

# Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal  
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 10  
Issue: 3

DECEMBER 2018

Kırıkkale Üniversitesi  
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 10 Sayı: 3 Aralık 2018



MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
International Journal of Engineering Research and Development**

**Sahibi / Owner**

Ersan ASLAN  
Rektör / Rector

**Editör/Editor**

Osman YILDIZ  
Dekan / Dean

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Ertuğrul ÇAM  
Murat LÜY

**Alan Editörleri / Area Editors**

Burak BİRGÖREN - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering  
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering  
Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering  
İlker KALKAN - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering  
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

**Dergi Sekreteryası / Journal Secretariat**

Hüseyin AYDİLEK

**Yazışma Adresi /Address**

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-  
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE  
<http://ijerad.kku.edu.tr>  
[ijerad@kku.edu.tr](mailto:ijerad@kku.edu.tr)  
**Tel :** +90-318-357-42 42 (1001)  
**Fax:** +90-318-357-24 59

**ISSN - Online:** 1308-5514

**Aralık 2018 / December 2018  
Özel Sayı / Special Issue**

**Kapak Tasarım / Graphics Design :** Hüseyin AYDİLEK

**Danışma Kurulu / Editorial Board**  
(Alfabetik Sıralama / Alphabetical)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi  
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi  
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi  
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi  
Burak BİRGÖREN Kırıkkale Üniversitesi  
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi  
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi  
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi  
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi  
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi  
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi  
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi  
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi  
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi  
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi  
Mustafa YIĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi  
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi  
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi  
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi  
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University  
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi  
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi  
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi  
Ümit Sami SAKALLI Kırıkkale Üniversitesi



**MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ**

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
International Journal of Engineering Research and Development**

#### **Amaç**

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

#### **Aim**

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

#### **Araştırma Alanı**

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

#### **Research Highlights**

Engineering Theory and Applications

#### **Kapsam**

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Bilgisayar Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

#### **Scope**

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

#### **Yazarlara Bilgi**

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

#### **Authors Information**

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

**2. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi**  
**2<sup>nd</sup> International Scientific and Vocational Studies Congress**  
**5 - 8 Temmuz 2018 / 5-8 July 2018**

<b>1</b>	<b>Diagnosis of Chronic Kidney Disease using Random Subspace Method with Particle Swarm Optimization</b> <i>Kemal ADEM</i> DOI: 10.29137/umagd.472881	<b>1 - 5</b>
<b>2</b>	<b>Kırıkkale İli Hafif Raylı Sistem Etüdünün Gerçekleştirilmesi</b> <i>Yağmur ARIKAN, Özge Pınar AKKAŞ, Ertuğrul ÇAM</i> DOI: 10.29137/umagd.476722	<b>6 - 11</b>
<b>3</b>	<b>Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi</b> <i>Özge Pınar AKKAŞ, Yağmur ARIKAN, Ertuğrul ÇAM</i> DOI: 10.29137/umagd.477839	<b>12 - 19</b>
<b>4</b>	<b>Nicemleme Parametresi, Kontrast, Yapısal Özellik ve Uzamsal Çözünürlüğe Dayalı 3 Boyutlu Video Kalite Değerlendirmesi</b> <i>Şahin COŞKUN, Gökçe NUR YILMAZ</i> DOI: 10.29137/umagd.485236	<b>20 - 30</b>
<b>5</b>	<b>Yeni Bir Sezgisel Yöntem ile Tek Blok Tek Koridor Depo Yerleştirme Probleminin Çözümü</b> <i>Ercan ŞENYİĞİT, Ayşegül BOZDOĞAN</i> DOI: 10.29137/umagd.474525	<b>31 - 39</b>
<b>6</b>	<b>Yatay Sıcak Su Tanklarında Tank İçerisine Eğik Konumlandırılmış Engel Yerleştirmenin Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi</b> <i>Doğan ERDEMİR, Buket TURGUT, Necdet ALTUNTOP</i> DOI: 10.29137/umagd.480410	<b>40 - 51</b>
<b>7</b>	<b>Çok Girişli Çok Çıkışlı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı Sistemlerde Kanal Kodlaması Performans Analizi</b> <i>Ramazan GÜNGÜNEŞ, Eyüp TUNA, Murat LÜY</i> DOI: 10.29137/umagd.481948	<b>52 - 65</b>
<b>8</b>	<b>Dağıtık Dosya Sistemi Kullanarak Sağlık Alanına Özel Dosya Sistemi Geliştirilmesi</b> <i>Mahmut ÜNVER, Erdal ERDAL, Atilla ERGÜZEN</i> DOI: 10.29137/umagd.484995	<b>66 - 71</b>
<b>9</b>	<b>Yardımcı Sistem Olarak BCI ve EEG Sinyallerinin BCI Sistemlerde Kullanım Şekilleri</b> <i>Kadir HALTAŞ, Atilla ERGÜZEN, Erdal ERDAL</i> DOI: 10.29137/umagd.487930	<b>72 - 79</b>
<b>10</b>	<b>Otomatik Araçlar İçin Radyofar Temelli Yön Bulma</b> <i>Mert SUBAŞIAY, Tuğba Selcen NAVRUZ</i> DOI: 10.29137/umagd.481211	<b>80 - 91</b>
<b>11</b>	<b>Relationship Between Undrained Shear Strength with Atterberg Limits of Kaolinite/Bentonite – Quartz Mixtures</b> <i>Eyyüb KARAKAN, Süleyman DEMİR</i> DOI: 10.29137/umagd.480150	<b>92 - 102</b>



## Diagnosis of Chronic Kidney Disease using Random Subspace Method with Particle Swarm Optimization

### Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Rastgele Alt Uzay Yöntemi Kullanılarak Kronik Böbrek Hastalığı Teşhisi

Kemal ADEM \*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Informatics, 60150, Tokat*

Başvuru/Received: 21/10/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Abstract

Late diagnosis of chronic kidney disease, a disease that has increased in recent years and threatens human life, may lead to dialysis or kidney failure. In this study, kNN, SVM, RBF and Random subspace data mining methods were applied on the data set consisting of 400 samples and 24 attributes taken from UCI for classification of chronic kidney disease with particle swarm optimization (PSO) based feature selection method. As a result of the study, the results of the application of each data mining method are compared with the resultant training and test results. As a result of the comparison, the best performance was found to be 99.75% accuracy with PSO and random subspace method. Moreover, as a method of data mining, it has been seen that the random subspace method has higher accuracy rates than the other methods.

#### Key Words

“Chronic kidney disease, Particle Swarm Optimization, Random subspace”

#### Öz

Son yıllarda artmış ve insan yaşamını tehdit eden bir hastalık olan kronik böbrek hastalığının geç teşhisi diyaliz veya böbrek yetmezliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada kNN, SVM, RBF ve Rastgele alt uzay veri madenciliği yöntemleri, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) temelli özellik seçim yöntemiyle kronik böbrek hastalığının sınıflandırılması için UCI'den alınan 400 örnek ve 24 öznitelikten oluşan veri setine uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, her veri madenciliği yönteminin uygulamasının sonuçları, elde edilen eğitim ve test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, en iyi performans PSO ve rastgele alt uzay yöntemi kullanılarak %99,75 doğruluk oranıyla bulunmuştur. Ayrıca, veri madenciliği yöntemi olarak, rastgele alt uzay yönteminin diğer yöntemlerden daha yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı görülmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Kronik Böbrek Hastalığı, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Rastgele Alt Uzay”

## 1. INTRODUCTION

Chronic kidney disease (CKD) refers to kidney failure, which typically affects leg swelling, vomiting, fatigue (Liao et al., 2012; Moyer, 2012). Blood and urine tests are performed to demonstrate that the kidney works functionally. For this reason, it is important to establish the screening mechanism to identify CKD symptoms so that important precautions can be taken to avoid any complications (Plantinga et al., 2010).

With the development of information technology, the amount of data that has emerged shows a rapid increase. It is estimated that data stored in the digital environment in the world have doubled every 20 months (Witten & Frank, 2005). It is difficult to process these data with increasing amount of data. Various data mining algorithms have been developed to solve this problem. In the literature, there are algorithms used in data mining and different studies to compare these algorithms. The health sector is also one of these areas. Data mining methods are used for diagnosis and treatment in this sector for obtaining more accurate results and preventing human errors (Karakoyun & Hacibeyoğlu, 2014). It helps the treatment process by identifying the current disease and anticipating future disease. In this study, accurate classification ratios and time performances will be compared by applying data mining methods for diagnosis and diagnosis of chronic kidney disease.

In the literature, studies using data mining methods related to chronic kidney disease have been screened. As a result of the scan, it was seen that Artificial Neural Network (ANN), Radial Basis Function (RBF), Naive Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), Decision Trees (C4.5, Random Tree, Random Forest) and kNN were used as data mining methods. In studies using the data set with 400 records and 24 features of 'UC Irvine Machine Learning Repository' (UCI) on Chronic Kidney Disease, the use of the ANN method resulted in a 72% (Sunil & Sowmya, 2017), the use of RBF, ANN and LR algorithms with a 10-fold cross-validation method resulted in the best performance using the 99.66% (Rubini et al., 2015), The use of SVM, NB, RBF, ANN and RF data mining methods results in best results with RF 95% (Kumar, 2016), SVM method was used together with ClassifierSubsetEval, WrapperSubsetEval, CfsSubsetEval, and FilterSubsetEval feature selection algorithms results in best results with FilterSubsetEval and SVM 98.5% (Polat et al., 2017), RepTree, BFTree and J48Tree methods were applied with Adaboost algorithm and in best results BFTree model with Adaboost 99.25% (Başar et al., 2016), SVM with radial basis kernel function 93.75% (Ravindra et al., 2018), Relief and KNN methods were used together to achieve 99% success rates (Kayaalp et al., 2018). Table 1 summarizes the classification results of chronic kidney disease by data mining methods.

