeli artış hükümetleri, kesintisiz, güvenilir, çevreye duyarlı ve ekonomik enerji arzını sağlayarak devletlerin kurulma amaçlarından olan toplumsal refah düzeyinin artırılması ve uluslararası arenada söz sahibi olabilmek adına yeni ve sürdürülebilir politikalar üretmek durumunda bırakmıştır. Bu kapsamda, sürdürülebilir enerji politikalarının üç temel unsurunu (verimlilik, ekonomiklik ve çevreye duyarlılık) sağlayan tek alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, fosil yakıt kullanımının verim açısından yenilenebilir kaynaklara nazaran daha iyi sonuçlara sahip olmasına rağmen sonlu ve maliyetli süreçlere sahip olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle özellikle son yıllarda bir artış trendindedir.

Türkiye de, gelişmekte olan ve enerji talebi son 10 yılda 2 kat artmış bir ülke olarak, geliştirdiği sürdürülebilir enerji politikaları gereğince, sahip olduğu azımsanmayacak ölçüdeki yenilenebilir kaynak potansiyelini enerji arzı için kullanılabilir hale getirecek hamleleri hızla yürütmektedir. Ancak, 2016 Temmuz sonu verileri incelendiğinde elektrik üretiminde aktif olan yenilenebilir kaynak kullanımı halen %35,7 seviyesindedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin sahip olduğu bu zengin kaynakları daha fazla kullanması için büyük yatırımlara ihtiyaç vardır ve bu çalışma, söz konusu yatırımların öncelik sırasının

belirlenmesi için bir santral yatırımında dikkate alınması gereken tüm kriterleri göz önünde bulundurarak bu önemli problem için analitik bir çözüm üretmek adına gerçekleştirilmiştir.

Literatürde kabul görmüş çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en etkin algoritmalarından olan ANP ve TOPSIS'in entegrasyonu ile dünyadaki gelişmeler, literatürdeki çalışmalar, Türkiye'nin stratejik hedefleri ve bunlara bağlı olarak başvurulmuş uzman görüşleri ile yapılan değerlendirme sonucunda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarını sırasıyla rüzgar, hidroelektrik, biokütle, jeotermal ve güneş santrallerine yapması gerektiği tespit edilmiştir. Yüksek kaynak potansiyeli ile rüzgar enerjisine yapılacak yatırımların öncelikli olmasını, bu santrallerin kurulum sürelerinin diğer alternatiflere göre kısalığı, kesikli üretim kaynağı olmasına rağmen yıllık bazda özellikle jeotermal ve güneş santrallerine göre daha fazla çalışması, santral yatırım ve işletme maliyetleri açısından diğer alternatiflere göre bu santrallerin avantajları, bu santrallerin sosyal kabulünün yüksekliği ve çevresel etkilerinin düşüklüğü gibi temel nedenler desteklemektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler neticesinde, hidroelektrik santrallerin verimlerinin diğer alternatiflere nazaran çok yüksek olması, kaynak potansiyelinin yüksekliği, bu santrallerin hem baz yük hem de puant yük ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyeti ile enerji arz güvenliğine hizmet etmesi gibi gerçeklikleri destekler nitelikte bir sonuç elde edilmiş ve hidroelektrik santraller rüzgar santrallerine çok yakın bir değer ile ikinci sırada yer almıştır. Türkiye'nin çok yüksek seviyede güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasına rağmen bu santrallerin kesikli üretim sınıfında yer alması ile birlikte, sık devreye girip çıkması sonucunda şebeke üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkiler, düşük verimleri, yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, yıllık bazdaki düşük çalışma süreleri ile biokütle santrallerinde diğerlerinden ayrı olarak bir yakıt gereksinimi ve düşük potansiyelle ek olarak jeotermal kapasitenin düşüklüğü ve kesintisiz üretim ilkesine en alt düzeyde katkı sağlayan alternatif olması da yukarıda verilen yatırım öncelik sıralamasını destekleyen gerçeklerdir.

Çok büyük bir ekonomik kaynak gereksinimine ihtiyaç duyması, dışa bağımlılığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri düşürecek olması ve istihdam olanaklarını artırarak, Türkiye'nin küresel anlamda gücüne güç katacak birçok olanağı sunması nedeniyle, önemi çok büyük olan bu yatırım problemi, bu nedenlerle daha detaylı olarak ele alınabilir. Bu kapsamda, birden çok amacın eş zamanlı olarak literatürdeki çalışmalar, bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile Türkiye'nin daha kapsamlı stratejik hedefleri baz alınarak bu problem, çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak ileri bir çalışmada ele alınabilir. Böyle bir çalışmada, sadece yatırım öncelikleri değil, aynı zamanda yıllar itibarıyla devreye alınacak santral adetleri ve kurulu güçleri, bu santrallerde üretilmesi gereken yıllık enerji miktarları ve yatırımların parasal değerlerinin yıllara göre dağılımlarını içeren planlar da elde edilebilir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- Abdullah, L., Najib, L. 2016, "Sustainable Energy Planning Decision Using The Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Choosing Energy Technology In Malaysia", *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 35(4), pp. 360-377.
- Ahmad, S., Tahar, R.M., 2014, "Selection Of Renewable Energy Sources For Sustainable Development of Electricity Generation System Using Analytic Hierarchy Process: A Case of Malaysia", *Renewable Energy*, Vol. 63, pp. 458-466.
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., ve Al-Haddad, K., 2016, "A Multicriteria Decision Making Approach for Evaluating Renewable Power Generation Sources in Saudi Arabia", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 16, pp. 137-150.
- Alptekin N., 2010, "Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı ile Türkiye'de Beyaz Eşya Sektörünün Pazar Payı Tahmini", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, Vol. 11(1), pp. 18-27.
- Arıbaş, M., Özcan, U., 2016, "Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, Vol. 19(2), pp. 167-177.

- Anık, Z., 2007, Nesne Yönelimli Yazılım Dillerinin Analitik Hiyerarşi ve Analitik Network Prosesi ile Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 66.
- Ayan, T.Y., Pabuçcu, A.G.H., 2013, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 18(3).
- Buntaine, M.T., Pizer W.A., 2015, "Encouraging Clean Energy Investment in Developing Countries: What Role for Aid?", *Climate Policy*, Vol. 15(5), pp.543-564.
- Barry, M.L., Steyn, H., Brent, A., 2011, "Selection of Renewable Energy Technologies for Africa: Eight Case Studies in Rwanda, Tanzania and Malawi", *Renewable Energy*, Vol. 36(11), pp. 2845-2852.
- Büyüközkan, G., Güleriyüz, S., 2014, "A New GDM Based AHP Framework with Linguistic Interval Fuzzy Preference Relations for Renewable Energy Planning", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 27(6), pp. 3181-3195.
- Chang, K.L., Liao, S.K., Tseng, T.W., Liao, C.Y., 2015, "An ANP Based TOPSIS Approach for Taiwanese Service Apartment Location Selection", *Asia Pacific Management Review*, Vol. 20(2), pp. 49-55.
- Cheng, W.K.V., Hammond, G.P., 2016, "Life-cycle Energy Densities and Land-take Requirements of Various Power Generators: A UK Perspective", *Journal of the Energy Institute*, In press.
- Demir, İ., Emeksiz, C., 2016, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Potansiyeli ve Kullanımı", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat*, 337-340, 11-13 Mayıs 2016.
- Ertay, T., Kahraman, C. Kaya, I. 2013, "Evaluation of Renewable Energy Alternatives Using MACBETH and Fuzzy AHP Multicriteria Methods: The Case of Turkey", *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 19(1), pp. 38-62.
- ETKB 2015-2019 Stratejik Planı, http://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Planı.pdf, erişim tarihi: 14 Eylül 2016.
- EIA (U.S. Energy Information Administration), "What is the Efficiency of Different Types of Power Plants?", <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=107&t=3>, erişim tarihi: 03 Ocak 2017.
- Göktürk, İ.F., Eryılmaz, A.Y., Yörür, B., Yuluğkural, Y., 2011, "Bir İşletmenin Tedarikçi Değerlendirme ve Seçim Probleminin Çözümünde ANP ve VIKOR Yöntemlerinin Kullanılması", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 25, pp. 61-74.
- Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf, erişim tarihi: 1 Ekim 2016.
- Heo, E., Kim, J., Boo, K.J., 2010, "Analysis of the Assessment Factors for Renewable Energy Dissemination Program Evaluation Using Fuzzy AHP", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14(8), pp. 2214-2220.
- Hwang, C.L., Yoon K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) 2015, "Renewable Power Generation Costs in 2014", 24.
- Kaya, T., Kahraman, C., 2010, "Multicriteria Renewable Energy Planning Using An Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul", *Energy*, Vol. 35(6), pp. 2517-2527.
- Kaya, K., Koç, E., 2015, "Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi", *Mühendis ve Makina*, Vol. 56(660), pp. 61-68.
- Kum, H., 2009, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar", *Erciyes Üniversitesi İİBF Dergisi*, Vol. 33, pp. 207-223.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., Zaeri, M.S., 2007, "Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 30, pp. 333-338.

- Özcan, E.C., 2013, *Elektrik Üretim Planlamasında Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı: Türkiye Örneği*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özcan, E.C., Erol, S., 2014, "A Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for Energy Resource Allocation Problem: The Case of Turkey", *Gazi University Journal of Science*, Vol. 27(4), pp. 1157-1168.
- Özcan, E.C., Eren, T., 2014, "Bakım Planlamasında TOPSIS Yöntemi Uygulaması: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali Örneği", *Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Vol. 6(2).
- Özcan, E.C., Küçükayarar, U., 2016, "Assessment of Potential South Gas Corridor Projects with a Combined Methodology", 23rd World Energy Congress, İstanbul (Accepted), 9-13 October 2016.
- Perçin, S., Gök, A.C., 2013, "ERP Yazılımı Seçiminde İki Aşamalı AAS-TOPSIS Yaklaşımı", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Vol. 8(2).
- Sadeghi, A., Larimian, T., Molabashi, A., 2012, "Evaluation of Renewable Energy Sources for Generating Electricity in Province of Yazd: A Fuzzy MCDM Approach", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 62, pp. 1095-1099.
- Stojcetovic, B., Nikolic, D., Velinov, V., ve Bogdanovic, D., 2016, "Application of Integrated Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats and Analytic Hierarchy Process Methodology to Renewable Energy Project Selection in Serbia", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 8(3).
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S.E., Gezder, V., Şengül, A.B., 2015, "Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey" *Renewable Energy*, Vol. 75, pp. 617-625.
- Tasri, A., Susilawati, A., 2014, "Selection among Renewable Energy Alternatives Based on A Fuzzy Analytic Hierarchy Process In Indonesia", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 7, pp. 34-44.
- Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi (TEVEM), Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu "Yeşil Ekonomiye Geçiş", 2010.
- Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Planı, http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/Turkiye_Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eyl_em_Planı.PDF, erişim tarihi: 10 Eylül 2016.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Enerji İstatistikleri, <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>, erişim tarihi: 14 Eylül 2016.
- Trappey, A.J., Trappey, C.V., Wang, D.Y., Ou, J.J., Li, S.J., 2015, "An Integrated Self-Organizing Map and Analytic Hierarchy Process Modeling Approach for Evaluating Renewable Energy Policies", *International Journal of Electronic Business Management*, Vol. 13, pp. 3-14.
- Uysal, F., 2011, "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi için Graf Teori ve Matris Yaklaşım", *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, Vol. 13:23.
- Weigelt, C., Shittu, E., 2016, "Competition, Regulatory Policy, and Firms' Resource Investments: The Case of Renewable Energy Technologies", *Academy of Management Journal*, Vol. 59(2), pp. 678-704.
- Wu, C.S., Lin, C T., Lee, C., 2010, "Optimal Marketing Strategy: A Decision-Making with ANP and TOPSIS", *International Journal of Production Economics*, Vol. 127(1), pp. 190-196.
- Yaralıoğlu, K., 2010, *Karar Verme Yöntemleri*, Detay Yayıncılık, ANKARA.
- Yazdani- Chamzini, A., Fouladgar, M.M., Zavadskas, E.K., Moini, S.H.H., 2013, "Selecting the Optimal Renewable Energy Using Multi Criteria Decision Making", *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 14(5), pp. 957-978.
- Yıldız, A., 2014, "En İyi Üniversite Seçiminde Analitik Ağ Prosesinin Kullanımı", *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Vol. 3(2), pp. 108-119.
- Yılmaz, O., Hotunluoğlu, H., 2015, "Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye", *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 2(2), pp. 74-97.

Yi, S.K., Sin, H.Y., Heo, E., 2011, "Selecting Sustainable Renewable Energy Source for Energy Assistance to North Korea", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15(1), pp. 554-563.

ACCURACY INVESTIGATION OF DEM BASED ON GÖKTÜRK-2 STEREO IMAGES

¹Omer MUTLUOĞLU, ²Merva GUVEN

¹ Selçuk University, School of Technical Science, Architecture and Urban Planning, Selçuklu, Konya, Turkey

² Selçuk University, The Graduate School of Natural and Applied Science, The Degree of Master of Science in Geomatic Engineering, Selçuklu, Konya, Turkey

¹ omutluoglu@selcuk.edu.tr, ² mervaguvenc@hotmail.com

(Geliş/Received: 02.12.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 20.02.2017)

ABSTRACT: In December 18, 2012, Gokturk-2 satellite has been launched to the space from the Jiuguan station in China. The satellite has a pushbroom camera, which can take panchromatic images with 2.5 m resolution and multispectral images with 5 m resolution from 685 km elevation. The requests of Turkish Armed Forces, Turkish government agencies and institutes for satellite images has been satisfied by Gokturk-2 satellite imagery. High Resolution Satellite Images (HRSI) have been extensively used in fields of mapping, intelligence service, exploration, monitoring of environment, agriculture and change tracking; mapping is one of the most widespread application areas of HRSI.

In order to use satellite images like a map, orthoimages are required taking care about image geometry and model configuration. Based on, Ground Control Points (GCP) a Digital Elevation Model was generated for the orthorectification.