**Table 1.** Classification results of chronic kidney disease with data mining methods.

Authors	Year	Number of data	Method	Accuracy (%)
Rubini et al.	2015		ANN	99.66
Kumar et al.	2016		Random Forest	95
Başar et al.	2016		Adaboost-BFTree	99.25
Polat et al.	2017	400	FilterSubsetEval-SVM	98.5
Sunil et al.	2017		Naive Bayes	72
Ravindra et al.	2018		SVM with radial basis kernel	93.75
Kayaalp et al.	2018		Relief, kNN	99

The most important contribution of this study to the literature is to select the most significant features with PSO for the first time in the data set and to use a Random Subspace method to achieve a very high success rate. Data set identification, attribute selection and classification algorithm used in the study are examined in the second section. In the third section, the parameters used in the methods and experimental studies are given. In the last section of the study, the results are evaluated.

## 2. MATERIAL AND METHOD

The data set to be used as an example for diagnosing and predicting chronic kidney disease with data mining techniques is derived from the 'UC Irvine Machine Learning Repository' database with 400 samples and 24 (11 numeric, 13 nominal) features (Dua & Karra, 2017). In the dataset, there are 400 samples, 250 of which belong to diseased persons and the other 150 data consist of data belonging to healthy persons.

### 2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO is a calculation based on intelligence techniques inspired a lot of social behavior (Kennedy & Eberhart, 1995). This method simulates the behavior of flying birds and the exchange of information they have to solve their problems (Kennedy & Eberhart, 2001). The PSO method is used for optimization in many areas (Adem et al., 2018; Delice et al., 2017; Collotta et al., 2017). The steps for selecting an attribute with PSO are as follows:

- Step 1. Generate the starting range by starting positions and velocities of the randomly generated particles according to the parameters entered at the beginning.
- Step 2. Calculate the fitness values of all the particles in the swarm.
- Step 3. Find the local best estimate (*pbest*) for each particle in the current iteration. Find the global best (*gbest*) in local bests in current iteration.
- Step 4. Change the *pbest* if the fitness value of the relevant particle is greater than *pbest*.
- Step 5. If the fitness value of the relevant part is also bigger than *gbest*, change *gbest* and update the part related to the fitness value.
- Step 6. Is the number of iterations finished?
- Step 7. If the number of iterations has not finished go to Step 2.
- Step 8. If the number of iterations is finished, the solution is to select the best attributes with the highest fitness value according to the classification results in the final positions of the particles.

According to the working steps in the algorithm, each particle represents a binary representation of *N*, the total number of features in the data set. Each bit in this display represents an attribute, and ‘1’ indicates that the attribute is selected, and ‘0’ indicates that the attribute is not selected. Each particle updates its position according to its fitness values, first by local, then by global best. In this way, selection of the attributes that achieve the global best is performed.

### 2.2. Random Subspace Method

The Random Subspace method is a kind of community classification algorithm consisting of various classifiers at the subspace of the attributes in the dataset (Ho, 1998). The classification results are based on the outputs of the individual classifiers selected by the majority vote. This method can be used with many classifiers such as linear classifier, kNN, support vector machine, decision trees (Marina, 2002; Tremblay, 2004; Dacheng et al., 2006). This method is quite advantageous because smaller parts can be better trained because it uses subspaces of the actual data size. This algorithm is very successful in data sets with a large number of attributes, especially because it works with subspaces of the data set. This method is of interest to researchers because it reduces over-learning, introduces a general model, shorter training time, and an easy-to-understand and simple structure than other classical models (Ho, 1998; Kayal & Kannan, 2017). In this study, Random Forest method was used because of its high accuracy rate as a basic classifier in random subspace method.

### 3. EXPERIMENTAL STUDIES

The selection of attributes used in experimental studies and the evaluation of data mining methods were performed with MATLAB R2017b and WEKA software. The hardware was a computer with 16 GB DDR3 memory with an Intel Core i7 6700 HQ processor. Parameters used in the data mining methods used in the study were determined as experimental results and *k* = 3 and Euclidean distance criterion in kNN method, kernel function in SVM method, Gauss function as activation function in RBF neural network and random forest tree method in random subspace method. The most significant 17 attributes of the data set were identified by the PSO method applied with 500 particles and 1000 iteration results. 17 attributes selected using PSO method; blood pressure, blood pressure, creatinine, sodium, potassium, hemoglobin, erythrocyte bulk, white blood cell count, hypertension, diabetes, appetite, foot ailment and anemia are specific gravity, albumin, red blood cells, blood sugar. The dimension of the new attribute data set obtained as a result of the attribute selection was (400 x 17). A 5-fold cross validation method was applied to the data set used in the study during the training and test phases. 70% of the data set was used in training and the rest 30% were used as testing. Models created with data mining methods use the accuracy and Kappa values as evaluation criteria. The equation used to calculate the accuracy is given in Equation 1.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{1}$$

In Equation 1, TP is true positive, TN is true negative, FP is false positive and FN is false negative (Metz, 1978). The equations used in the Kappa analysis, another evaluation criterion used in the study, are given in Equations 2 and 3.

$$P_G = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n} \quad P_B = \frac{\sum_{i=1}^n R_i C_i}{n^2} \tag{2}$$

$$Kappa = \frac{P_G - P_B}{1 - P_B} \tag{3}$$

The observed and expected probabilities of *P<sub>G</sub>* and *P<sub>B</sub>* given in Equations 2 and 3 respectively, *G<sub>i</sub>*: the observed frequency *i*. in row and column, *R<sub>i</sub>*: total frequency *i*. in line, *C<sub>i</sub>*: total frequency *i*. in column and *n*: total number of observations (Gujarati, 1999; Rey et al., 2012). The accuracy and Kappa analysis values obtained by using kNN, SVM and RBF data mining models are given in Table 2.

**Table 2.** Accuracy and kappa analysis values of the experiments performed.

Feature Selection	Classification Method	Number of Feature	Accuracy (%)	Kappa Value
None	kNN	24	95.75	0.914
	SVM		97.75	0.9526
	RBF		98.5	0.9683
	Random Subspace		99.5	0.9837
PSO	kNN	17	95.75	0.914
	SVM		98.25	0.963
	RBF		98.75	0.9735
	Random Subspace		<b>99.75</b>	<b>0.9947</b>

In this study, we compared the results of using kNN, SVM and RBF data mining methods together with the PSO feature selection algorithm on the dataset related to chronic kidney disease from UCI. The results in Table 2, it is observed to increase the classification accuracy of the feature selection process with PSO. The best performance is seen that a result of comparison with 99.75% accuracy and 0.9947 Kappa value of the random subspace method with PSO.

#### 4. CONCLUSION

Chronic kidney disease has been increasing and a disease that threatens human life in recent years. In the literature, lots of data mining studies related to the diagnosis and classification of the disease were observed. In this study, for the classification of chronic kidney disease, kNN, SVM, RBF and Random subspace data mining methods were applied with PSO feature selection method on UCI data set. PSO attribute selection method has been shown to positively influence the classification success. As a data mining method, random subspace method has been found to have higher accuracy rates than other methods. In future studies, it is considered to increase the success rate by using different feature selection algorithms and different data mining methods.

#### REFERENCES

- Adem, K., Hekim, M., & Demir, S. (2019). Detection of hemorrhage in retinal images using linear classifiers and iterative thresholding approaches based on firefly and particle swarm optimization algorithms. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. Doi: 10.3906/elk-1804-147.
- Başar, M. D., Sarı, P., Kılıç, N., & Akan, A. (2016). Detection of chronic kidney disease by using Adaboost ensemble learning approach, In *IEEE Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016 24th . 773-776.
- Collotta, M., Pau, G., & Maniscalco, V. (2017). A fuzzy logic approach by using particle swarm optimization for effective energy management in IWSNs. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(12), 9496-9506.
- Dacheng, T, Xiaou, T, Xuelong, L, & Xindong W. (2006). Asymmetric bagging and random subspace for support vector machinesbased relevance feedback in image retrieval. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 28(7), 1088-99.
- Delice, Y., Aydoğan, E. K., Özcan, U., & İlkay, M. S. (2017). A modified particle swarm optimization algorithm to mixed-model two-sided assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(1), 23-36.
- Dua, D., & Karra Taniskidou, E. (2017). *UCI Machine Learning Repository* [<http://archive.ics.uci.edu/ml>]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science*, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on (pp. 39-43). IEEE.
- Gujarati, N. D. (1999). *Temel Ekonometri*. Çev. Ümit Şenesen ve Gülay G. Şenesen. 4. Baskı, 401-674, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Ho T.K. (1998). The Random Subspace Method for Constructing Decision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Lucent Tech no 1., AT&T Bell Labs., Murray Hill, 20(8): 832 – 844.
- Karakoyun, M., & Hacibeyoğlu M. (2014). Biyomedikal veri kümeleri kullanarak makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması. 2014 October 9-10 [Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları (ASYU) Sempozyumu. İzmir/Turkey].