In this study, a stereo scene orientation was made using 20*60 km sized stereo pair of Gokturk-2 satellite with various, GCP and Check Point (CP) configurations. Furthermore, the accuracy of the generated Digital Elevation Model (DEM) was analyzed by heights of primary bench marks.

Key Words: GÖKTÜRK-2, High resolution satellite images, Ground control points, Stereo orientation, Digital elevation model

Stereo Göktürk-2 Görüntülerinde SYM Doğruluğunun Araştırılması

ÖZ: Göktürk-2 uydusu 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'in Jiuguan üssünden uzaya fırlatılmıştır. Göktürk-2 uydusu süpürgeç (pushbroom) kameraya sahip olup; 700 km yükseklikte, 2.5m çözünürlüklü (Resolution) pankromatik ve 5 m çözünürlüklü multispektral (kırmızı, mavi, yeşil, yakın kızıl ötesi) bantlarda görüntü sağlayabilmektedir. Göktürk-2 uydusundan elde edilen verilerle, Türk Silahlı Kuvvetleri, Kamu Kurum ve Kuruluşlarının uydu görüntüsü taleplerinin karşılanması amaçlanmıştır. Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri, haritacılık, istihbarat, keşif, çevrenin izlenmesi, tarım, değişiklik takibi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanlarından birisi de haritacılıktır. Uydu görüntülerinin harita gibi kullanılabilmesi için geometrik bozuklukların giderilmesi yani ortorektifiye (orthorectifiye) edilmeleri gerekir. Ortorektifikasyon işlemi için yer kontrol noktalarına bağlı olarak sayısal yükseklik modeli oluşturuldu.

Bu çalışma da, 20*60 km boyutlarında stereo GÖKTÜRK-2 görüntüsünün farklı sayıda kontrol ve denetleme noktası kullanılarak stereo yöneltmesi yapılmıştır. Ayrıca ana nivelman noktalarıyla Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) doğruluğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GÖKTÜRK-2, Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, Yer kontrol noktaları, Stereo yöneltme, Sayısal yükseklik modeli.

INTRODUCTION

Thanks to improvements in computer and satellite technology, earth observation many satellites recently have been launched for various purposes. The satellite images are used in areas as mapping, monitoring of environment, agriculture, security intelligence and change detection. The generated orthorectified images provide great convenience to users in the selected coordinate systems.

In order to make proper orthorectification of satellite images, Geometrical model, Ground Control Points (GCP) and Digital Elevation Models (DEM) are needed.

Ground Control Points are a basic requirement for the geo-reference. GCPs are points which can be identified both in the field and in the image. Depending on the characteristics of the study area, GCPs are selected by road intersections and significant feature points. The GCP ground coordinates have been determined by various methods.

Detailed information such as importance, size, form, distribution, accuracy and number of GCPs, which are used for orthorectification of satellite images, could be accessed e.g. in Fraser (2002), Dare et al. (2002), Yilmaz et al. (2004), Ke (2006), Poli et al. (2010) and Mutluoglu et al. (2012).

There are some publications Which analyzed Gokturk-2 satellite images. In Kupcu et al (2014), orthorectification of Rasat and Gokturk-2 satellite images is examined. For this purpose, satellite images with different land characteristics have been used the evaluations are based on, various DEMs as SRTM and ASTER, DTED with varying number of GCPs.

In Atak et al. (2015), test studies of Gokturk-2 satellite images from different regions are performed. As a result, it is shown that Gokturk-2 images could be used for orthophotos and DEM production. In addition, the study highlights that it is possible to obtain position accuracy below 10 m.

In Teke (2016), it is emphasized that different images levels are necessary to utilize images of ground observation satellites. Furthermore, work flow of image process is presented.

The aim of this study is to investigate geometric accuracy of stereo Gokturk-2 satellite images.

GÖKTÜRK-2

Gokturk-2 is the first ground observation satellite enabling high resolution and uniquely developed in TURKEY. It is designed by a Turkish developer and placed to its orbit in 2012. After RASAT satellite, Gokturk-2 is the second ground observation satellite which is domestically designed and produced by TUBITAK Space Technologies Research Institute and Turkish Aerospace Inc. (Küpcü, 2015). Technical informations of Gokturk-2 are given in Table 1 (URL-1; Çınar, 2014). Earth observation satellites acquire raw imagery. Raw data (Level 0 / L0) are processed for correct geometric and radiometric property. Gökürk-2 Imagery Levels are given in Table 2 (Teke, 2016).

Table1. Specifications of Göktürk-2 satellite

Orbit	98.2 degree, sun synchronous
Orbit altitude	~ 685 km
Period	~ 98 minute
Revolution Around the Earth per day	14-15 period
Equator crossing	10.30 (local time)
Daily Receiving Station Contact Time	~ 60 minute (day+night)
Satellite mass	< 409 kg.
Storage capacity	8 GB
Spatial resolution	Pancromatic: 2.5 m Multispectral (RGB and NIR): 5m
Radiometric resolution	11 Bit
Revisit time	2.5 days (average)
Spectral range	Pan : 0,42-0,75 μm Red :0,596-0,75 μm Green:0,5-0,584 μm Blue :0,422-0,512 μm NIR :0,762-0,894 μm SWIR:0,8-1,7 μm
Mission life	5 year

Table 2. Göktürk-2 satellite imagery levels

Levels	Explanation
L0	Raw data
L1	Radiometric correction applied
L1R	Band registration completed
L2	Georeferenced images
L3	Orthorectified images
RGB	Red/Green/Blue images
Pansharp	Pansharpened, enhanced and sharpened images.

USED DATA

Test Area

Stereo image taken by Gokturk-2 in 13th May 2015 was used in this study. The test area in Konya, Turkey including settlements, agricultural lands and highlands. The height in the study area varies between 1000m and 1920m. Geographical coordinates of the image taken from study area is specified at table 3. In addition, stereo image is given as Figure 1.

Table 3. Geographic location of test area

	Latitude	Longitude
Upper left corner	38° 07'45.97''	32° 12'08.68''
lower right corner	37° 37'23.93''	32° 36'47.55''

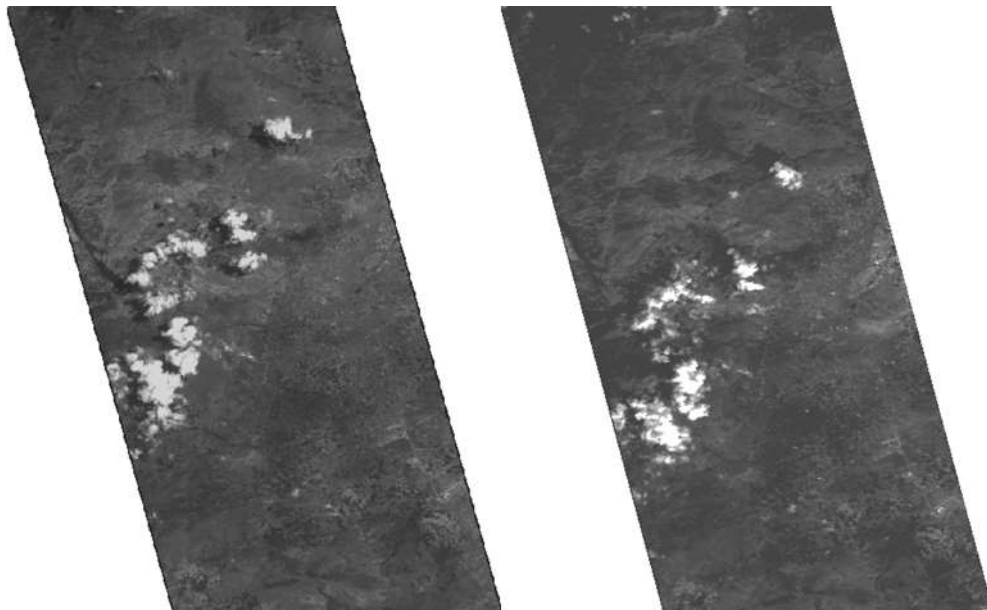


Figure 1. Gokturk-2 stereo images of test area

Office studies

The stereo pair of the study area was taken by Gokturk-2 in 13th May 2015. Images were obtained free of charge from Turkish Air Forces. Studies were carried out by raw images at the LO level. Because images downloaded to ground station are L3-type, they cannot be directly utilized for location based implementations. Therefore, orthorectification process is required.

GCPs, the model and DEM are needed in the orthorectification process. 91 GCPs were determined on the images. The ground coordinates of 61 GCPs were obtained by Google Earth and those of 30 GCPs were obtained by aerial photos with 30 cm resolution. Location accuracy of GCP is less than 2m. Distribution of GCPs on image Figure 2. ERDAS LPS (Leica Photogrammetric Suite) module was used in the evaluation of the images. Since Rational Polynomial Coefficients (RPC) file was not given together with the images, an approximate camera model of LPS was used instead. Thus, generic pushbroom

model was selected as satellite model because the model is able to be designated manually. Then, model was constituted by using parameters from Gokturk-2 satellite Figure 3.

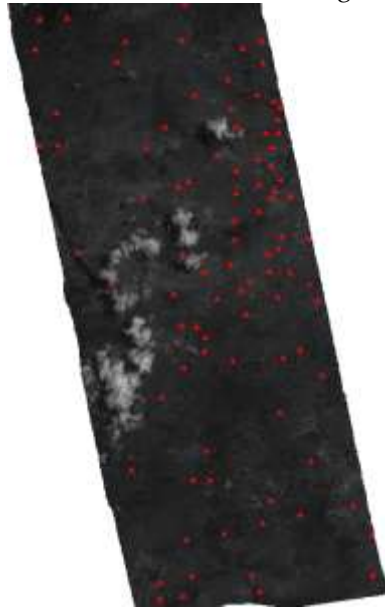


Figure 2. Distribution of GCPs on image

Adjustment was made in the model by using 91 GCPs respectively: whole points as control points, 71 of them as control points and 20 of them as check points, 50 of them as control points and 41 of them as check points, 30 of them as control points and 61 of them as check points, and 25 of them as control points and 66 of them as check points, lastly 10 of them as control points and 81 of them check points. Adjustment results are shown at Table 4.

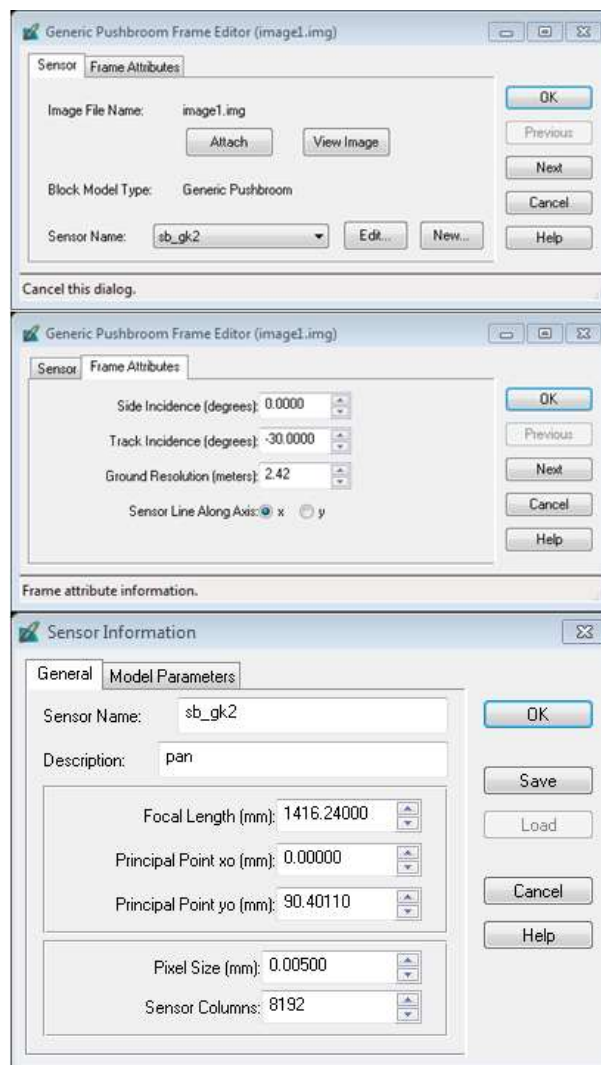


Figure 3. Göktürk-2 physical camera model

Table 4. Stereo orientation results made by using GCPs in various numbers as Control and Check Points

Point number		Adjustment Results (Pixel)	Control Points RMS (m)			Check Points RMS (m)		
Control Points	Check Points		rmsx	rmsy	rmsz	rmsx	rmsy	rmsz
91	0	0.739	4.6	2.6	1.3	0	0	0
71	20	0.634	4.6	2.4	1.3	11.9	11.4	8.9
50	41	0.555	4.8	2.6	1.4	12.1	9.7	7.9
30	61	0.454	5.2	2.6	1.3	11.7	9.6	8.7
10	81	0.765	3.2	3.2	1.8	20.0	9.3	13.2

Horizontal average root mean square errors show an alteration between ± 4.5 m and ± 5.8 m for control points whereas the errors vary between ± 15.1 and ± 22.1 m for check points.

When Table 4 is examined, it could be said that with a lower number of control points, the root mean square vertical errors for check points raises.

DEM was automatically generated by considering all GCPs control points in Figure 4. The accuracy of DEM was checked by 481 primary bench marks whose heights and coordinates are already known. In the comparison, it is found that the average height error for primary bench marks is $RMSZ=\pm 9.3$ m. All primary bench marks were separated for location in Highlands and Settlements & Agricultural lands, For highlands is found as $RMSZ=\pm 27.1$ m, while it is $RMSZ=\pm 7.4$ m for settlements & agricultural lands.