- Kayaalp, F., Basarslan, M. S., & Polat, K. (2018). A hybrid classification example in describing chronic kidney disease. In 2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT) (pp. 1-4). IEEE.
- Kayal, P., & Kannan, S. (2017). An Ensemble Classifier Adopting Random Subspace Method based on Fuzzy Partial Mining. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(12), 1-8.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (1999). The particle swarm: social adaptation in information-processing systems. In *New ideas in optimization* (pp. 379-388). McGraw-Hill Ltd., UK.
- Kumar, M. (2016). Prediction of Chronic Kidney Disease Using Random Forest Machine Learning Algorithm. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 5(2), 24-33.
- Liao, M., Sung, C., Hung, K., Wu, C., Lo, L., & Lu, K. (2012). Insulin Resistance in Patients with Chronic Kidney Disease. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*.
- Marina, S. (2002). Bagging, boosting and the random subspace method for linear classifiers. *Pattern Analysis and Applications*. 5(2), 121–135.
- Metz, C. E. (1978). Basic principles of ROC analysis. In *Seminars in nuclear medicine* (Vol. 8, No. 4, pp. 283-298). WB Saunders.
- Moyer, V. A. (2012). Screening for chronic kidney disease: Us preventive services task force recommendation statement. *Annals of internal medicine*, vol. 157, no. 8, pp. 567–570.
- Plantinga, L. C., Tuot, D. S., & Powe, N. R. (2010). Awareness of chronic kidney disease among patients and providers. *Advances in chronic kidney disease*, vol. 17, no. 3, pp. 225–236.
- Polat, H., Mehr, H. D., & Cetin, A. (2017). Diagnosis of Chronic Kidney Disease Based on Support Vector Machine by Feature Selection Methods, *Journal of medical systems*, 41(4), 55.
- Ravindra, B. V., Sriraam, N., & Geetha, M. (2018). Classification of non-chronic and chronic kidney disease using SVM neural networks. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(1.3), 191-194.
- Rey, T, Kordon, A, & Wells, C. (2012). *Applied Data Mining for Forecasting Using SAS*. SAS Institute Inc, USA, 2012.
- Rubini, L. J., & Eswaran, P. (2015). Generating comparative analysis of early stage prediction of Chronic Kidney Disease. *Journal Of Modern Engineering Research*, 5(7), 49-55.
- Sunil, D., & Sowmya, B. P. (2017). *Chronic Kidney Disease Analysis using Data Mining*.
- Tremblay, G. (2004). Optimizing nearest neighbour in random subspaces using a multi-objective genetic algorithm. 17th *International Conference on Pattern Recognition*. p. 208–11. Crossref
- Witten, I. H., & Frank, E. (2005). *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 2nd ed., San Francisco/ABD.



## Kırıkkale İli Hafif Raylı Sistem Etüdünün Gerçekleştirilmesi

### Realization of Light Rail System Preliminary Survey for Kırıkkale Province

Yağmur ARIKAN\*<sup>1</sup>, Özge Pınar AKKAŞ<sup>1</sup>, Ertuğrul ÇAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale

Başvuru/Received: 31/10/2018

Kabul/Accepted: 7/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Günümüzde hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme oranı, emisyon sorunu ulaşım sektöründeki sorunları artırmıştır. Özellikle bu sorunların çok yaşandığı yerlerde, ulaşımda raylı sistemler tercih edilmektedir. Kırıkkale ili Orta Anadolu, Orta ve Doğu Karadeniz ile Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin kavşak noktası konumunda olması ile önemli bir coğrafi konumda bulunmaktadır. Şehrin konumu, öğrenci sayısının çok olması, özellikle Kırıkkale-Ankara işlek yoluna sahip olması şehirdeki trafik sorunlarını artırmıştır. Son olarak ise uzun zamanadır yapımı devam eden ve kısa sürede bitmesi beklenen Ankara-Sivas yüksek hızlı trenin ildeki istasyon durağının Kırıkkale-Osmangazi mahallesi olduğu kesinleşmiştir. Bu çalışmada hem şehir içi trafiği rahatlatmak hem Osmangazi-Üniversite ring hattını oluşturmak, çevresel sorunların arttığı günümüzde çevreye katkıda bulunmak amacıyla şehir içi taşımacılığına hafif raylı sistemlerin eklenmesi durumu incelenmiştir. Bölgenin jeolojik ve elektrifikasyon sistemine ait raylı sistem güzergâhı oluşturulmuş, istasyon durakları belirlenmiş ve sistem maliyeti ve geri ödeme süresini hesaplayan ekonomik analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda bu yapının uygulanabilirliği olumlu olarak görülmüştür.

#### Anahtar Kelimeler

“Hafif raylı sistemler, Ulaşım, Elektrifikasyon, Ekonomik Analiz”

#### Abstract

Today, rapid population growth, rapid urbanization rate, emission problem have increased the problems in transport sector. Railway systems are frequently preferred in public transportation especially in the metropolitan cities where these problems are common. Kırıkkale province is located an important geographical location between Central Anatolia, Central and Eastern Black Sea and East and South Anatolian regions, that is junction point. Besides the number of students in the city is very high and it has a very busy highway like Kırıkkale-Ankara. So, the traffic problems have increased in the city. Finally, it has known that Kırıkkale-Osmangazi district is the station stop on the Ankara-Sivas high-speed train, which has been under construction for a long time and is expected to be completed soon. In this paper, the addition of light rail systems to urban transport has been investigated in order to relieve the urban traffic, to create the Osmangazi-University ring line, and to contribute to the environment today when environmental problems are increasing. According to the province's geological and electrification system, a route of light rail system has plotted, stations have determined, and economic analysis has been performed to calculate system cost and repayment period. As a result of the analyzes, the applicability of this structure has been seen as positive.

#### Key Words

“Light rail systems, Transportation, Electrification, Economic analysis”

## 1. GİRİŞ

Günümüzün ve geleceğin en önemli toplu taşıma araçlarından biri olan raylı sistemler, ulaşımda yaşanan sıkıntılara ve temiz bir çevre için çözüm yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. Tüm Dünya’da ciddi bir pazara sahip olan raylı sistemler için ülkemizde de 2003 yılıyla beraber ciddi atılımlar yapılmış ve 2023 yılına kadar gerçekleştirilmesi planlanan hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler arasında 10.000 km YHT, 4000 km konvansiyonel olmak üzere 25.940 km demiryolu ağına ulaşılması, demiryolu ağında yerli katkının artırılması ve buna bağlı olarak 7000 adet tramvay, metro ve LRT araçlarının temin edileceği belirtilmektedir (Pektaş, 2017).

Bu konuda yapılan çalışmalara literatürden örnek verilecek olursa, Nedevska ve arkadaşları çalışmalarında Makedonya ve Yunanistan arasında bağlantı sağlayacak Bitola-Mesheishta arasında eğim, hat uzunlukları, kurp yarıçapı, tünel uzunlukları düşünülerek 2 farklı alternatif yol için fizibilite çalışması gerçekleştirmişlerdir ( Nedevska, Krakutovski , Moslovac, Zafirovski, & Nedevska, 2015). Kumar ve arkadaşları, Hindistan’da Bhuntar ile Kullu arasındaki raylı sistem güzergâhı belirlemesini besleme noktalarına uzaklık, mesafe uzunluğu, toprak cinsi, drenaj sistemi gibi çeşitli faktörler açısından incelemiştir. (Kumar, Panchal, Ashish, & Singh, 2017). Tsimplokoukou ve arkadaşları Atina metrosundaki dördüncü yeni hat güzergâhının belirlenmesinde ekonomik şartları, sosyal şartları ve çevresel şartları göz önünde bulundurmışlardır (Tsimplokoukou, Sfakianaki, & Metexas, 2012). Erdoğan yaptığı tez çalışmasında Kocaeli ilinde hafif raylı sistemin tasarımı için coğrafik özellikleri, yolcu özelliklerini ve mali açıdan şartları incelemiştir (Erdoğan, 2011).

Kırıkkale ili Orta Anadolu, Orta ve Doğu Karadeniz ile Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin kavşak noktasında olması ile önemli bir coğrafi konumda bulunmaktadır. Bölgede Makine ve Kimya Endüstrisi, Tüpraş Rafinerisi gibi önemli sanayi tesislerinin olması (Kırıkkale Valiliği, 2018), Kırıkkale Üniversitesi’nde öğrenci sayısının çok olması (2018 yılında yaklaşık 36000) (Kırıkkale Üniversitesi, 2018) bölgenin yüzölçümüne göre araç sayısının çok olması gibi nedenlerden dolayı bölgedeki trafik yoğunluğu artmıştır. Ayrıca Kırıkkale-Ankara gibi çok işlek olan bir karayoluna sahiptir.

Bunlara ek olarak, uzun zamanadır yapımı devam eden ve kısa sürede bitmesi beklenen Ankara-Sivas yüksek hızlı trenin ildeki istasyon durağının Kırıkkale-Osmangazi mahallesi olduğu kesinleşmiştir. Şekil-1’de yüksek hızlı trenin güzergâh haritası verilmiştir (TCDD, 2018). Özellikle Ankara’dan üniversiteye gelen öğrenciler için üniversitede bir istasyonun olmaması bir problem oluşturacaktır.



Şekil 1. Ankara-Sivas yüksek hızlı tren güzergâhı

Raylı sistemlerin gelişmesi ve Kırıkkale iline ait trafik sorunları düşünüldüğünde, bölgeye raylı sistem hizmetinin sunulması bölge trafiğine ciddi ölçüde yardımcı olacaktır. Bu çalışmada, bölgede kurulabilecek olan raylı sistem için, bölgenin jeolojik ve elektrifikasyon sistemine göre güzergâh planlaması yapılmış, istasyon durakları belirlenmiştir. Güzergâh ve istasyonların belirlenmesinde Kırıkkale Üniversitesi 2018/016 numaralı projede bölgeyle alakalı jeolojik ve jeoteknik açıdan hizmet alımı yapılmıştır. İstasyonlar sadece bu raporda sunulan jeolojik ve jeoteknik etüde bağlı kalınarak belirlenmemiştir. Burada ayrıca raylı sistemin geçeceği yolun eğimi, virajı, elektrifikasyon sistemi ve nüfus yoğunluğu göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçta bu kriterlere bağlı olarak toplamda 13 istasyonun olmasına karar verilmiştir. Daha sonra sistemin maliyeti ve geri ödeme süresini hesaplayan ekonomik analiz yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bölgeye yapılabilecek olan bu yatırımın hem çevre için hem de işletmeci için olumlu katkılar sağlayacağı tespit edilmiştir.