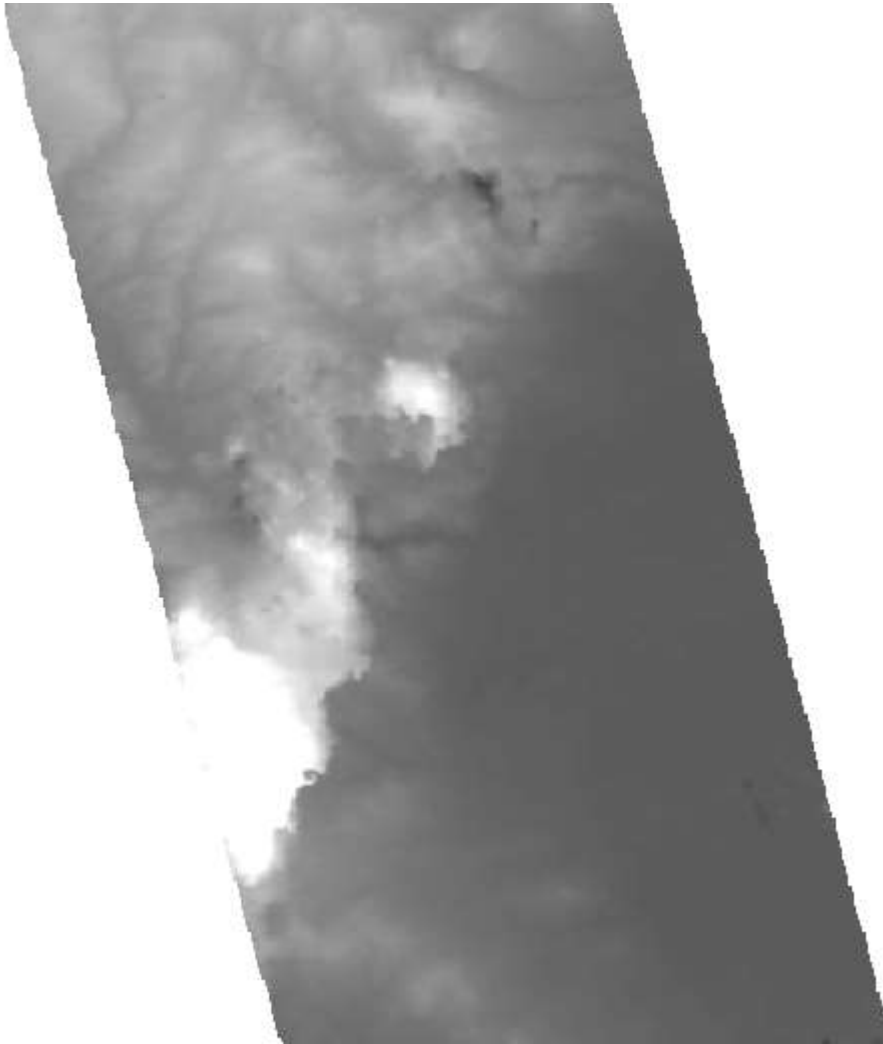


Figure 4. Produced DEM

CONCLUSION

In this study, the stereo image obtained by Gokturk-2 satellite in 13th May 2015 was used. Since images downloaded to ground stations are not L3 type, the images cannot be used directly for location based implementations. Therefore, orthorectification of the images are need.

In the stereo model orientation, control and check points were used in various numbers. The average accuracy of the horizontal components varies between 4.5 m and 5.8 m for control points and 15.1 m and 22.1 m for check points. Then, the accuracy of DEM was tested by primary bench points. The average height error for the study area was calculated as $RMSZ=\pm 9.3$ m. Separated for the characteristics of the

land, the error was $RMSZ=\pm 27.1$ m in the mountains area and $RMSZ=\pm 7.4$ m in the settlements & agricultural lands.

Horizontal and vertical discrepancies are quite larger at check points showing the difference between internal and absolute accuracy. It is considered from that, GCPs can not be obtained with required distribution at mountains area.

Nevertheless, the satellite images could meet needs of many public institutions. As further research, more detailed information about geometric accuracy of Gokturk-2 satellite could be obtained and analyzed by using high resolution GCPs in various land groups (settlements, mountain areas, flatlands etc.).

REFERENCES

- Atak, V.O., Erdoğan, M., Yılmaz, A., 2015, "Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri", Harita Dergisi Ocak 2015, Sayı 153, sayfa 18-33.
- Çınar, E., 2014, "GÖKTÜRK-2 Uydu Sisteminin Operasyonel Kabiliyetleri" (Sözlü Sunum), Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, Ankara, 19-20 Mart 2014.
- Dare, P., Pendlebury, N., Frase, C., 2002, "Digital Orthomosaics as a Source of Control for Geometrically Correction High Resolution Satellite imagery", Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing, Kathmoandu, Nepal, No. 173, 25-29 November 2002.
- Fraser, C., 2002, "Prospects for Mapping from High-Resolution Satellite Imagery", Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing, Kathmoandu, Nepal, No. 173, November 25-29, 2002.
- Ke L. C., 2006, "Orthorectification Accuracies of VHRS Imagery Under the Characteristics of Ground Control Points", International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS) 2006, Ho Chi Minh City, Vietnam, 9-11 November 2006.
- Küpcü, R., Teke, M., Çabuk, A., 2014, "Rasat ve Göktürk-2 Görüntülerinin Ortorektifikasyon Başarımına Referans ve Sayısal Yükseklik Modeli Seçiminin Etkisi", 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), İstanbul, 14-17 Ekim 2014.
- Küpcü, R., 2015, "Rasat ve Göktürk-2 Uydu Görüntülerinin Uzaktan Algılama Yazılımları İle Farklı Referans Verileri Kullanarak Geometrik Düzeltme Doğruluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Mutluoglu, O., Yakar, M., Yılmaz, H., M., 2012, "The Most Suitable Sizes of Ground Control Points (Gcps) for World View2", FIG Working Week, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Poli, D., Angiulia, E., Remondino, F., 2010, "Radiometric and Geometric Evaluation of Worldview-2 Stereo Scenes", ISPRS Archives – Volume XXXVIII – Part 1, The 2010 Canadian Geomatics Conference and Symposium of Commission I, ISPRS Convergence in Geomatics – Shaping Canada's Competitive Landscape, Calgary, Alberta, Canada, 15-18 June 2010.
- Teke, M., 2016, "Satellite Image Processing Workflow for Rasat and Göktürk-2", Journal of Aeronautics and Space Technologies, January 2016, Vol. 9, No 1 (1-13).
- URL-1: GÖKTÜRK-2, 2016, www.tai.com.tr/tr/proje/gokturk-2 (access 18 August 2016).
- Yılmaz, H.M., Yakar, M., Mutluoglu, O., Yildiz, F., 2004, "Selection of The Most Suitable Sizes of Ground Control Points in The Satellite Images", ISPRS Congress Istanbul, 12-13 July 2004.

THE INVESTIGATION OF USEABILITY OF NON-METRIC DIGITAL CAMERAS MOUNTED ON THE KITES PLATFORMS AT THE ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION WORK

¹Ali ULVİ, ²Ahmet Suad TOPRAK, ³Murat YAKAR

¹ Selçuk University, Hadim Vocational Schools of Higher Education, Konya, Turkey

² KOP Region of Development Administration, Konya, Turkey

³ Selçuk University, Faculty of Engineering, Department of Geomatic Engineering, 42075 Konya, Turkey

¹ aliulvi@selcuk.edu.tr, ² ahmetsuadtoprak@gmail.com, ³ yakar@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 15.12.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 31.01.2017)

ABSTRACT: In this study, obtaining of 3D model of theater and precision study was carried out on obtained model using kite photos of theater ,at Uzuncaburc Diocaesarea of the ancient theater in the Province of Mersin Silifke District. As a result, using photogrammetric techniques with unmanned aircraft, it has been shown to provide adequate positioning accuracy archaeological documentation. In this way, the production base of the excavation, before and after excavations modeling, monitoring of the development period of the excavation, working area detection and it carries the base may be qualifications of the restoration project.

Key Words: Kite Photogrammetry, 3D model, Archaeological documentation

Uçurtma Platformlarına Monte Edilen Metrik Olmayan Dijital Kameraların Arkeolojik Dökümantasyon Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

ÖZ: Bu çalışmada, Mersin Silifke İlçesi'ndeki antik tiyatronun Uzuncaburc Diocaesarea'sında, tiyatronun uçurtma fotoğraflarını kullanarak tiyatronun 3B modelinin elde edilmesi ve hassasiyet araştırması yapılmıştır. Sonuç olarak, insansız uçaklarla fotogrammetrik teknikler kullanılarak, yeterli aralıklarla arkeolojik belgeler belirlenmesi sağlanmıştır. Bu şekilde, kazının üretim üssü, kazı modellemesi öncesi ve sonrası, kazı gelişim döneminin izlenmesi, çalışma alanı tespiti ve temel taşıdığı restorasyon projesinin nitelikleri olabilir.

Key Words: Uçurtma Fotogrametrisi, 3B model, Arkeolojik Dökümantasyon

INTRODUCTION

Kites have been utilized for lifting photographic cameras since the late 19th century (Beauffort and Dusariez, 1995). KAP became popular in the early years of the 20th century, in fact, before being replaced by photographs from airplanes in the 1920s and 1930s. For the next several decades, KAP was virtually a lost art (Hart, 1982).

Terrestrial photogrammetry technique is a method Which was used for archeological measurements and Documentation of historical artifacts for ages. Photogrammetry, along with the development of digital Techniques, became a more efficient and economical method documentation and protection of architectural works. Recently, as a result of improvements on

digital photogrammetry and computer technology, reconstruction of buildings as three-dimensional took part amongst Current research topics. Day by day modelling a building As three-dimensional has almost become obligatory for Tourism and urban planning (Suveg and Vosselman, 2000). As well known, aerial images are most suitable Database for evaluating and mapping objects. But the High-cost of aircraft campaigns force the scientists and Photogrametrists to think about cheaper solutions Especially for smaller areas. These solutions are (Leloglu et al., 2003; Ulvi and Yakar, 2010):

- Kite.
- Balloon.
- Remote controlled model helicopter.
- Remote controlled model aircraft.

In some regions on the world, kites have been used for aerial photos in scientific researches. Kite aerial photography has been utilized for various types of scientific survey and mapping projects. Bigras (1997) used KAP to produce stereo imagery of a fossil forest bed on Axel Heiberg Island, Arctic Canada. De-tailed mapping of fossil tree stumps was carried out in order to monitor erosion and assess visitor impact at the site. Behavior of penguins in Ant-arctica was documented with KAP by Carlson (1997) could be photographed. KAP was the basis for geologic and archeologic mapping in connection with the wintering site of Dutch Explorer Willem Barents in 1596-97 on Novaya Zemlya, Arctic Russia (Bults, 1997). Warner (1996) has coined the term kiteography, which is the use of KAP in making large-scale topographic maps, based on photogrammetric principles. Overlap-ping, stereo-pairs of photographs are processed digitally to create maps and 3-dimensional displays of the ground.

Research is focused on the use of non-conventional aerial platforms developed for aerial photogrammetric surveys. Different tests have been performed using various platforms, (Everaerts, 2008; Eisenbeiss, 2009; F. Chiabrando et al., 2011) such as helium balloons (Altan et al., 2004; Celikoyan et al., 2003; Fotinopoulos, 2004; Gesafidis et al., 1999), kites (Aber et al., 2002; Bitelli et al., 2003; Bogacki et al., 2008), fixed-wing platforms (Bendea et al., 2007).

Smith et al. (2009) used a kite platform as it remains comparatively inexpensive, is extremely portable and can operate in a variety of environments (Figure 1-2).



Figure 1. Remote controlled rig and camera used for the acquisition of aerial imagery (Smith et al., 2009).



Figure 2. Unframed (parafoil) kite used for lifting the rig and camera payload (Smith et al., 2009).

STUDY AREA

This study was carried out in Silifke town Mersin province Uzuncaburc Diocaesarea ancient theater in (Figure 3). Olba has been an ancient city of Cilicia. It was located about 25 kilometers northeast from Silifke. In the 1st century the nearby sanctuary of Zeus Olbius evolved into a separate city under the name Diocaesarea. The location of the sanctuary and the new city has been identified with the modern village of Uzuncaburc, at a distance of 4 kilometres from Olba (URL1).

For the first time, It has been shown the placement at Hellenistic period, Roman and Late antiquity periods ,lived its best intense of , and had its most brilliant period in the 4th century AD. Finally, the Byzantine emperor II. Theodosius I, a Christian holy center set up here.

Different practices are used in the documentation work of archaeological sites. These are terrestrial laser scanning, terrestrial photogrammetry, HR hotogrammetry and Kite photogrammetry. Kite photogrammetry was preferred because of the intense wind in the study area.



Figure 3. General view of Uzuncaburc theatre

MATERIAL METHOD

Pre-work preparation

In this study, Kite (Figure 4), digital camera and platform (Figure 5-6), a total station (Figure 7) and location the control plates to use for evaluation of the photographs from the obtained UAV has been supplying (Figure 8).



Figure 4. Delta Kite



Figure 5. Digital Camera and carrier platform



PENTAX RZ18 Technical Specifications	
Effective Megapixel	16 Mp
Sensor Size	1/2.33"(6.08x4.56mm)
Resolution	4608x3456
Pixel Size	1.32 μm
Focal Length	4.8421

Figure 6.Pentax RZ18 Technical Specifications



DISTANCE MEASUREMENT	
Measuring Range	
Non-prism Mode	(Target: Kodak White)
In low light condition and without sun glare on target	1.5 to 250m(5 to 820 ft.)
Prism Mode	
Condition 1* (1 prism)	3,000m(9,900 ft)
Measurement Accuracy	
Non-prism Mode	(Diffusing Surface)
1.5 to 2.5m(5 to 82 ft.)	±(10mm)/m. s. e.
25m or more (82 ft. or more)	±(5mm)/m. s. e.
Prism Mode	±(3mm+2ppm × D)/m. s. e. D:Measuring distance (mm)

Figure 7.Topcon GPT – 3007 Reflektorless Total Station and Technical Specifications

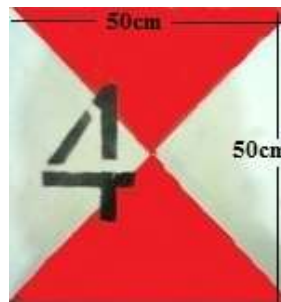


Figure 8. Ground control point target

Field Study

Ground Control Points was placed homogeneously and completely to cover study area of theatre in the field (Figure 9). The number of GCP is used a total of 30. Of these, 20 of them in the precision study, and 10 of them were used in the work of adjustment of the pictures.



Figure 9. Placing of GCP



Figure 10. General view of GCP from air

After finishing the establishment of GCP point, measurements were made with total station and GCP point coordinates are calculated. GCP georeferencing process is made with Topcon GPT 3007 reflectorless total station. Within the application field, two traverse net established and GCP coordinates are calculated. GCP coordinates were evaluated in the Local Coordinate System.

After the georeferencing process, digital camera and kite carrier platform is mounted (Figure 12). After kite for final controls, kite flying operation performed, the photographing operation theater work has been completed (Figure 13). It was noted that the camera platform does not swing and the entire area of the photos can be seen when taking pictures. Photos have been taken from a height of approximately 25 m - 30 m.



Figure 11. GCP measurement



Figure 12. Mounting of camera to kite platform



Figure 13. Taking photos from kite



Figure 14. Taken photo sample from the air by kite

Office work

Before the evaluation process, the calibration values of the digital camera used were introduced to the Photomodeler software. About 50 photos have been taken from kite. By selecting the appropriate

ones among these photographs, 9 photographs have been automatically adjusted in Photomodeler software. When balancing is done, it is taken care that the residual value is 5 denier. The residual value obtained for this study is 2.10.

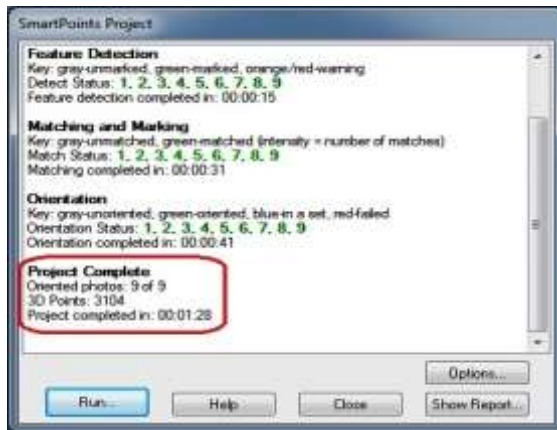


Figure 16. automatically adjustment of 9 photos in Photomodeler software

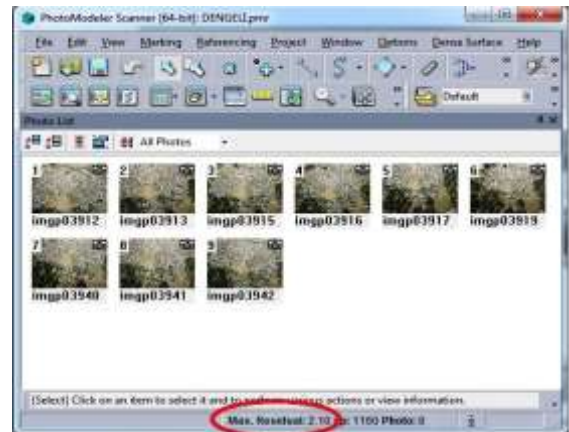


Figure 17. Adjusted photos at Photomodeler software

After these procedures, Ground Control Points are referenced on different photos in Photomodeler software (Figure 19).



Figure 18. Reference points that obtained automatically in Photomodeler software

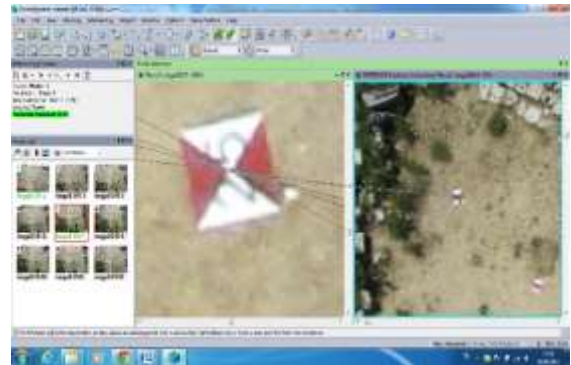


Figure 19. Referencing of ground control points at different photographs at Photomodeler software



Figure 20. Georeferencing of referencing points by the Ground control points

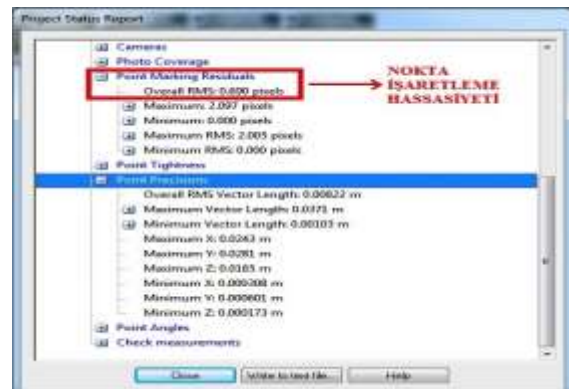


Figure 21. Adjustment report



Figure 22. Textured model of point clouds at PhotoModeler software

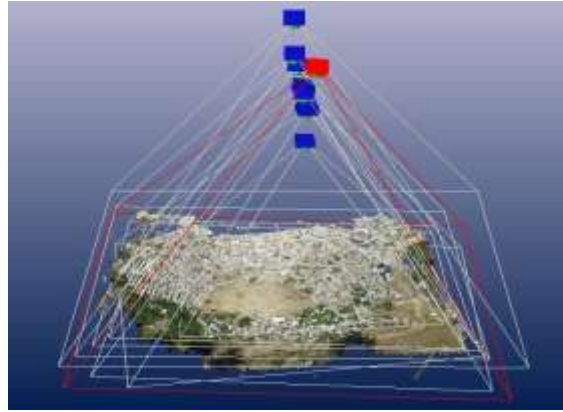


Figure 23. The position of photographs

After this phase, the UAV kite, photogrammetric techniques of using the archaeological documentation of the application, precision survey was conducted. For this study, 30 ground control points are used in the established area of the application, (Figure 24)

Ground control points, coordinates, measured in the survey with total station and accuracy of the device is considered to be absolute coordinates (Figure 24).



Figure 24. The distribution of points for the sensitivity study

After this process, ground control points of the coordinate value on the archaeological documentation, is calculated.

Table 1. Coordinate values of GCP

REAL COORDINATES				MODELLING COORDINATES		
N.N.	Y	X	Z	Y	X	Z
K 1	1023.634	1009.552	1006.522	1023.672	1009.516	1006.495
K 2	1020.703	1021.116	1006.421	1020.671	1021.118	1006.388
K 3	1012.97	1030.519	1006.245	1012.996	1030.556	1006.273
K 4	1002.242	1036.682	1007.7	1002.229	1036.646	1007.668
K 5	991.483	1039.093	1009.702	991.463	1039.067	1009.666
K 6	990.783	1033.13	1006.7	990.816	1033.102	1006.662
K 7	982.624	1031.839	1008.76	982.643	1031.808	1008.725
K 8	980.398	1024.528	1006.401	980.417	1024.512	1006.382
K 9	977.241	1018.002	1006.346	977.268	1017.971	1006.318
K 10	978.65	1011.404	1006.38	978.675	1011.437	1006.359
K 11	982.33	1013.645	1003.387	982.362	1013.614	1003.426
K 12	985.527	1022.363	1003.531	985.556	1022.346	1003.549
K 13	992.379	1028.683	1003.89	992.416	1028.719	1003.923
K 14	999.083	1028.871	1003.332	999.117	1028.906	1003.368
K 15	1005.509	1030.278	1004.553	1005.545	1030.247	1004.574
K 16	1008.329	1026.51	1003.259	1008.287	1026.473	1003.227
K 17	1016.628	1022.187	1005.248	1016.675	1022.158	1005.221
K 18	1018.01	1016.236	1004.992	1018.031	1016.206	1005.024
K 20	1014.097	1007.15	1003.087	1014.135	1007.191	1003.121
K 21	1011.266	1019.187	1001.485	1011.295	1019.227	1001.448
K 22	1005.204	1023.528	1001.142	1005.184	1023.502	1001.116
K 23	1000.888	1023.945	1000.903	1000.932	1023.917	1000.88
K 24	994.863	1024.487	1001.483	994.881	1024.458	1001.458
K 25	990.887	1020.15	1000.751	990.906	1020.134	1000.732
K 26	985.783	1014.191	1001.874	985.823	1014.157	1001.846
K 27	989.711	1014.716	999.622	989.736	1014.749	999.59
K 28	993.844	1019.475	999.205	993.884	1019.439	999.232
K 29	1001.635	1020.809	999.258	1001.674	1020.792	999.276
K 31	1012.801	1012.943	1001.111	1012.834	1012.979	1001.144

Table 2. Coordinate differences and root mean square error of ground control points

DIFFERENCES(m)			Vi			ViVi		
Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z
0.038	-0.04	-0.027	3.8	-3.6	-2.7	14.4	13	7.3
-0.032	-0.04	-0.033	-3.2	-4.2	-3.3	10.2	17.6	10.9
0.026	0.037	0.028	2.6	3.7	2.8	6.8	13.7	7.8
-0.013	-0.04	-0.032	-1.3	-3.6	-3.2	1.7	13	10.2
-0.02	-0.03	-0.036	-2	-2.6	-3.6	4	6.8	13
0.033	-0.03	-0.038	3.3	-2.8	-3.8	10.9	7.8	14.4
0.019	-0.03	-0.035	1.9	-3.1	-3.5	3.6	9.6	12.3
0.019	-0.02	-0.019	1.9	-1.6	-1.9	3.6	2.6	3.6
0.027	-0.03	-0.028	2.7	-3.1	-2.8	7.3	9.6	7.8
0.025	0.033	-0.021	2.5	3.3	-2.1	6.3	10.9	4.4
0.032	-0.03	0.039	3.2	-3.1	3.9	10.2	9.6	15.2
0.029	-0.02	0.018	2.9	-1.7	1.8	8.4	2.9	3.2
0.037	0.036	0.033	3.7	3.6	3.3	13.7	13	10.9
0.034	0.035	0.036	3.4	3.5	3.6	11.6	12.3	13
0.036	-0.03	0.021	3.6	-3.1	2.1	13	9.6	4.4
-0.042	-0.04	-0.032	-4.2	-3.7	-3.2	17.6	13.7	10.2
0.047	-0.03	-0.027	4.7	-2.9	-2.7	22.1	8.4	7.3
0.021	-0.03	0.032	2.1	-3	3.2	4.4	9	10.2
0.038	0.041	0.034	3.8	4.1	3.4	14.4	16.8	11.6
0.029	0.04	-0.037	2.9	4	-3.7	8.4	16	13.7
-0.02	-0.03	-0.026	-2	-2.6	-2.6	4	6.8	6.8
0.044	-0.03	-0.023	4.4	-2.8	-2.3	19.4	7.8	5.3
0.018	-0.03	-0.025	1.8	-2.9	-2.5	3.2	8.4	6.3
0.019	-0.02	-0.019	1.9	-1.6	-1.9	3.6	2.6	3.6
0.04	-0.03	-0.028	4	-3.4	-2.8	16	11.6	7.8
0.025	0.033	-0.032	2.5	3.3	-3.2	6.3	10.9	10.2
0.04	-0.04	0.027	4	-3.6	2.7	16	13	7.3
0.039	-0.02	0.018	3.9	-1.7	1.8	15.2	2.9	3.2
0.033	0.036	0.033	3.3	3.6	3.3	10.9	13	10.9
					[VV]	287.2	293	252.9
					$m = \pm \sqrt{\frac{ V-V }{n}}$	3.1	3.1	2.9

Table 3. Archaeological documentation precision research results produced using a kite with UAV photogrammetric techniques.

	Vy (cm)	Vx (cm)	Vz (cm)
m	±3.1	±3.1	±2.9
m_{yz}		±5.3	

As a result of this data, using photogrammetric techniques with UAV kite, precision research of the produced archaeological documentation data, y, x and z coordinates were found in the average position error is ± 5.3 cm (Table 3).

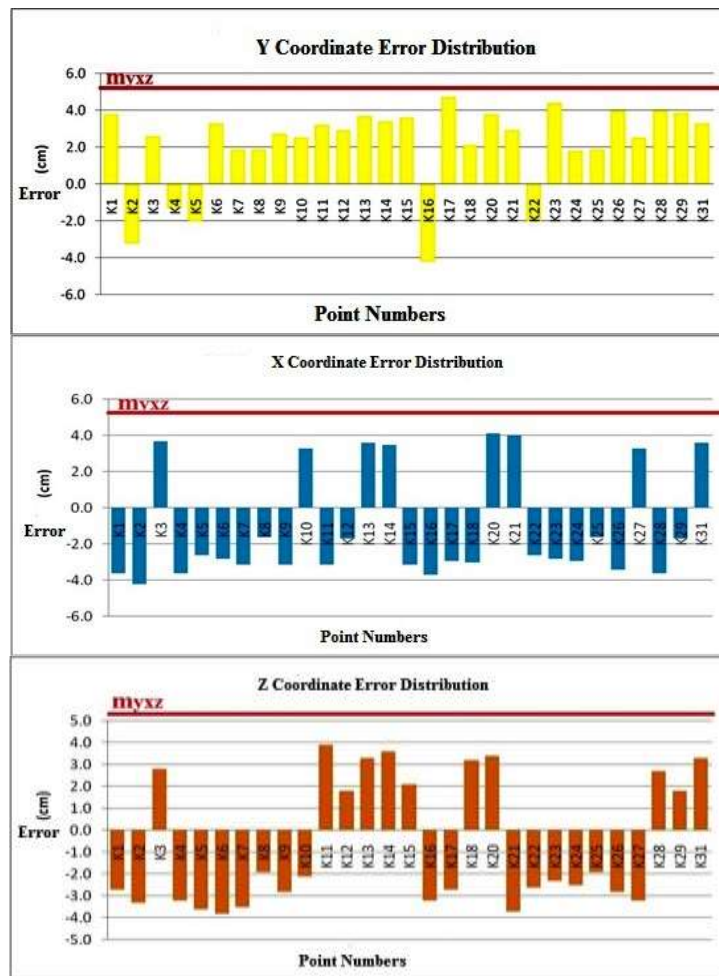


Figure 25. The position error distribution of ground control points, at xy and z axis

COMPARASION OF KITE PHOTOGRAMMETRY WITH TERRESTRIAL LASEL SCANNING AND TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY

Terrestrial laser scanning (TLS), terrestrial photogrammetry and kite photogrammetry have advantages and disadvantages when compared to each other. Terrestrial laser scanning is a technology which can take essential points to create high-resolution 3D model in a short time.