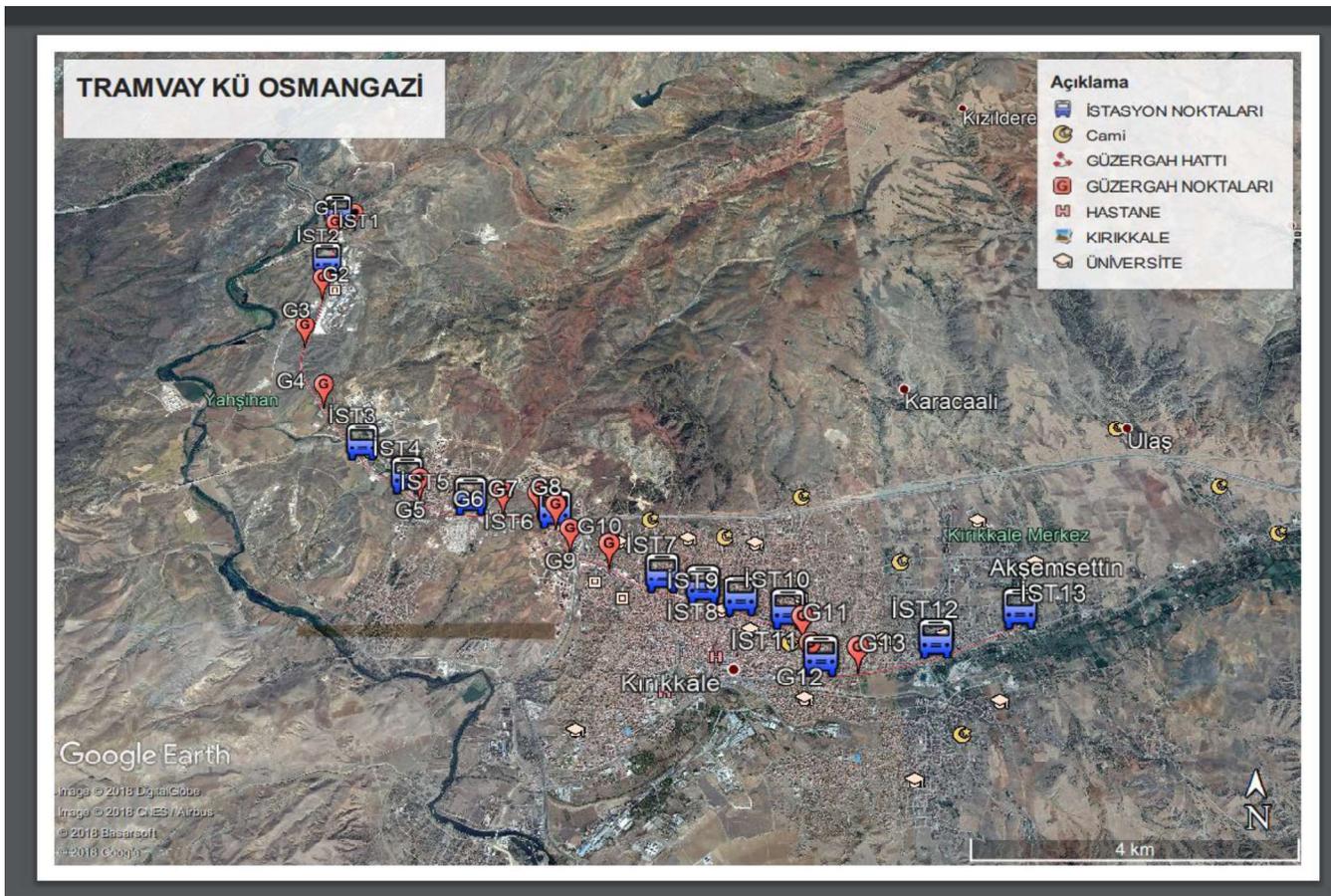
## 2. METOT

Bu kısımda, Kırıkkale iline raylı sistem kurulması takdirde bu sistemin güzergâhı nüfus yoğunluğu, jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeye göre belirlenmiş, güzergâh için elektrifikasyon sistemi incelenmiş, daha sonra yapılacak yatırımın ekonomik açıdan uygunluğu araştırılmıştır.

### 2.1. Raylı Sistem Güzergâhının Belirlenmesi

Raylı sistem fizibilite çalışmalarında en önemli adımlardan biri güzergâhın belirlenmesidir. Literatürde güzergâh belirlenmesindeki en önemli kriterler şu şekilde belirlenmiştir; bölgenin nüfus yoğunluğu, güzergâh alternatiflerinin mesafeleri, jeolojik ve jeoteknik açılarından incelenmesi, topografik etütü, deprem olasılıkları, güzergâhın güç sistemine uzaklığı ve elektrifikasyon sistemin belirlenmesi, yatırımın maliyeti, geri ödeme süresi gibi yatırımın mali ve finansal analizi olarak görülmüştür (UBAK, 2011). Bu çalışmada da bu kriterler Kırıkkale ili açısından incelenmiştir.

Kırıkkale ilinin 2017 yılındaki nüfusu 278.749 olup, bölgedeki nüfus artışı 0.29'dur. Nüfus yoğunluğu ise 61/m<sup>2</sup> 'dir (Kırıkkale Valiliği, 2018). Bu durum düşünüldüğünde, bölge trafiğinde raylı sistem çeşitlerinden tramvayın tercih edilmesi maliyet açısından daha uygun olacaktır. Raylı sistem güzergâhının belirlenmesinde trafik yoğunluğu, yüksek hızlı trenin istasyon durağı, nüfus yoğunluğu ve yol eğimi düşünülerek raylı sistem güzergâhı şekil 2'deki gibi belirlenmiştir.



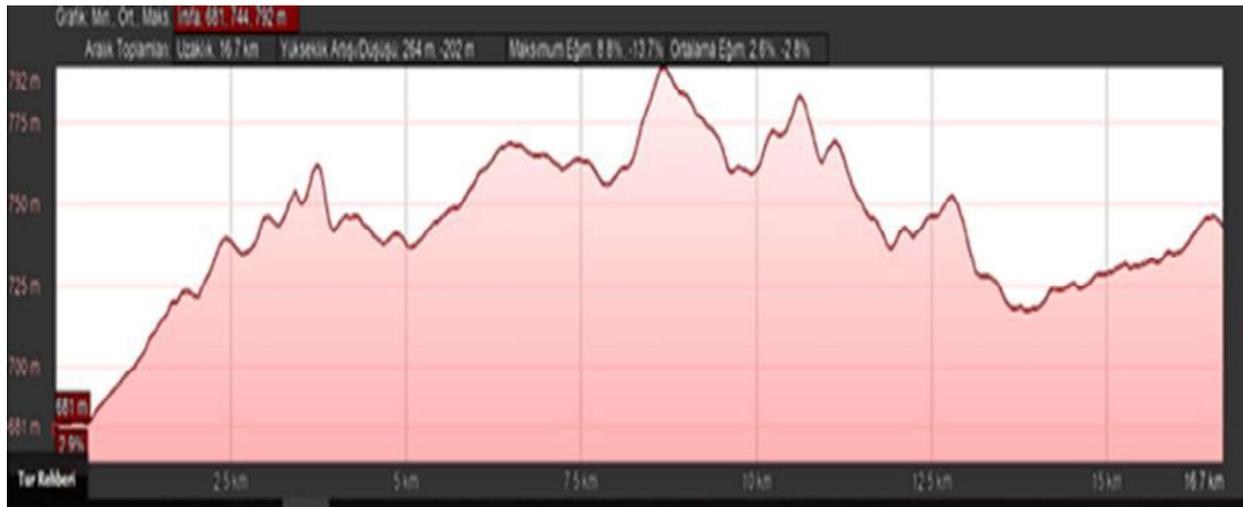
Şekil 2. tramvay KÜ-Osmangazi güzergâh hattı

Güzergâh hattı Kırıkkale-Irmak Bölgesinden başlamakta ve yüksek hızlı tren durağı olan Kırıkkale-Osmangazi Mahallesi'nde sonlanmaktadır. Hattın uzunluğu 16.7 km'dir. Bu güzergâha göre istasyon duraklarının yerleşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Tramvay KÜ-Osmangazi istasyon durakları

İstasyon Durak Sayısı	Yer
İST-1	Hacıbalı Köyü-Irmak
İST-2	Organize Sanayi Bölgesi
İST-3	Kırıkkale Üniversitesi
İST-4	Yenişehir Mahallesi
İST-5	Yeni Sanayi Bölgesi
İST-6	Yüksek İhtisas Hastanesi
İST-7	Kırıkkale Otogar
İST-8	Bölge Trafik
İST-9	Çalıöz Mahallesi
İST-10	Makro
İST-11	Eski Sanayi Bölgesi
İST-12	Etiler Kavşağı
İST-13	Osmangazi Mahallesi

Güzergah belirlenmesinde en önemli kriterlerinden biri de güzergahın ivmesidir. Tramvay ana hat tasarım kriterlerine göre, güzergahın uygun olması açısından güzergahın yanal ivmesi maksimum 0.65, maksimum ivmesi %7 ve geçiş eğrileri minimum 25 metre olmalıdır (UBAK, 2011) Buna göre belirlenen güzergâh tramvay ana hat tasarım kriterlerine uymakta olup, güzergâhın ortalama eğimi % 2.6 ile % 2.8 arasında değişmektedir. Güzergâhın eğimi şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3.** hatta bağlı güzergâhın eğimi