This system can automatically obtain the 3D coordinates of the work area in the complex structure. Although terrestrial laser scanning technology has some disadvantages, it has significant advantages. These advantages can be listed as the acquisition of 3D points directly, very effective in identifying of irregularly structured objects, obtaining of the result in a short time. The main disadvantages are distance limitation, high image cost, and inability to obtain object-oriented features (Demir et al., 2004).

Terrestrial photogrammetry is a method that has been used for many years to document archaeological measurements and historical monuments. The 3D models of the works provide considerable convenience. The disadvantage of high-rise buildings is that they can not be photographed by traditional methods. Kite photogrammetry can display all the details of the objects in a short time. The price is affordable. It's easy to use. It is one of the alternative documentation techniques. The disadvantage is that it can not be used in windless weather.

RESULTS

Kite aerial photography is a low-cost means to acquire largescale,high-resolution, multi-view angle images for diverse applications. KAP applications span the range of scientific and commercial possibilities including: archaeology, architecture, forestry, geomorphology,golf-course management, property survey, and wetland study (James S. Aber and Susan W. Aber,2002) Determination of the current situation of the historical heritages, brings great convenience in terms of time and accuracy for the protection studies, architectural survey projects, Research has shown that the work can be digitized, the resulting product is more rich visual information, and the data obtained makes it possible to be always updated and shared.

In this study, according to the calculated results, using photogrammetric techniques with UAVs, providing sufficient positioning accuracy of archaeological documentation. In this way, the production base of the excavation work, both before and after excavation, modeling, monitoring the development of the excavation period, the working area detection and restoration projects move necessary conditions to become basic.

In terms of time and cost concept, archeological documentation that provides a great advantage over the 3D model of the desired size and value can be obtained precisely. Moreover, by export to different data format from Photomodeler software, other software used according to the intended purpose.

ACKNOWLEDGMENT

This study was prepared for Ali ULVI's Doctorate thesis.

REFERENCES

- Aber, J.S., Aber, S.W., Pavri, F., 2002, "Unmanned Small-format Aerial Photography from Kites for Acquiring Large Scale, High-resolution, Multiview-angle Imagery", ISPRS Archives, Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS, Denver, CO, USA.
- Altan, M.O., Celikoyan, T.M., Kemper, G., Toz, G., 2004,"Balloon Photogrammetry for Cultural Heritage", In: ISPRS Archives Vol. XXXV-B5, XX ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, pp. 964e968.
- Beauffort, G.de, Dusariez, M., 1995, Aerial Photographs Taken from a Kite: Yesterday and Today. KAPWA-Foundation Pub.
- Bendea, H., Chiabrando, F., Tonolo, F.G., Marenchino, D., 2007," Mapping of Archaeological Areas Using a Low-cost UAV", The Augusta Bagiennorum Test Site.In: ISPRS Archives Vol. XXXVI-5/W1, pp. 117e122.
- Bigras, C., 1997, "Kite Aerial Photography of The Axel Heiberg Island Fossil Forest", Am. Soc. Photogrammetry and Remote Sensing", The First North American Symposium on Small Format Aerial Photography: Technical Papers , pp. 147-153
- Bitelli, G., Tini, M.A., Vittuari, L., 2003, "Low-height Aerial Photogrammetry for Archaeological Orthoimaging Production", International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences In: ISPRS Archives Vol. XXXIV, Part 5/W12, pp. 55e-59.
- Bogacki, M., Malkowski, W., Misiewicz, K., 2008, "Kite Aerial Photography (KAP) as a Tool for Completing GIS Models. Ptolemais (Libya) Case Study", In: Lasaponara, R., Masini, N., Aracne (Eds.), Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management. Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop, CNR, Roma, pp. 329e332.
- Bults, P., 1997,"Northeast to Cathay" The Aerial Eye 3.2:10-11.

- Carlson, J., 1997, "Kite Flying in The Freezer", *The Aerial Eye*, Vol. 3/2, pp. 6-7
- Celikoyan, T.M., Altan, M.O., Toz, G., 2003, "Evaluation of a Theatre by using Low-Altitude Aerial and Terrestrial Photogrammetry", In: *ISPRS Archives Vol. XXXIV-5/C15*, CIPA, Antalya, Turkey, pp. 375-379.
- Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtl, T., Ringle, K., Stemle, E., 2004, "Laser Scanning for Terrestrial Photogrammetry, Alternative System or Combined with Traditional System", *ISPRS xx. Symposium, Com. V., WG V/2*, İstanbul, 12-23 July 2004.
- Chiabrando, F., Nex F., Piatti D., Rinaudo F., 2011, "UAV and RPV Systems for Photogrammetric Surveys in Archaeological Areas: two Tests in The Piedmont Region (Italy)", *Journal of Archaeological Science*, Vol. 38(3), pp. 697-710.
- Eisenbeiss, H., 2009, *UAV Photogrammetry*, Thesis Diss. ETH No. 18515, Technische Wissenschaften ETH Zurich, IGP Mitteilung N. 105
- Everaerts, J., 2008, "The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping", In: *ISPRS Archives Vol. XXXVII*. *ISPRS Congress*, Beijing, China, pp.1187-1192.
- Fotinopoulos, V., 2004, "Balloon Photogrammetry for Archaeological Surveys", In: *ISPRS Archives Vol. XXXV-B5*, XX *ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey, pp.504-507.
- Gesafidis, S., Kambourakis, A., Karras, G.E., Lymperopoulos, E., Madani, M., Mavrelis, G., Mavromati, D., 1999, "Digital Orthophotography in Archaeology with Low-altitude Non-metric Images", In: *ISPRS Archives Vol. XXXII*, Part 5/W11, pp. 8-11.
- Hart, C., 1982, *Kites: An Historical Survey*, (2nd ed.,. Appel Publ., Mt. Verno
- James, S. Aber and Susan W. Aber, 2002, "Unmanned Small-Format Aerial Photography from Kites for Acquiring Large-Scale, High-Resolution, Multiview-Angle Imagery", *ISPRS, International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34(1), pp. 1-6
- Leloglu, U.M., Tunalı, E., Algun, O., 2003, "Aerial Photos", <http://vega.bilten.metu.edu.tr/aerialphoto/>, accessed on 12 June, 2003.
- Smith, Mike J., Chandler, J., Rose, J., 2009, "High Spatial Resolution Data Acquisition for The Geosciences: Kite Aerial Photography", *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 34(1), pp. 155-161. Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Ltd.
- Suveg, I., Vosselman, G., 2000, "3D Reconstruction of Building Models", *Technical University of Delft, The Netherlands Photogrammetry and Remote Sensing*, *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam.
- Ulvi, A., Yakar, M., 2010, "An Experimental Study on Preparing Photogrammetric Rolove Plans of Antique Theatres", *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5(7), pp. 1086-1092, July 2010, Available online at <http://www.academicjournals.org/IJPS> ISSN 1992 - 1950 ©2010 Academic Journals
- Warner, W.S., 1996, "Kiteography", *The Aerial Eye*, Vol. 2(2), pp. 16-17,19.
- URL1:<http://asiaminor.ehw.gr/Forms/fLemmaBodyExtended.aspx?lemmaID=8776>, 21 Şubat 2017

NİKEL MANGANİT ESASLI NTC TERMİSTÖRLERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE 0.15 VE 0.30 MOL CuO KATKISININ ETKİSİ

¹Berat YÜKSEL PRICE

¹*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İSTANBUL*
¹berat@istanbul.edu.tr

(Geliş/Received: 05.01.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.02.2017)

ÖZ: Endüstriyel uygulamalarda sıcaklık sensörü olarak kullanılan NTC termistörün karakteristik özelliği, sıcaklığın artmasıyla elektriksel direncinin azalmasıdır. Nikel manganit, NTC termistörler uygulamalarında ana kompozisyonlardan biri olarak kullanılmaktadır. Nikel manganit esaslı NTC termistörlerin elektriksel özellikleri, kobalt oksit, demir oksit, krom oksit ve bakır oksit gibi katkı maddelerinin ilavesiyle değiştirilir. Bu çalışmada bakır oksit katkısının nikel manganit esaslı NTC termistörlerin elektriksel ve mikroyapı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_xMn_{2-x}O_4$ ($x=0.15$ ve 0.30) stokiometrisine uygun numuneler klasik seramik üretim yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Numuneler $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 5 saat sinterlenmiştir. Numunelerin göreceli yoğunluklarının yaklaşık % 97 olduğu belirlenmiştir. $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ numunesi için elektriksel özdirenç (ρ) ve malzeme sabiti (B) sırasıyla $286\ \Omega\cdot\text{cm}$ ve $3355\ \text{K}$ olarak bulunmuştur. CuO katkı miktarının artırılmasıyla ise elektriksel özdirenç ve malzeme sabiti değerlerinin azaldığı saptanmıştır. $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ kompozisyonuna ait $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlenen numunenin elektriksel özdirenç ve malzeme sabiti değerlerinin $61\ \Omega\cdot\text{cm}$ ve $3124\ \text{K}$ olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakır oksit, Elektriksel özellikler, NTC termistör, Sinterleme.

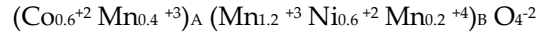
The Effect of 0.15 and 0.30 mol CuO Additions on the Electrical Properties of Nickel Manganite-based NTC Thermistors

ABSTRACT: A decrease in electrical resistance with increasing temperature is the characteristic feature of NTC thermistor utilized as temperature sensors in industrial applications. Nickel manganite is used as one of the main compositions for application of NTC thermistors. The electrical properties of nickel manganite based NTC thermistors are altered by the addition of additives such as cobalt oxide, iron oxide, chromium oxide and copper oxide etc. In this study; the effect of copper oxide addition on the electrical and microstructure properties of nickel manganite based NTC thermistors were investigated. For this purpose, $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_xMn_{2-x}O_4$ ($x=0.15$ and 0.30) samples were prepared by conventional ceramic processing techniques. The samples were sintered at $1300\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 hours. The addition of CuO plays an important role by increasing the bulk density, improving the microstructure properties and enhancing the electrical characteristics of NTC thermistors. It was determined that the relative bulk density of samples was ~97 %. The electrical resistivity (ρ) and material constant (B) of $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ sample were determined as $286\ \Omega\cdot\text{cm}$ and $3355\ \text{K}$. The values of electrical resistivity and material constant decreased with increasing CuO content. The electrical resistivity and material constant of $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ sample were calculated as $61\ \Omega\cdot\text{cm}$ and $3124\ \text{K}$.

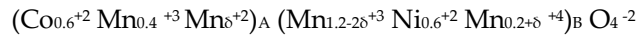
Key Words: Copper oxide, Electrical properties, NTC thermistor, Sintering.

Fe katkılı Cu-Ni-Mn-O sisteminde 800 °C'de kalsinasyon yapılan tozlara uygulanan X-ışınları difraksiyon analiziyle yalnız spinel fazın olduğu tespit edilmiştir. Spinel oksitlerde katyon dağılımı sıcaklık, katyon yarıçapı ve şarj gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bu nedenle bu oksitlerde katyon dağılımı oldukça karmaşıktır ve doğru tespit edilebilmesi oldukça zordur. Geçiş metali içeren NTC seramiklerin havada sinterlenmesi sonucunda katyon değerlilikleri nispeten daha karardır. Mangan Mn^{+2} , Mn^{+3} , Mn^{+4} , nikel Ni^{+2} , bakır Cu^{+} , Cu^{+2} ve demir Fe^{+3} şeklinde bulunmaktadır. Spinel yapı içerisinde Mn^{+3} , Mn^{+4} , Ni^{+2} , Cu^{+2} oktahedral, Mn^{+2} , Cu^{+} tetrahedral bölgeyi tercih ederken, Fe^{+3} her iki bölgede de bulunabilir. Cu^{+} ve Cu^{+2} katyonlarının spinel yapı içerisinde dağılımı konusunda literatürde farklı görüşler olmakla birlikte çoğu araştırmacı Cu^{+} iyonunun tetrahedral bölgede, Cu^{+2} iyonunun ise hem oktahedral hem de tetrahedral bölgede olduğu konusunda hem fikirdir. Xiong ve diğ. (2014) düşük elektriksel direnç değerleri elde edilebilmesi nedeniyle Cu içeren NTC termistör sistemini araştırmıştır. NTC termistörlere yapılan Cu katkısı sıcaklık kararlılığını ve B değerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu durum tetrahedral bölgelerdeki Cu^{+2} iyonlarının Mn^{+3} ve Mn^{+4} arasındaki elektron atlama mekanizmasını değiştirmesi sonucunda oluşmaktadır. Söz konusu çalışmada iki faz saptanmıştır. Ana baskın faz olarak spinel faz ve az miktarda NiO fazı tespit edilmiştir.

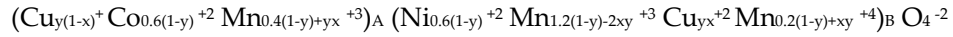
Suzuki (1980) Mn-Ni-Co kompleks oksit sisteminin katyon ve valans dağılımı üzerine yaptığı çalışmada, katyon dağılımını



şeklinde göstermiştir. Az miktarda Mn^{+2} iyonu dahil edildiğinde, katyon dağılımı;

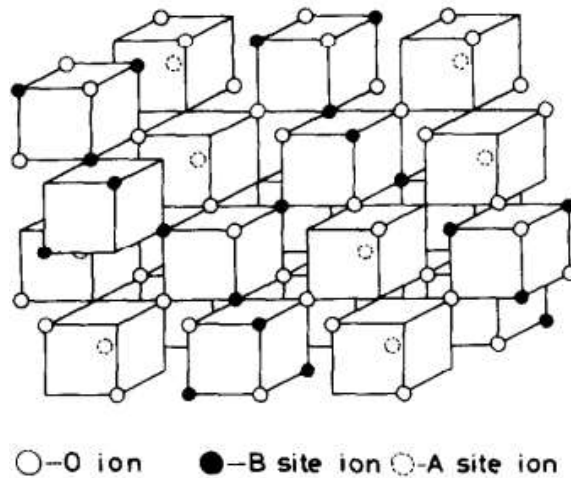


şeklinde olmaktadır. Cu kompozisyona ilave edildiğinde katyon ve valans dağılımı;



şeklinde tespit edilmiştir. Buradaki x Cu iyonlarının B bölgelerindeki sayısıdır.

Şekil 2'de spinel yapıdaki şarj transfer yolu olan elektron atlama bölgeleri (B bölgeleri) gösterilmiştir.

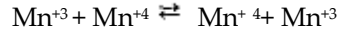


Şekil 2. Spinel yapıda B bölgelerindeki elektron atlama zincirlerinin şematik gösterimi (Suzuki, 1980).

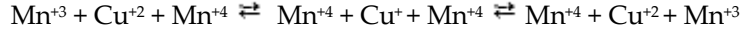
Figure 2. B sites in spinel-type structure, showing chains of hopping sites

Taşıyıcılar B bölgelerindeki Mn iyonlarından kaynaklanmaktadır ve şarj transferi birbirine komşu

olan Mn iyonları arasında gerçekleşmektedir. Bu iletim;



şeklinde dir. Cu içerdiğinde ise;



şeklinde olmaktadır. Cu iyonları anlık olarak yarı kararlı Cu^{+} oluşumuyla B bölgelerinde şarj transfer prosesine katılmaktadır.

Zhao ve diğ. (2008) Ni-Mn-O sistemine Cu ve Zn katkısının NTC termistörlerin elektriksel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Mangan asetat, nikel asetat, bakır asetat ve çinko asetat hammaddeleri kullanılarak, $\text{Cu}_x\text{Zn}_{1.0}\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{1.5-x}\text{O}_4$ ve $\text{Cu}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{2.5-x}\text{O}_4$ stokiometrisine uygun numuneler hazırlanmıştır. Tüm numunelerin yoğunluğunun %95 ve üzerine ulaştığı saptanmıştır. XRD analizi sonuçlarına göre tetragonal yapının Cu katkısıyla birlikte kübik yapıya dönüştüğü belirtilmiştir. XPS analiziyle Cu iyonlarının spinel yapı içerisinde bulunabileceği olası bölgeler belirlenmiştir. Bu analizin sonuçlarına göre, $\text{Cu}_x\text{Zn}_{1.0}\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{1.5-x}\text{O}_4$ sistemi için tetrahedral bölgede Zn^{+2} ve Cu^{+} iyonlarının, oktahedral bölgede ise Zn^{+2} , Cu^{+} , Ni^{+2} , Mn^{+4} ve Mn^{+3} iyonlarının bulunduğu tespit edilmiştir. $\text{Cu}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{2.5-x}\text{O}_4$ sistemi için ise tetrahedral bölgede Mn^{+2} , Cu^{+2} ve Cu^{+} iyonlarının, oktahedral bölgede ise Cu^{+2} , Ni^{+2} , Mn^{+4} ve Mn^{+3} iyonlarının bulunduğu raporlanmıştır. Sadece bakır katkısı yapılan ve bakır ile çinkonun beraber katkı yapıldığı numunelerde bakır içeriğinin artması ile özdirenç ve B değerleri azalmıştır. Ancak bu değerlerdeki azalmalar sadece bakır katkısı yapılan numunelerde daha fazladır. Elektriksel kararlılık karşılaştırılması yapıldığında, bakır ile çinkonun beraber katkı yapıldığı numunelerin sadece bakır katkı yapılmış numunelere göre daha kararlı olduğu raporlanmıştır.

Park ve Lee (2007) tarafından düşük direnç uygulamalarında Mn-Ni-Co-Cu-Zn-O esaslı NTC termistörlerin termal kararlılığı incelenmiştir. $(\text{Mn}_{1.95-x}\text{Ni}_{0.45}\text{Co}_{0.15}\text{Cu}_{0.45}\text{Zn}_x)\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.3$) genel formülüne uygun kompozisyonlar hazırlanmıştır. $x=0.12$ ve altında çinko oksit katkısı içeren numunelerde elektriksel direncin arttığı, $0.18 \leq x \leq 0.3$ olan numunelerde ise elektriksel direncin azaldığı tespit edilmiştir. Çinko oksit katkısı $x \leq 0.12$ olduğunda numunelerde $B_{25/85}$ değerlerinin önemli ölçüde arttığı ve $x=0.12$ ZnO katkısı için maksimum $B_{25/85} = 3169$ K ulaşıldığı belirtilmiştir. Bakır katkılı numuneler için $B_{25/85}$ değeri 2875 K olarak bulunmuş ve bu değer bakır katkısız numuneler için hesaplanan 3068-3133 K değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. $B_{25/85}$ değerlerinin geliştirilmesi pratik uygulamalar için gereklilik olmasına rağmen, çok düşük özdirençli termistörler için bunun elde edilmesinin oldukça güç olduğu vurgulanmıştır.

Park ve Lee (2009) yaptıkları çalışmada sinterleme sıcaklığı olarak bir önceki çalışmadan farklı olarak 1025 ve 1075 °C seçilerek kompozisyonlar sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerde katkı metal oksitlerin oluşturduğu spinel oksit fazın baskın olarak olduğu görülmektedir. Bu katkı çözümlüğe ek olarak NiO-zengin Mn-Ni-Co-Cu-Zn-O oksit ile tetragonal Mn_3O_4 fazının olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar Mn-Ni-Co-Cu-Zn-O spinel fazının bozunmasına bağlı olarak NiO-zengin ve Mn_3O_4 fazlarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan bu çalışmada ZnO kafes yapısında bozulmaya yaratarak sinterlemeye yardımcı olduğu böylece tane büyümesinin gerçekleştiği saptanmıştır. Çinko oksit katkısı $x \leq 0.12$ olduğunda elektriksel özdirenç arttığı saptanmış ve bu durumun elektronik yük dengesi sağlamak amacıyla spinel kristal yapıdaki oktahedral bölgelerde bulunan Mn^{+4} iyon sayısının arttırıldığını belirtmişlerdir. Mn^{+3} - Mn^{+4} ve Cu^{+} - Cu^{+2} iyon çiftlerinin sayılarında azalma elektriksel özdirenç artışına neden olmaktadır. Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı kompozisyon oranları seçilerek CuO katkılı Ni-Mn-Co-O sistemi için 1300 °C'de yapılan sinterlemenin numunelerin elektriksel ve mikroyapı özelliklerine etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS and METHOD)

Bu çalışmada $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ ve $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ mol oranlarına sahip iki farklı kompozisyon hazırlanmıştır. Metal oksit hammaddeler, homojen karıştırılması için zirkonya bilye ve etanol ortamında MTI Corporation, MSK-SFM-2 marka bilyeli değirmen kullanılarak 6 saat süreyle karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar W.C. Heraeus Hanau, FT-420 marka etüv kullanılarak $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuştur. Etüvde kurutulan tozlar $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Tartılan tozlar bağlayıcı olarak polivinil alkol eklendikten sonra çapı 12 mm olan kalıpta 450 MPa basınç altında disk şeklinde preslenmiştir. Tozlar için bağlayıcı olarak ağırlık % 5 PVA kullanılmıştır. Sinterleme SFL marka laboratuvar tipi fırında, hava ortamında $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızıyla $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 5 saat süreyle yapılmıştır. Numuneler fırın içerisinde soğutulmuştur. Sinterleme sonrası numunelerde oluşan fazlar, X-ışınları difraksiyon analiziyle (XRD-Rigaku D/Max-2200/PC) saptanmıştır. X-ışınları difraksiyon analizi için CuK_{α} ($\lambda=1.54056\text{ \AA}$) radyasyonu (60 kV/2 kW) kullanılmıştır. Sinterleme işlemi sonrasında numunelerin yığın yoğunluk değerleri Arşimed Metodu kullanılarak hesaplanmıştır (Bengisu 2001). Numuneler etüvde kurutulmuş ve tartılmıştır. Numuneler $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki kaynayan suyun içerisinde 5 saat süreyle kaynatılmış ve 24 saat su içerisinde bekletilmiştir.

Numunelerin yığın yoğunluk (d) değerleri Denklem 1;

$$d_{\text{yığın yoğunluk}} = \left[\frac{W_K}{W_D - W_A} \right] \times d_s \quad (1)$$

yardımla hesaplanmıştır.

W_K (Kuru ağırlık) = Numunenin kaynatma öncesi havadaki kuru ağırlığı (g)

W_A (Askı ağırlık) = Saf suda kaynatılmış numunenin saf su içerisindeki asılı ağırlığı (g)

W_D (Doymuş ağırlık) = Saf suda kaynatılmış numunenin havadaki ağırlığı (g)

d_s = Saf su yoğunluğu (1 g/cm^3)

Numunelerin mikroyapı özellikleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Disk şeklinde üretilen ve sinterlenen numunelerin elektriksel özelliklerinin belirlenebilmesi için numunelerin her iki yüzeyi gümüş iletken pasta ile kaplanmış ve $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki fırın içerisinde 1 saat tutulmuştur. Numunelerin elektriksel özdirenç (ρ) değerleri oda sıcaklığındaki direnç değeri kullanılarak Denklem 2;

$$\rho = \frac{R \times A}{l} \quad (2)$$

yardımla hesaplanmıştır. Burada numunelerin direnç değerleri " R " (Ω), kesit alanı A (cm^2) ile numunelerin uzunluğu ise " l " (cm) ile ifade edilmektedir (Li ve diğ. 2014). Numunelerin elektriksel özelliklerinin sıcaklıkla ilişkisinin anlaşılabilmesi için fırın içerisinde $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar numuneler ısıtılmıştır. Isıtılan numunelerin sıcaklığına karşı sürekli değişen elektriksel direnç değerleri bilgisayar ortamına bağlı multimetre kullanılarak gerekli ölçümler alınmıştır.

Numunelerin malzeme sabiti olarak adlandırılan B (K) değerleri Denklem 3'e göre

$$B_{25/85} = \frac{\ln \rho_{25} - \ln \rho_{85}}{\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T_{85}}} \quad (3)$$

$\rho_{25} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{deki öz direnç } (\Omega.\text{cm}),$

$\rho_{85} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{deki öz direnç } (\Omega.\text{cm})$

Numunelerin $25\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{deki duyarlılık katsayısı değerleri } (\alpha, \text{K}^{-1})$ Denklem 4;

$$\alpha = \frac{B}{T^2} \quad (4)$$

kullanılarak hesaplanmıştır. "T" 298 K'dır (Kong ve diğ., 2014).

Numunelerin aktivasyon enerjisi değerleri (E_a , eV) ise Denklem 5;

$$E_a = Bk_b \quad (5)$$

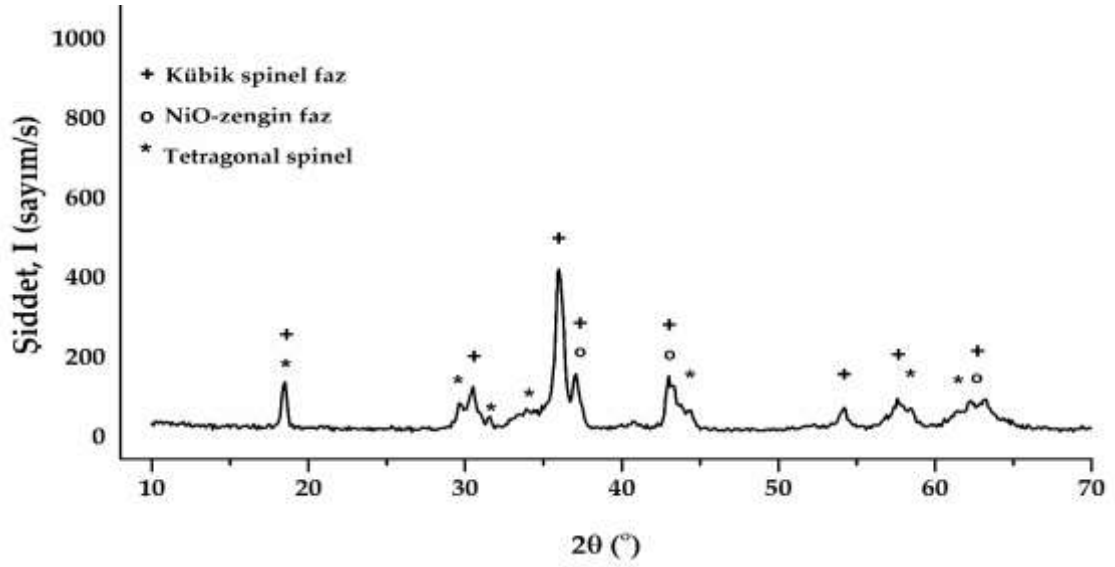
ile hesaplanmıştır. Burada "k_b" ile ifade edilen Boltzmann sabitidir ve 8.617×10^{-5} eV değerindedir (Park, 2005).