## 2.2. Güzergâhın Jeolojik ve Jeoteknik Açından Araştırılması

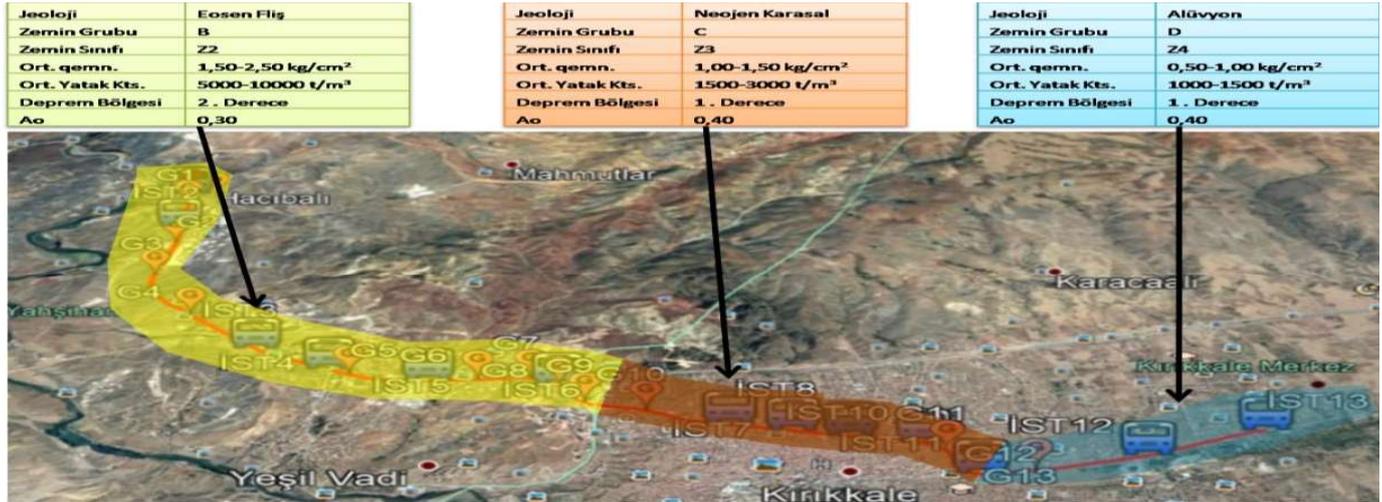
Kırıkkale ili için belirlenen güzergâhın zeminine ait jeolojik ve jeoteknik açıdan araştırılması yapılmıştır. İncelenen alanın genelleştirilmiş jeolojik haritası Tablo 2'deki gibidir.

**Tablo 2.** Güzergâhın jeolojik haritası

Konum	Birim
İST 1-9	Eosen Fliş / Kumtaşı, Kıltaşı
İST 10-12	Neojen Karasal birimler / Kumlu Kil, Killi Kum
İST 12-13	Alüvyon / Suya Doygun Çakıllı kumlu killi birimler

Bölgenin jeoteknik etüdü için gerekli çalışmalar Kırıkkale Üniversitesi 2018/016 projede hizmet alımı ile yaptırılmıştır. Bu değerlendirme sonucu şekil 4'te gösterilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, tramvay yapısının yer altı ve yer üstü suların etkilenmemesi için gerekli görülecek yerlerde drenaj yapılmalıdır. Sahanın istinat yapıları ile desteklenmesi gerek ve şarttır.

Bölgenin 1. ve 2. Deprem bölgelerinde olmasından dolayı ‘Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik Hükümleri’ ne uyulması gerekmektedir (Resmi Gazete, 14.07.2007).



Şekil 4. güzergâhın jeoteknik değerlendirmesi

### 2.3. Raylı Sistemin Elektrifikasyonu

Günümüzde raylı sistemler için ulusal elektrik şebekesi kullanılır. Yeraltındaki metro sistemleri genellikle ulusal şebekede bir sorun çıktığında enerji alabilecekleri başka kaynaklara bazen kendi enerji santrallerine sahiptirler (Bonnett, 2005). Bu sistemde de yer altı bir sistem olmadığından tramvayın elektrik ihtiyacını ulusal şebekeden sağlanması düşünülmüştür. Sistem 2 ayrı kaynaktan beslenmeli ve bu kaynakların gücü toplam sistem yükünü karşılayabilecek kapasite olması gerekmektedir.

Raylı sistemlerde genelde 25 kV AC sistemi ya da 750 V DC tercih edilmektedir. Kırıkkale tramvayı için 750 VDC sistemin kullanılması mantıklıdır. Bunun sebebi ise; yüksek kapasiteli, yüksek yoğunluklu alçak hızlı sistemlerde trenler sadece dakika aralıklarla çalışıyorsa DC sistem AC sistemden ekonomiktir. Yüksek hızlı, yüksek güçlü şehirlerarası çalışan ve sıklıkları daha az olan trenler için AC sistem daha ekonomiktir (Bonnett, 2005).

Sistem için gerekli enerji Kırıkkale Organize Sanayi-Kırıkkale Üniversitesi arasındaki 154 kV yüksek gerilim hattından alınarak (Kırıkkale Enerjisa, 2018), ilk olarak indirici trafolar yardımıyla orta gerilime dönüştürülür. Daha sonra 3-7 km aralıklarla kurulan indirici merkezlerle uygun değere dönüştürülüp doğrultularak iletken raylara verilir. Elektrifikasyon tek hat diyagramı şekil 5’teki gibi olmalıdır (Bonnett, 2005), (Açıkbaş, 2008).



Şekil 5. elektrifikasyon tek hat diyagramı

### 3. EKONOMİK ANALİZ

Raylı sistemlerin yatırım maliyetleri genel olarak güzergâha, güzergâhta tünel, viyadük ve yüzey kesimlerinin uzunluklarına, zemin cinsine ve yapılaş şekline bağlı olarak değişmektedir (Akbulut & Eyiçıtak, 2006). Kırıkkale için düşünülen raylı sistemin güzergâhında fazla engebeli bir yapının olmaması, eğiminin yüksek olmaması, sisteme ilave edilecek yerli katkılarda sistemin maliyeti diğer tramvay sistemlerine göre daha uygun bir maliyetle yapılabilir.

Kırıkkale ilinde Irmak bölgesinden başlayıp, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Otogar gibi önemli yerlerde istasyonun olduğu ve son durak olarak yapımı devam eden Ankara-Sivas yüksek hızlı trenin Kırıkkale’deki durağı olarak seçilen Osmangazi Bölgesi seçilen ve yaklaşık 16.7 km’lik güzergâhının ray, ray malzemeleri, tramvay temini, mekanik çalışmalar, elektrik ve sinyalizasyon çalışmaları ve inşaat ve alt yapı çalışmaları gibi tüm yatırım maliyetlerinin toplamının yaklaşık 117 milyon dolar olması beklenmektedir. Bu rakam Dünya Bankası Raporu’na göre hesaplanmıştır. Bu rapora göre yer üstünde yapılacak raylı sistemlerin

inşaat maliyetleri 6 ile 10 milyon dolar/km, yer yüzeyinden yükseltilmiş inşaatların maliyetleri 25 milyon dolar/km ve yer altında bir sistemin maliyeti 40 milyon dolar/km'ye çıkmaktadır (Akbulut & Eyiçitak, 2006). Bu verilere göre raylı sistemin uzunluğu  $16.7 \times 7 = 116.9$  milyon/dolar ve araç maliyeti ise yerli üretimler kullanılması durumunda yaklaşık 1.4 milyon/dolar olup toplam sistemin maliyeti ise 118.3 milyon dolara çıkmaktadır.

Kırıkkale ilinde tramvay güzergâhını kullanacak yolcu sayısı yaz aylarında azalmakla birlikte aylık yolcu sayısı 1.500.000-2.500.000 arasında değişmektedir. Yıllık yolcu sayısı da toplamda yaklaşık 23.000.000 bulmaktadır. Bu durumda, yatırımcı sistemin düzgün çalışması sonucunda yaklaşık 4-4,5 yıl gibi kısa sürede sistem yatırım maliyetini karşılayacak ve kara geçmiş olacaktır.

#### 4. SONUÇLAR

Günümüzde hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme oranı, emisyon sorunu ulaşım sektöründeki sorunları artırmıştır. Bunun sonucu olarak özellikle bu sorunların çok yaşandığı yerlerde toplu taşımacılıkta raylı sistemleri zorunlu kılmıştır. Bu çalışmada, Kırıkkale ili için hafif raylı sistemin projelendirilmesi, güzergâhının belirlenmesi, jeolojik etüdü, elektrifikasyon işleminin yapılması ve maliyet analizi yapılmıştır. İlerdeki trafik yoğunluğunu azaltmak, ilerde yüksek hızlı trenin faaliyete girmesiyle ile ve Kırıkkale Üniversitesi kampüsüne ring hattı oluşturmak ve çevreye katkıda bulunması açısından bu yapının uygulanabilirliği belirlenmiştir.

#### TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi (2018/016) nolu BAP projesi ile desteklenmiştir. Verilen bu destek nedeniyle Kırıkkale Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

#### REFERANSLAR

- Açıkbaş, S. (2008). Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tassarrufna Yönelik Sürüş Kontrolü, Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi
- Akbulut, H., & Eyiçitak, Z. (2006). Afyonkarahisar İli Mevcut Kent İçi Ulaşım Planı İçerisinde Raylı Sistem Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Teknolojik Araştırmalar(1), 13-19.
- Bonnett, C. F. (2005). Practical Railway Engineering. Imperial College PRESS.
- Erdoğan, Ç. (2011). Kocaeli İli Hafif Raylı Taşıma Sistemi Fizibilite Raporu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kırıkkale Enerjisa. (2018).
- Kırıkkale Üniversitesi. (2018). Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı. www.oidb.kku.edu.tr. Son erişim tarihi: 20.04.2018
- Kırıkkale Valiliği. (2018). Kırıkkale Nüfusu. www.kırıkkale.gov.tr. Son erişim tarihi: 15.06.2018
- Kumar, Y., Panchal, S., Ashish, A., & Singh, B. (2017). Feasibility Study on Railway Line in Hilly Region Using Gis. *ijoe*, 183-191.
- Nedevska, I., Krakutovski, Z., Moslovac, D., Zafirovski, Z., & Nedevska, I. (2015). Feasibility Study on Railway From Urban Zone Bitola to Urban Zone Mesheishta. *Procedia Engineering*, 534-543.
- Pektaş, İ. (2017). Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi. www.anadoluraylisistemler.org.
- Resmi Gazete. (14.07.2007). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.
- TCDD. (2018). Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Demiryolu Projesi. Şubat 5, 2018 tarihinde <http://www.tcdd.gov.tr/content/59>
- Tsimplokoukou, K., Sfakianaki, E., & Metexas, G. (2012). A Feasibility Study Approach for Underground Railways- a case study : Line 4 of Athens Metro. *Global Journal of Engineering Education*, 91-98.
- UBAK. (2011). *Tramvay Tasarım Kriterleri*.



## Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi

### Offering Model for Optimization of Virtual Power Plant Operation in Electricity Market

Özge Pınar AKKAŞ\*<sup>1</sup>, Yağmur ARIKAN<sup>1</sup>, Ertuğrul ÇAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale

Başvuru/Received: 2/10/2018

Kabul/Accepted: 26/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Elektrik piyasalarının serbestleşmesi ve çevresel sorunların artması sebebiyle yenilenebilir üretime dayalı dağıtık enerji kaynakları, güç sistemlerinde önemli bir yere sahip olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) enerji piyasasında yer alması YEK sahipleri için ciddi bir zorluk oluşturmaktadır. Bunun temel nedeni, yenilenebilir enerji kaynaklarının güç çıkışlarının belirsizliğidir. Örneğin, rüzgâr güç santrallerinin (RGS) güç çıkışı rüzgâr hızına, güneş enerji santrallerinin (GES) güç çıkışı güneş ışınımına ve bulutlanmaya göre değişmektedir. Bu da uzun veya orta vadeli elektrik dağıtım sözleşmelerini yerine getirememeye riski taşımaktadır. Bu riski ortadan kaldırmak için, farklı türde yenilenebilir ve yenilenemeyen üretim birimleri ve depolama sistemleri birleştirilerek, elektrik piyasasında tek yönlü bir birim oluşturulur. Bu birim Sanal Güç Santralleri (SGS) olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, gün öncesi piyasasında elektrik satarak veya satın alarak faaliyet gösteren bir SGS sahibinin maksimum kâr elde edebilmesi amacıyla saatlik işletim planlaması modellenmiştir. Çalışmada ele alınan SGS, rüzgâr güç santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve bir enerji depolama sisteminden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formüle edilmiş, 24 saat zaman aralığı için uygulanmıştır ve GAMS yazılımında test edilmiştir. Önerilen yöntemin, gün öncesi piyasasında optimum satım/satın alma tekliflerini nasıl vereceği yönünde SGS sahibine yardımcı olacağı gösterilerek yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Türkiye Elektrik Piyasası, Gün Öncesi Piyasası, Sanal Güç Santrali, GAMS”

#### Abstract

Distributed Energy Sources based on renewable generation have an important place in power systems due to liberalization of electricity markets and increase of environmental problems. The involvement of renewable energy sources (RES) in the energy market poses a serious challenge for RES owners. The main reason for this is the uncertainty about the power output of RES. For example, the power output of wind power plants (WPP) depends on the wind speed and the power output of solar power plants (SPS) depends on the solar radiation and clouds. This brings the risk of not meeting long-term or medium-term electricity delivery contracts. To remove this risk, a single-acting unit in electricity market is formed by combining different types of renewable and non-renewable generation units and storage systems. This unit is defined as Virtual Power Plants (VPP). In this study, an hourly operation scheduling is modeled to get maximum profit for VPP owner participating in day ahead market by selling or purchasing electricity. The VPP in the study consists of wind power plant, conventional power plant and energy storage system. The problem is formulated as a mixed-integer non-linear problem, applied for 24-hours time horizon and tested in GAMS software. The applicability of the method has been demonstrated by showing that the proposed method helps VPP owner about how to provide optimum sale/purchase bids in the day ahead market.

#### Key Words

“Turkish Electricity Market, Day Ahead Market, Virtual Power Plant, GAMS”

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), temiz ve yenilenebilir olması gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda modern dağıtım sistemlerinde çok sayıda yer almaktadır. Fakat bu kaynakların tek başına büyük ölçekli penetrasyonu olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Çünkü rüzgâr ve güneş gibi güç çıkışı hava koşullarına bağlı olan kaynaklar, değişken üretime ve güç sisteminin belirsizliğine neden olur. Bu durumda değişken çıktıdan kaynaklanan problemleri çözmek için bu kaynaklar bir araya getirilmektedir. Rüzgâr türbini, PV paneli, yakıt hücresi ve diğer enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve kontrol edilebilir yükler gibi dağıtık enerji kaynaklarının bir araya getirilerek bir enerji yönetim birimi tarafından yönetilmesi Sanal Güç Santrali (SGS) olarak tanımlanmaktadır.

SGS dağıtık enerji kaynaklarının verimli bir şekilde işletilmesi ile üretim şirketlerinin gelirleri artırılabilir. Ayrıca dağıtık enerji kaynaklarının kısıtlarını, üretim-tüketim dengesini ve iletim sistem kısıtlarını da göz önünde bulunduran geliştirilmiş bir kontrol sağlanabilir (Lazaroiu vd., 2015). SGS sahipleri, gün öncesi piyasasında enerji üreticisi veya tüketicisi olarak yer alarak gelirlerini arttırmayı hedeflerler. Bu amaçla elde edecekleri kârı maksimum yapacak şekilde piyasaya enerji satarlar veya daha sonra satmak için kullanmak üzere piyasadan enerji satın alırlar.

Son zamanlarda SGS ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar şu şekildedir. Kasaei vd., (2017) yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları, batarya enerji depolama ve yük kontrolünden oluşan SGS'nin optimum enerji yönetimine karar vermek amacıyla, meta-sezgisel algoritmalarından Emperyalist Rekabetçi Algoritmasını (Imperialist Competitive Algorithm) önermişlerdir. Kasaei vd., (2017) başka bir çalışmada ise meta-sezgisel algoritmalarından Teaching-Learning Based Optimization (TLBO) algoritmasını kullanmışlardır. Pandzic vd., (2013), yenilenebilir kaynaklar, depolama sistemi ve konvansiyonel güç sisteminden oluşan bir SGS için haftalık işletim planlamasını yapmışlardır. Problemi karışık tamsayı doğrusal programlama olarak modellemişlerdir. Zamani vd. (2016), sanal güç santralının hem enerji hem de rezerv piyasasında optimum enerji planlaması için bir olasılık modeli önermişlerdir. Sanal güç santralının işletimindeki belirsizliklerin modellenmesinde Nokta Tahmin Yöntemini kullanmışlardır. Al-Awami vd., (2016), gün öncesi piyasasında ve gerçek zamanlı piyasada yer alan bir sanal güç santralının gün öncesi teklif stratejisini optimize etmek için bulanık optimizasyon yöntemini önermişlerdir. Baringo (2017), gün öncesi piyasası ve gerçek zamanlı enerji piyasasında faaliyet gösteren bir sanal güç santralının teklif stratejisi için stokastik uyarlanabilir sağlam optimizasyon yaklaşımını önermişlerdir. Samakoosh vd., (2017), sanal güç santralının kısa dönemli enerji planlaması için Yapay Sinir Ağları tabanlı yeni bir metod önermişlerdir. Xia ve Liu (2016), sanal güç santralının optimum enerji planlamasını analiz ederken, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji çıkışının belirsizliğini de göz önünde bulundurmıştır. Bunun için risk kuantizasyon yöntemini (CVaR) modele entegre etmişlerdir. Ferruzzi vd., (2016), gün öncesi enerji piyasasında optimum teklifi formüleştirmek ve yenilenebilir enerji üretiminin belirsizliğini hesaba katmak amacıyla risk yönetimini değerlendirmek için bir karar verme modeli sunmuşlardır.

## 2. PROBLEM FORMÜLASYONU

### 2.1. Amaç Fonksiyonu

Problemimizde amaç, elektrik piyasasında yer alan girişimcilerin yani üretim şirketlerinin elektrik satma veya satın alma tekliflerine göre kârlarını maksimum yapmaktır. Bunun için saatlik tekliflerini nasıl yapmaları gerektiği belirlenmektedir. Problemimizin amaç fonksiyonu Eşitlik 1'deki gibi gösterilebilir. Elde edilen kâr; gelir ve maliyetin farkından oluşmaktadır.

$$profit = \sum_t (revenue^t - cost^t) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de profit; toplam kâr miktarını, revenue<sup>t</sup>; t zamandaki gelir miktarını, cost<sup>t</sup>; t zamandaki maliyeti göstermektedir.

t zamandaki gelir miktarı Eşitlik 2'de gösterildiği gibidir.

$$revenue^t = p(t) * G(t) \quad (2)$$

Eşitlik 2'de p(t); t zamandaki elektrik referans fiyatı, G(t); ise t zamandaki teklif verilen elektrik miktarıdır. Sonuç negatif ise elektrik satın alınmıyordur, pozitif ise elektrik satılıyordur.

t zamandaki maliyet Eşitlik 3'de gösterildiği gibidir.

$$cost^t = C_{conv}(t) + y_{conv}(t) * S_{conv} \quad (3)$$

Eşitlik 3'de C<sub>conv</sub>(t); santralin üretim maliyetidir. y<sub>conv</sub>(t); ikili değerdir, eğer ünite t zamanda yeni açılmış ise 1 değerini alır, değilse 0'dır. S<sub>conv</sub>; ünitenin başlangıç maliyetidir.

$C_{conv}(t)$  Eşitlik 4’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$C_{conv}(t) = (a * P_{conv}(t)^2 + b * P_{conv}(t) + c) * x_{conv}(t) \quad (4)$$

Eşitlik 4’de a,b,c; ünitenin maliyet katsayılarıdır.  $P_{conv}(t)$ ; t zamanda ünitenin ürettiği güç miktarıdır.  $x_{conv}(t)$ ; ikili değerdir, eğer ünite t zamanda elektrik üretiyor ise 1 değerini alır, değilse 0’dır.

## 2.2. Kısıtlar

Problemimizin kısıtları aşağıda sıralanmıştır.

$$1. x_{conv}(t) \in \{0,1\}$$

$$y_{conv}(t) \in \{0,1\} \quad (5)$$

$x_{conv}(t)$  ve  $y_{conv}(t)$  ikili değerler olduğundan 0 veya 1 tamsayı değerini alabilirler.

$$2. P_{conv}^{min} * x_{conv}(t) \leq P_{conv}(t) \leq P_{conv}^{max} * x_{conv}(t) \quad (6)$$

Ünitenin ürettiği güç minimum ve maksimum üretebileceği güçler sınırına çıkmamalıdır.  $P_{conv}^{min}$ ; ünitenin üretebileceği minimum güç miktarı,  $P_{conv}^{max}$ ; ünitenin üretebileceği maksimum güç miktarıdır.

$$3. -ramp \leq P_{conv}(t) - P_{conv}(t-1) \leq ramp \quad (7)$$

Ünitenin bir önceki zamana göre üretim miktarındaki değişim rampa oranını aşmamalıdır.

$$4. x_{conv}(t) - x_{conv}(t-1) \leq y_{conv}(t) \quad (8)$$

Ünitenin açılıp açılmadığının kararı için bu eşitsizlik kullanılmalıdır.

$$5. P_{turbine}(t) \leq P_{turbine}^{max} \quad (9)$$

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralde türbin çıkış gücü türbinin maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$6. P_{pump}(t) \leq P_{pump}^{max} \quad (10)$$

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralde pompa çıkış gücü pompanın maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$7. storage(t) = storage(t-1) + P_{pump}(t) - P_{turbine}(t) \quad (11)$$

Her saat sonunda depolanan enerjiyi ifade etmektedir.

$$8. 0 \leq storage(t) \leq storage^{max}(t) \quad (12)$$

Depolanan enerji maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$9. P_w(t) + P_s(t) + P_{conv}(t) + P_{turbine}(t) = G(t) + \frac{P_{pump}(t)}{\mu} \quad (13)$$

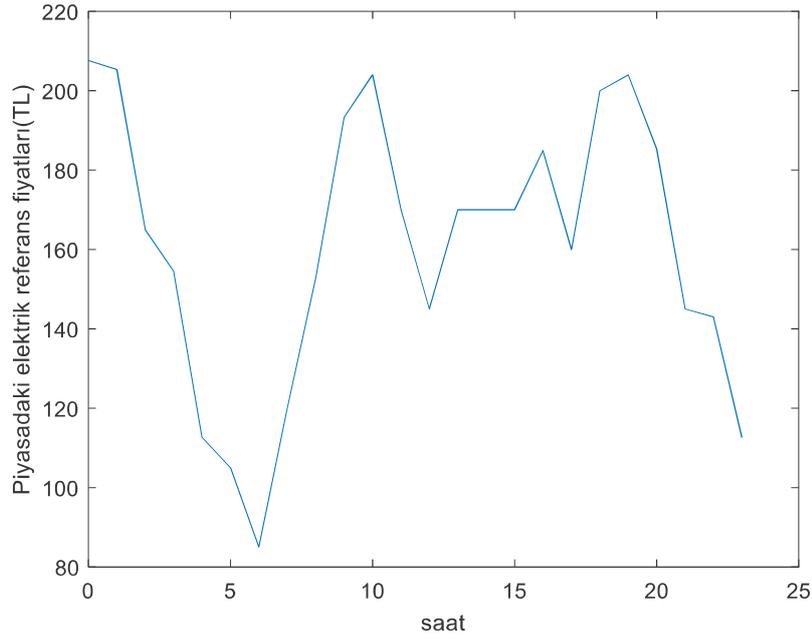
Enerji dengeleme denklemdir. Üretilen tüm enerjilerin toplamı, piyasada satılan elektrik ve pompaj depolamalı hidroelektrik santralin alt rezervuarındaki suyun pompalanması için kullanılan elektrik toplamına eşit olmalıdır.  $\mu$ ; pompaj depolamalı hidroelektrik santralin verimlilik faktörüdür.

## 3. UYGULAMA

Bu çalışmada ele alınan SGS, rüzgâr enerji santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve bir enerji depolama sisteminden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formüle edilip, 24 saat zaman aralığı için uygulanmıştır. Aynı günün saatlik güç çıkışları rüzgâr enerji santrali ve güneş enerji santrali için temin edilmiştir. Konvansiyonel güç santrali olarak termik santral ele alınmıştır. Enerji depolama sistemi olarak ise pompaj depolamalı hidroelektrik santral (PDHS) ele alınmıştır.

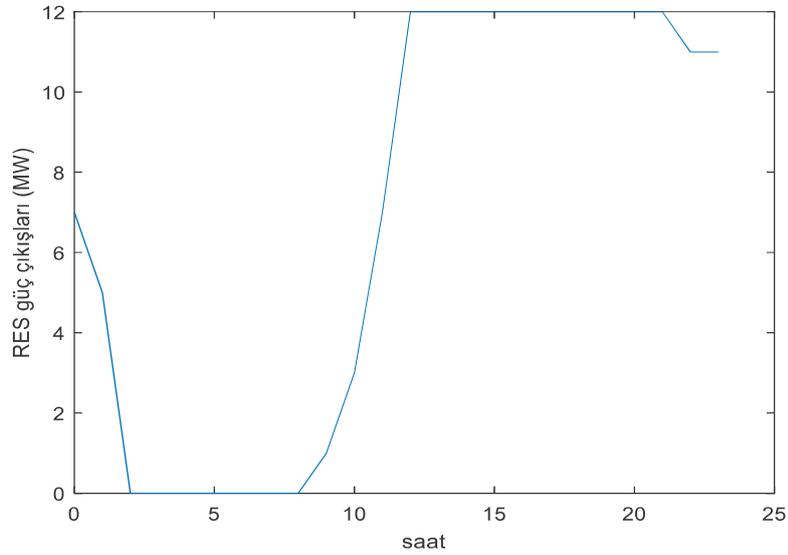
### 3.1. Veriler

Çalışmada uygulanan güne ait saatlik piyasadaki elektrik referans fiyatları Şekil 1’de verilmektedir (EPIAŞ).



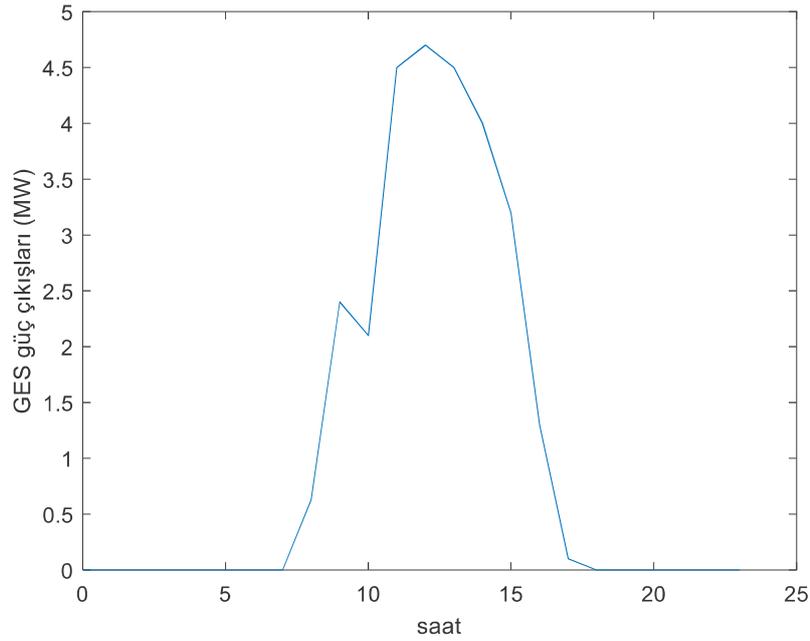
Şekil 1. Elektrik referans fiyatları

Aynı güne ait RES saatlik güç çıkışları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. RES güç çıkışları

Aynı güne ait GES saatlik güç çıkışları Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. GES güç çıkışları

Termik santral bilgileri Tablo 1’de verilmektedir (Shayegan-Rad vd., 2017).