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

$\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Cu}_{0.3}\text{Mn}_{1.7}\text{O}_4$ kompozisyonuna ait $1300\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlenen numunenin XRD analizi Şekil 3'de verilmektedir. Daha önce yapılan çalışmada $\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_y\text{Mn}_{2-y}\text{O}_4$ ($0.1 \leq y \leq 0.5$) kompozisyonlarına ait numuneler $1000\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlendiğinde kübik spinel fazın oluştuğu saptanmıştır (Jadhav ve diğ., 2012). $1300\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlenen $\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Cu}_{0.3}\text{Mn}_{1.7}\text{O}_4$ numunesi üç fazdan oluşmaktadır; NiO'ce zengin faz, kübik spinel ve tetragonal spinel faz. Ma ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada $\text{Ni}_{0.6}\text{Mn}_{2.4}\text{O}_4$ NTC seramikleri katı hal koordinasyonu yöntemiyle hazırlamıştır. $\text{Ni}_{0.6}\text{Mn}_{2.4}\text{O}_4$ spinel fazının $400\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ oluşmaya başladığı saptanmıştır. Pik genişlemesi; tozların iyi kristalin olmamasına ve tane boyutunun küçük olmasına bağlanmıştır. Kübik spinel $(\text{Ni-Mn})_3\text{O}_4$ ve tetragonal spinel Mn_3O_4 yapısının 500 ve $600\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ kalsine edilen tozlarda mevcut olduğu saptanmıştır. Kalsinasyon sıcaklığı $700\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{nin}$ üzerine çıktığında tetragonal spinel Mn_3O_4 yapısının kaybolduğu ve yalnız kübik spinel $\text{Ni}_{0.6}\text{Mn}_{2.4}\text{O}_4$ fazının elde edildiği saptanmıştır. Sinterleme sıcaklığı $1150\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{nin}$ altında olduğunda yalnızca kübik spinel faz yapısı elde edilmiştir. $1200\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlenen numunelerde tetragonal yapıdaki Mn_3O_4 ikincil fazının (Hausmannite) oluştuğu tespit edilmiştir. $\text{Ni}_{0.6}\text{Mn}_{2.4}\text{O}_4$ kısmen bozunarak (311) pikinin genişlediği saptanmıştır.

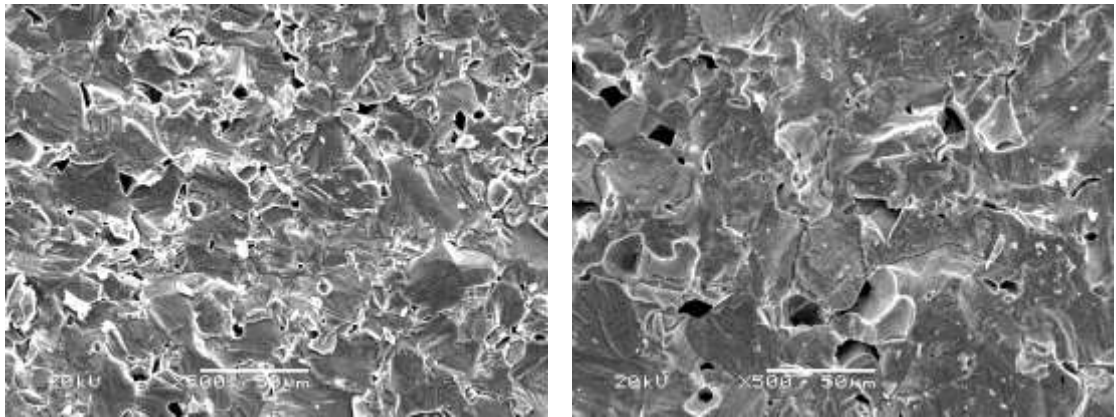
Gao ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ altında sinterlenen numunelerde yalnızca kübik spinel yapı elde edilmiştir. Numuneler $1100\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlendiğinde kübik spinel faza ek olarak NaCl (kayatzuzu) tipi kristal yapısına sahip NiO-zengin fazın varolduğu tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı 1150 ve $1200\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{ye}$ artırıldığında ise oktahedral bölgeleri işgal eden yüksek spine sahip Mn^{3+} iyonlarından kaynaklı Jahn-Teller bozunmasıyla numunelerde tetragonal bozunma meydana geldiği saptanmıştır. Literatürle uyumlu olarak $1300\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de}$ sinterlenen $\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Cu}_{0.3}\text{Mn}_{1.7}\text{O}_4$ numunesinin NiO'ce zengin faz, kübik spinel ve tetragonal spinel faz olmak üzere üç fazdan oluştuğu saptanmıştır.

Zhao ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada $\text{Zn}_{1.0}\text{Cu}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{1.5-x}\text{O}_4$ sisteminde, düşük bakır içeriğinde ($x \leq 0.1$) spinel yapıda tetragonal bir çarpılma meydana geldiği, bakır içeriğinin ($0.2 \leq x$) yüksek olması halinde kübik spinel yapı oluştuğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, $\text{Cu}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{2.5-x}\text{O}_4$ sisteminde düşük bakır içeriğinde tetragonal yapının kübik yapıya dönüştüğü ve bakır içeriğinin artmasıyla kübik yapıya dönüşümün arttığı raporlanmıştır. Bakır içeriğinin artmasıyla Mn^{3+} iyon konsantrasyonunun azaldığı ve böylece Jahn-Teller etkisinin daha önemsiz hale geldiği sonuç olarak ise tetragonal yapıdan kübik yapıya dönüşüm gerçekleştiği bildirilmiştir.



Şekil 3. 1300 °C'de sinterlenen $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ numunesinin XRD analizi paterni.

Figure 3. XRD pattern of $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ sample sintered at 1300 °C.



a) $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$

b) $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$

Şekil 4. $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ ve $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ sinterlenen numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Figure 4. SEM micrographs of $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ and $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ sintered samples

1300 °C'de sinterlenen $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ ve $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ kompozisyonlarına ait numuneler yaklaşık % 97 relatif göreceli yığın yoğunluğa ulaşmıştır. Şekil 4'de verilen 1300 °C'de sinterlenen $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O_4$ ve $Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O_4$ kompozisyonlarına ait numunelerin SEM fotoğrafları göreceli yığın yoğunluğu değerleriyle uyumludur. Mikroyapıda artan Cu içeriği ile tane boyutunun arttığı görülmektedir. Sinterlemenin son aşamalarında gerçekleşen ve mikroyapı özellikleri açısından en önemli etki Cu katkısının 1050 °C'de yarattığı sıvı faz sinterlemesidir. Mikroyapı fotoğrafları kırık yüzeyden alındığından sıvı faz sinterlemesi nedeniyle kırılma tane sınırlarından değil tanelerin içinden gerçekleştiği için tane sınırlarının belirgin olmadığı söylenebilir.

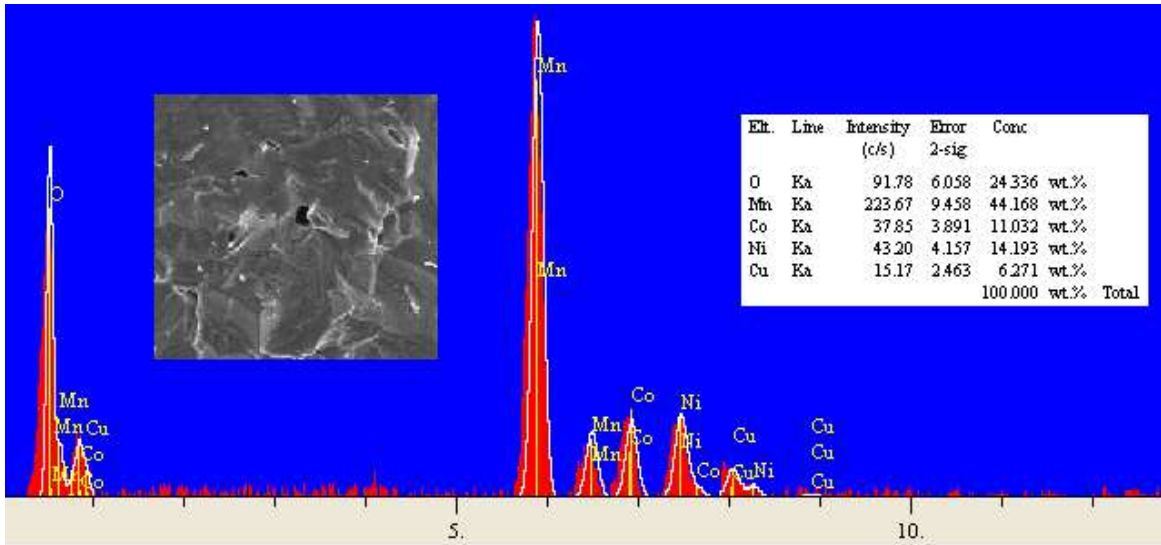
Literatürde yapılan birçok farklı çalışmada CuO katkısının çeşitli elektronik seramik sistemleri üzerine etkisinin incelendiği görülmektedir. Sıvı fazın oluşması Cu-katkılı numunelerde yoğunluk artışına neden olmaktadır (Takao ve diğ., 2006). Wang ve diğ. (2013) CuO katkısıyla oluşan sıvı fazın tanelerin yüzeylerini ıslatıp kaplayarak difüzyon artışına neden olduğunu belirtmişlerdir. Yoğunluk artışı oluşan sıvının kapiler hareketiyle artmakta ve Cu iyonları tekrar latis içerisine geçmektedir. Li ve

diğ. (2009) yaptığı çalışmada kapiler gücün yerel olarak yeniden yerleşmelere iteceğini ve kütle transferini hızlandıracağını raporlamıştır. Sonuç olarak küçük taneler kaybolurken, büyük tanelerde tane büyümesi artmaktadır. Bu durum yoğunluk artışı ve tane büyümesiyle sonuçlanmaktadır. Benzer şekilde bir diğer çalışmada CuO katkısının 1050 °C'de yarattığı sıvı faz sinterlemesiyle (K_{0.5}Na_{0.5})NbO₃ piezoelektrik seramik numunelerin yığın yoğunluğunda artış ve tane büyümesi meydana gelmiştir (Takao ve diğ., 2006). Pb(Zr,Ti)O₃-PbZn_{1/3}Nb_{2/3}O₃-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ esaslı seramiklerde CuO katkısının sinterleme sıcaklığını sıvı faz oluşturarak düşürdüğü raporlanmıştır. Ayrıca 900 °C gibi düşük sinterleme sıcaklığında sinterlenen CuO katkılı seramiklerde CuO oranının artmasıyla tane büyümesi gerçekleştiği saptanmıştır (Ngamjarurojana, 2009). Bir diğer çalışmada da CuO katkısının, PMnN-PZT esaslı piezoelektrik seramiklerin yığın yoğunluğunu 980-1040 °C aralığında geliştirdiği saptanmıştır (Tsai ve diğ., 2009). Numunelerin yığın yoğunluğunda görülen artışın nedeni açıklanırken literatürde bahsedildiği üzere iki durum göz önüne alınmalıdır.

- i) Cu iyonları nedeniyle oluşan katyonların difüzyonunun artması
- ii) İnce nikel manganit tanelerinin reaktivitelerindeki artış

Cu içeriğinin artmasıyla tane boyutunda meydana gelen artış, sıvı faz nedeniyle tetiklenen Cu iyonlarının atomik hareket edebilirliğindeki artışın sonucudur (Jadhav ve Puri, 2010).

1300 °C'de sinterlenen Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ kompozisyonuna ait genel EDS analizi Şekil 5'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar kompozisyon oranı ile uyumludur.



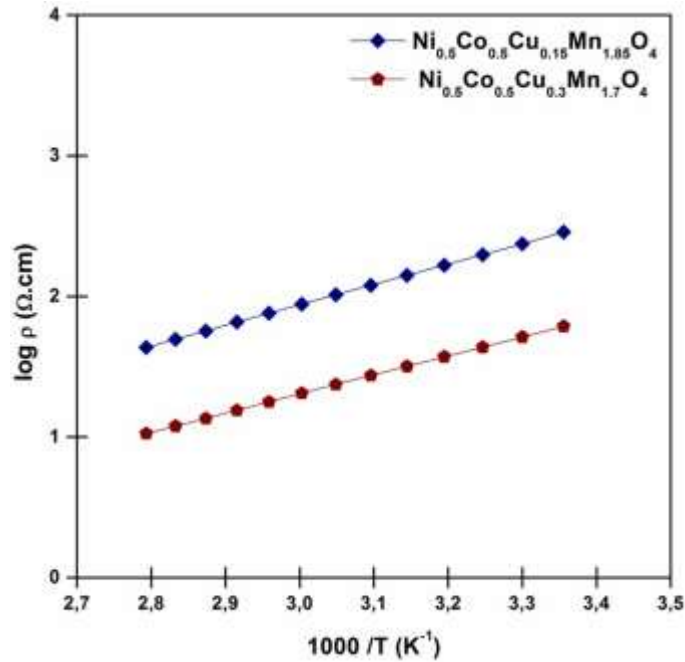
Şekil 5. Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ numunesinin mikroyapısından alınan genel EDS analizi.

Figure 5. EDS analysis on SEM micrographs of Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ sample

Elektriksel özelliklerin artan sıcaklıkla ilişkisinin anlaşılabilmesi için numunelerin 25 °C'den 85 °C'ye kadar elektriksel direnç ölçümleri yapılmıştır. 1300 °C'de sinterlenen Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ ve Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ numunelerin elde edilen deney sonuçları log elektriksel özdirenç (ρ) - 1000/T grafikleri olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ kompozisyonuna ait 1300 °C'de sinterlenen numunelerin elektriksel özdirenç (ρ) ve malzeme sabiti (B) değerleri 286 Ω.cm ve 3355 K olduğu belirlenmiştir. Artan Cu oranı ile Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ kompozisyonuna ait 1300 °C'de sinterlenen numunenin elektriksel özdirenç (ρ) ve malzeme sabiti (B) değerlerinin ise 61 Ω.cm ve 3124 K'e azaldığı saptanmıştır.

Zhao ve diğ. (2008) 1050 °C'de 4 saat sinterlenen Ni_{0.5}Mn_{2.5}O₄ numunesi için elektriksel özdirenç ve malzeme sabiti değerlerini sırasıyla 2907 Ω.cm ve 3970 K olarak raporlamıştır. Cu_{0.4}Ni_{0.5}Mn_{2.1}O₄

numunesinin 1050 °C'de 4 saat sinterlenmesiyle ise elektriksel özdirenç ve malzeme sabiti değerlerinin sırasıyla 12.6 Ω.cm ve 2760 K değerlerine azaldığı belirtilmiştir. Nikel manganit seramiklerde elektriksel iletim B-bölgelerindeki Mn⁺³ ve Mn⁺⁴ iyonları arasında olmaktadır. Bu mekanizmaya göre, elektriksel özdirenç Mn⁺³ ve Mn⁺⁴ çiftlerinin üretimiyle ters orantılıdır. Söz konusu çalışmada Cu ve Zn katkılı Ni_{0.5}Mn_{2.5}O₄ seramiklerde Zn iyonlarının A-bölgelerini işgal ettiği, Cu iyonlarının ise baskın olarak B-bölgelerinde kalmasına neden olduğu saptanmıştır.



Şekil 6. Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ ve Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ kompozisyonlarına ait numunelerin log elektriksel özdirenç (ρ) - 1000/T grafiği.

Figure 6. Log electrical resistivity-1000/T graph of Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ and Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ samples

Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ kompozisyonuna ait 1300 °C'de sinterlenen numunenin aktivasyon enerjisi (eV) ve duyarlılık katsayısı (-%/K) değerlerinin 0.29 ve 3.777 olduğu saptanmıştır. Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ kompozisyonuna ait 1300 °C'de sinterlenen numunenin aktivasyon enerjisi (eV) ve duyarlılık katsayısı (-%/K) değerlerinin 0.27 ve 3.517 değerlerine azaldığı saptanmıştır.

Çizelge 1. Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ ve Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ numunelerin ρ₂₅ (Ω.cm), B_{25/85} (K), α₂₅ (-%/K) ve E_a (eV) değerleri.

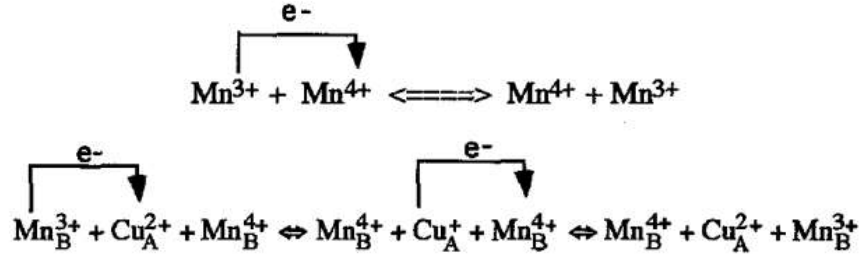
Table 1. ρ₂₅ (Ω.cm), B_{25/85} (K), α₂₅ (-%/K) and E_a (eV) values of Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ and Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ samples

	Ni _{0.5} Co _{0.5} Cu _{0.15} Mn _{1.85} O ₄	Ni _{0.5} Co _{0.5} Cu _{0.3} Mn _{1.7} O ₄
ρ ₂₅ (Ω.cm)	286	61
B _{25/85} (K)	3355	3124
α ₂₅ (-%/K)	3,777	3,517
E _a (eV)	0,29	0,27

Çizelge 1.'de Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.15}Mn_{1.85}O₄ ve Ni_{0.5}Co_{0.5}Cu_{0.3}Mn_{1.7}O₄ kompozisyonlarına ait 1300 °C sinterlenen numunelerin ρ₂₅ (Ω.cm), B_{25/85} (K), α₂₅ (-%/K) ve E_a (eV) değerleri verilmiştir. Literatürde NTC termistörlere yapılan CuO katkısının elektriksel özelliklere katkısı şu şekilde açıklanmıştır.

Elbadraoui ve diğ. (1997) Mn-Ni-Cu-O sisteminin katyon dağılımı ve elektriksel iletim mekanizmasıyla ilgili çalışmalarında, elektriksel iletim mekanizmasını hem oktahedral

bölgelerdeki Mn^{3+} ve Mn^{4+} arasında gerçekleşen direk elektron atlaması, hem de tetrahedral bölgelerdeki Cu^{2+} aracılığıyla gerçekleşen direk olmayan elektron atlaması ile açıklamış ve şematik olarak Şekil 7’de göstermiştir.



Şekil 7. Elbadraoui ve diğ. (1997) yaptıkları çalışmada gösterilen elektriksel iletim mekanizması.

Figure 7. Electrical conduction mechanism given by Elbadraoui et al. (1997)

Cu^+ ve Cu^{2+} katyonlarının Cu içeren spinel yapı içerisinde dağılımı konusunda literatürde farklı görüşler olmakla birlikte çoğu araştırmacı Cu^+ iyonunun tetrahedral bölgede; Cu^{2+} iyonunun ise hem oktahedral hem de tetrahedral bölgede olduğu konusunda hem fikirdir (Fang, 2008). Xiong ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada numunelerin öz dirençlerindeki azalmanın, tetrahedral bölgelerdeki Cu^{2+} iyonlarının Mn^{3+} ve Mn^{4+} arasındaki elektron atlama mekanizmasını değiştirmesinden kaynaklandığını raporlamıştır.

Muralidharan ve diğ. (2012) tarafından Cu ve Fe katkısının Ni-Mn-Co-O esaslı NTC termistörlerin elektriksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ni-Mn-Co-O seramik sistemi farklı birçok uygulamada kullanılan NTC termistörler için mükemmel bir seçim olarak önerilmiştir. $NiMn_2O_4$ içerisinde Cu, Fe, Zn gibi çeşitli elementlerin Co ile birlikte kullanımıyla elektriksel özelliklerin hassas olarak ayarlanabileceği vurgulanmıştır. Ani akım sınırlayıcısı gibi birçok uygulamada NTC termistörlerin düşük elektriksel öz direnç ve geliştirilmiş duyarlılığa sahip olması istenir. Cu katkısı elektriksel öz direnci azaltması nedeniyle yapılır. Ancak fazla oranda yapılan CuO katkısının numunelerin sıcaklıktaki ani değişimlerine karşın az duyarlı olmasına neden olmaktadır. Az oranlarda yapılan Cu içeriğinin miktarı arttıkça Mn^{3+}/Mn^{4+} çiftlerinin oktahedral bölgelerdeki sayısı artmaktadır. Buna ek olarak elektrik iletiminde Mn^{3+}/Mn^{4+} katyon çiftleriyle birlikte Cu^+/Cu^{2+} katyon çiftlerinin oktahedral bölgelerdeki katkısı da dikkate alınmalıdır. Ayrıca söz konusu çalışmada sinterleme sıcaklığının artmasıyla malzeme sabiti ve öz direnç değerlerinde artış gözlenmiştir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla numunedeki oksijen kayıpları artmaktadır. Spinel yapı içerisinde katyon dağılımı ve 2 değerlikli bir molekül oksijenin kaybı, iki Mn molekülünün Mn^{4+} ’den Mn^{3+} ’e indirgenmesine neden olacaktır. Bu nedenle atlama mekanizması ihtimali düşük olacaktır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda malzeme sabiti ve öz direnç değerlerindeki azalma, empürite veya katkıların tane sınırlarında ayrışması-çökmesi potansiyel bir engel etkisi yaratabilir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada nikel manganit esaslı NTC termistörlere bakır oksit katkısının elektriksel ve mikroyapı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. CuO katkısının sıvı faz sinterlemesi yaratması sonucunda numunelerin yığın yoğunluğunda artışa neden olduğu saptanmıştır. Ayrıca artan Cu içeriğinin numunelerde düşük elektriksel öz direnç değerleri elde edilmesinde etkili olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni olarak Cu içeriğinin miktarı arttıkça Mn^{3+}/Mn^{4+} çiftlerinin oktahedral bölgelerdeki sayısı artması gösterilebilir. Elektrik iletiminde

Mn^{+3}/Mn^{+4} katyon çiftleriyle birlikte Cu^+/Cu^{+2} katyon çiftlerinin oktahedral bölgelerdeki katkısı numunelerde daha iyi elektriksel iletkenlik değerleri elde edilmesine neden olmuştur. Bu nedenle CuO katkısının hem mikroyapı kontrolünde hem de elektriksel özellikleri kontrolünde NTC termistörler için önemli bir katkı olduğu söylenebilir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 114M860 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK'a finansal desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akash, B.A., Mamlook, R., Mohsen, S. M., 1999, "Multi-Criteria Selection of Electric Power Plants Using Analytical Hierarchy Process", *Electric Power Systems Research*, Vol. 52, No. 1, pp. 29-35.
- Bengisu, M. 2001, *Engineering Ceramics*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 629 pp.
- Elbadraoui, E., Baudour, J.L., Bouree, F., Gillot, B., Fritsch, S., Rousset, A., 1997, "Cation Distribution and Mechanism of Electrical Conduction in Nickel-Copper Manganite Spinel", *Solid State Ionics*, Vol. 93, pp. 219-225.
- Fang, D., Chena, C., Winnubst, A.J.A., 2008, "Preparation and Electrical Properties of $Fe_xCu_{0.10}Ni_{0.66}Mn_{2.24-x}O_4$ ($0 \leq x \leq 0.90$) NTC Ceramics", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 454, pp. 286-291.
- Feteira, A., 2009. "Negative Temperature Coefficient Resistance (NTCR) Ceramic Thermistors: An Industrial Perspective", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 92 (5), pp. 967-983.
- Gao, H., Ma, C., Sun, B., 2014, "Preparation and Characterization of $NiMn_2O_4$ Negative Temperature Coefficient Ceramics by Solid-State Coordination Reaction", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 25 (9), pp. 3990-3995.
- Jadhav, R.N., Puri, V., 2010, "Influence of Copper Substitution on Structural, Electrical and Dielectric Properties of $Ni_{(1-x)}Cu_xMn_2O_4$ ($0 \leq x \leq 1$) Ceramics", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 507 (1), pp. 151-156.
- Jadhav, R.N., Mathad, S.N., Puri, V., 2012, "Studies on The Properties of $Ni_{0.6}Cu_{0.4}Mn_2O_4$ NTC Ceramic due to Fe Doping", *Ceramics International*, Vol 38 (6), pp. 5181-5188.
- Kong, W., Chen, L., Gao, B., Zhang, B., Zhao, P., Ji, G., Chang, A., Jiang, C., 2014, "Fabrication and Properties of $Mn_{1.56}Co_{0.96}Ni_{0.48}O_4$ Free-standing Ultrathin Chips", *Ceramics International*, Vol 40, pp. 8405- 8409.
- Li, J., Songping, W., Xiaohong, D., Jing, N., 2009, "ZnTiO₃-Based Ceramics Sintered at Low Temperature with Boron Addition for Multilayer Ceramic Capacitor Applications", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 20(12), pp. 1186-1192.
- Li, D-F., Zhao, S-X., Xiong, K., Bao, H-Q., Nan, C-W., 2014, "Aging Improvement in Cu-containing NTC Ceramics Prepared by Co-precipitation Method", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 582, pp. 283-288.
- Ma, C., Liu, Y., Lu, Y., Gao, H., Qian, H., Ding, J., 2013, "Preparation and Characterization of $Ni_{0.6}Mn_{2.4}O_4$ NTC Ceramics by Solid-state Coordination Reaction", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol 24 (12), pp. 5183-5188.
- Macklen, E.D., 1979, *Thermistors*, Electrochemical Publications Limited, Scotland, pp. 236
- Muralidharan, M.N., Rohini, P.R., Sunny, E.K., Dayas, K.R., Seema, A., 2012, "Effect of Cu and Fe Addition on Electrical Properties of Ni-Mn-Co-O NTC Thermistor Compositions", *Ceramics International*, Vol 38 (8), pp. 6481-6486.

- Ngamjarurojana, A., 2009, "Effect of Addition of CuO and Bi₂O₃ on Low Temperature Sintering of Pb(Zr,Ti)O₃-PbZn_{1/3}Nb_{2/3}O₃-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ Based Ceramics", *Chiang Mai Journal Of Science*, Vol 36. (1), pp. 50-58.
- Park, K., 2005, "Fabrication and Electrical Properties of Mn-Ni-Co-Cu-Si Oxides Negative Temperature Coefficient Thermistors", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 88 (4), pp. 862-866.
- Park, K., Lee, J.K., 2007, "Mn-Ni-Co-Cu-Zn-O NTC Thermistors with High Thermal Stability for Low Resistance Applications", *Scripta Materialia*, Vol. 57, pp. 329-332.
- Park, K. Lee, J.K., 2009, "The Effect of ZnO Content and Sintering Temperature on The Electrical Properties of Cu-containing Mn_{1.95-x}Ni_{0.45}Co_{0.15}Cu_{0.45}Zn_xO₄ (0 ≤ x ≤ 0.3) NTC Thermistors", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 475, pp. 513-517.
- Suzuki, M., 1980, "A.C. Hopping Conduction in Mn-Co-Ni-Cu Complex Oxide Semiconductors with Spinel Structure", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 41 (11), pp. 1253-1260.
- Takao, H., Saito, Y., Aoki, Y., Horibuchi, K., 2006, "Microstructural Evolution of Crystalline-Oriented (K_{0.5}Na_{0.5})NbO₃ Piezoelectric Ceramics with a Sintering Aid of CuO", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 89 (6), pp. 1951-1956.
- Tsai, C.C., Chu, S.Y., Lu, C.H., 2009, "Doping Effects of CuO Additives on The Properties of Low-Temperature- Sintered PMnN-PZT-based Piezoelectric Ceramics and Their Applications on Surface Acoustic Wave Devices", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 56 (3), pp. 660-668.
- Wang, L., Mao, C., Wang, G., Du, G., Liang, R., Dong, X., 2013, "Effect of CuO Addition on The Microstructure and Electric Properties of Low-Temperature Sintered 0.25PMN-0.40PT-0.35PZ Ceramics", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 96, pp. 24-27.
- Xiong, K., Zhao, S., Li, D., Bao, H., Nan, C., 2014, "Structure and Electrical Performance of Mn_{1.5-0.5x}Co_{0.9-0.3x}Ni_{0.6-0.2x}Cu_xO₄ NTC Ceramics Prepared by Heterogeneous Precipitation", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 606, pp. 273-277.
- Zhao, C., Wang, B., Yang, P., Winnubst, L., Chen C., 2008, "Effects of Cu and Zn Co-doping on The Electrical Properties of Ni_{0.5}Mn_{2.5}O₄ NTC Ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 28, pp. 35-40.