Tablo 1. Termik santral bilgileri

$P_{\min}$ (MW)	$P_{\max}$ (MW)	RUP (MW)	RDN (MW)	a	b	c	SUC
0	5	2	2	0.055	44.5	23.9	20

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrale ait bilgiler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. PDHS bilgileri

Maksimum türbin kapasitesi (MW)	Maksimum pompa kapasitesi (MW)	Maksimum depolama kapasitesi (MWh)	Verimlilik faktörü
10	8	40	0.70

### 3.2. Sonuçlar

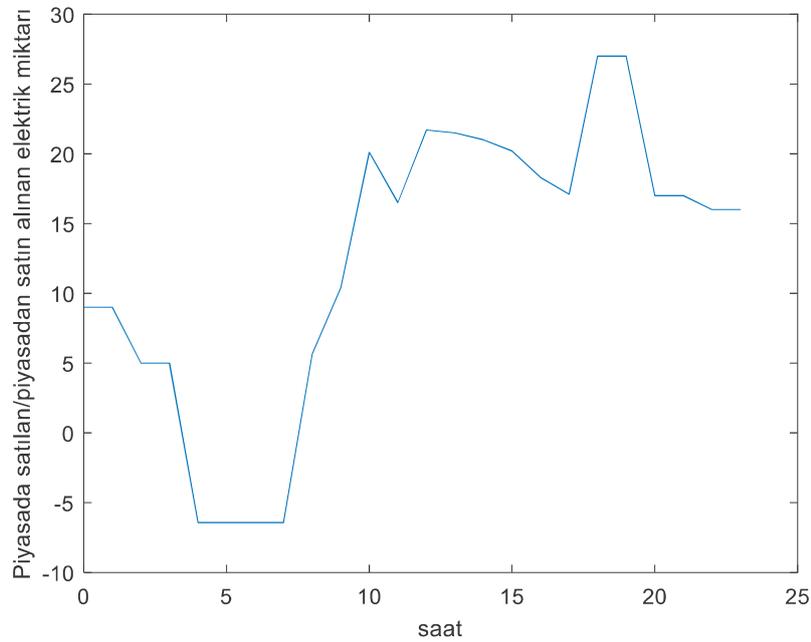
Bu çalışmada sunulan karışık tamsayı doğrusal olmayan optimizasyon problemi, GAMS 25.0.3 yazılımı ile modellenmiştir ve DICOPT çözücüsü ile çözülmüştür. Toplam kâr miktarı 47153.907 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 3’de SGS’nin optimum işletimi gösterilmektedir. Buna göre; günün saat 5-8 zamanlarında piyasa katılımcısı elektrik satın almakta, diğer zamanlarda elektrik satmaktadır. Bunun nedeni 5-8 saatlerinde elektrik fiyatının düşük olmasıdır. Bu yüzden maksimum kâr için bu zamanlarda elektrik satışı yapmayıp satın almaktadır. Termik santral tam kapasitede çalışmaktadır yalnız 1 ve 2 zamanlarında rampa limiti kısıtından dolayı daha az üretim yapmaktadır. Yine elektrik fiyatının ucuz olduğu 5-8 saatlerinde PDHS pompa modunda çalıştırılarak elektrik enerjisi suyun potansiyel enerjisi olarak depolanmaktadır. PDHS, 10-11 saatlerinde türbin modunda çalıştırılarak elektrik enerjisi verilmektedir.

**Tablo 3.** SGS'nin optimum işletimi

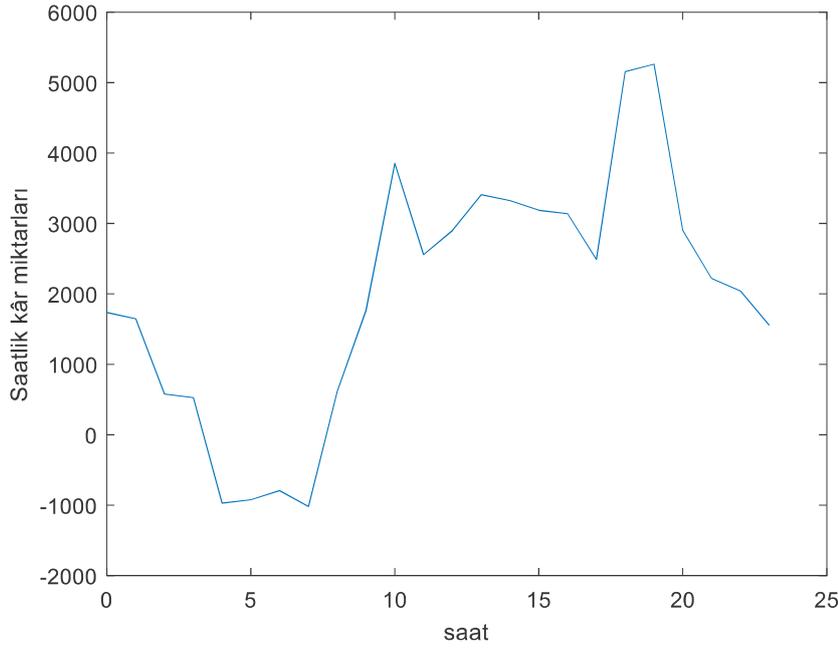
Saat	$P^{GÖP}(t)$	$P_{CPP}(t)$	$P_{pompa}(t)$	$P_{türbin}(t)$	Depolama(t)
1	9	2			
2	9	4			
3	5	5			
4	5	5			
5	-6.429	5	8		8
6	-6.429	5	8		16
7	-6.429	5	8		24
8	-6.429	5	8		32
9	5.630	5			32
10	10.40	5		2	30
11	20.10	5		10	20
12	16.50	5			20
13	21.70	5			20
14	21.50	5			20
15	21	5			20
16	20.20	5			20
17	18.30	5			20
18	17.10	5			20
19	27	5			10
20	27	5			
21	17	5			
22	17	5			
23	16	5			
24	16	5			

Piyasada satılan/piyasadan satın alınan saatlik elektrik miktarları Şekil 4'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.** Piyasada satılan/piyasadan satın alınan saatlik elektrik miktarları

Saatlik kâr miktarları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Saatlik kâr miktarları

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dağıtık enerji kaynaklarının güç sistemine entegre edilmesinde önemli bir yol olan sanal güç santralının gün öncesi piyasasında 24 saat zaman aralığı için optimum işletim planlaması üzerinde çalışılmıştır. Üretim şirketlerinin maksimum kâr elde edecek şekilde tekliflerini piyasada sunabilmeleri amacıyla problem modellenmiştir. Çalışmada ele alınan SGS; rüzgâr enerji santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve pompaj depolamalı hidroelektrik santralden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formülleştirilip, GAMS yazılımında test edilmiştir. Önerilen yöntemin, gün öncesi piyasasına katılan SGS sahiplerinin teklif stratejilerini belirlemede yardımcı olacağı gösterilerek yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

#### TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (2018/009) nolu BAP projesi ile desteklenmiştir.

#### REFERANSLAR

Al-Awami, A. T., Amleh, N. A. & Muqbel, A. (2016). Optimal Demand Response Bidding and Pricing Mechanism with Fuzzy Optimization: Application for a Virtual Power Plant, 2016 Clemson University Power Systems Conference (PSC), 8-11 Mart 2016, Clemson, SC, USA. doi: 10.1109/PSC.2016.7462855

Baringo, A. & Baringo, L. (2017). A Stochastic Adaptive Robust Optimization Approach for the Offering Strategy of a Virtual Power Plant, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 32, No. 5, 3492-3504. doi: 10.1109/TPWRS.2016.2633546

Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ)., <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/> (Erişim tarihi: 01.11.2018).

Ferruzzi, G., Cervone, G., Monache, L. D., Graditi, G. & Jacobone, F. (2016). Optimal bidding in a Day-Ahead energy market for Micro Grid under uncertainty in renewable energy production, Energy, 106(2016), 194-202. doi: 10.1016/j.energy.2016.02.166

Kasaei, M. J., Gandomkar, M. & Nikoukar, J. (2017). Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant, Renewable Energy, 114(2017), 1180-1188. doi:10.1016/j.renene.2017.08.010

Kasaei, M. J., Gandomkar, M. & Nikoukar, J. (2017). Optimal Operational Scheduling of Renewable Energy Sources Using Teaching-Learning Based Optimization Algorithm by Virtual Power Plant, Journal of Energy Resources Technology, Vol. 139 / 062003. doi: 10.1115/1.4037371

- Lazaroiu, G. C., Dumbrava, V., Roscia, M. & Zaninelli D. (2015). Energy trading optimization of a Virtual Power Plant on electricity market, The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 7-9 Mayıs 2015, Bükreş, Romanya. doi:10.1109/ATEE.2015.7133932
- Pandzic, H., Kuzle, I. & Capuder, T. (2013). Virtual power plant mid-term dispatch optimization, Applied Energy, 101(2013), 134-141. doi:10.1016/j.apenergy.2012.05.039
- Samakoosh, H. M., Ghasemi, J. & Kazemitabar, J. (2017). Optimized neural network based thermal and electrical scheduling of virtual power plant in the presence of energy storage, Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol. 9, 025903 (2017), doi: 10.1063/1.4979500.
- Shayegan-Rad, A., Badri, A. & Zanganeh, A. (2017). Day-ahead scheduling of virtual power plant in joint energy and regulation reserve markets under uncertainties, Energy, Volume 121, 114-125. doi: 10.1016/j.energy.2017.01.006
- Xia, Y. & Liu, J. (2016). Optimal Scheduling of Virtual Power Plant with Risk Management, Journal of Power Technologies, 96 (1) (2016), 49–56.
- Zamani, A. G., Zakariazadeh, A. & Jadid, S. (2016). Day-ahead resource scheduling of a renewable energy based virtual power plant, Applied Energy, 169(2016), 324-340. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.011



## Nicemleme Parametresi, Kontrast, Yapısal Özellik ve Uzamsal Çözünürlüğe Dayalı 3 Boyutlu Video Kalite Değerlendirmesi

### 3D Video Quality Assessment Based on Quantization Parameter, Contrast, Structural Feature and Spatial Resolution

Şahin COŞKUN<sup>1</sup>, Gökçe NUR YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale

Başvuru/Received: 19/11/2018

Kabul/Accepted: 14/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Günümüzde 2 boyutlu (2B) videoların kalitelerinin değerlendirilmeleri amacıyla geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan nesnel Video Kalite Değerlendirme (VKD) metrikleri bulunmasına rağmen, 3 boyutlu (3B) videoların kalitelerinin değerlendirilmesinde öznel testler kullanılmaktadır. Bunun temel nedeniyse 3B videolarda algılanması kişiden kişiye farklılık gösteren özellikler bulunması ve İnsan Görme Sisteminin (İGS) bu göreceli özellikleri farklı farklı yorumlayan öznel bir yapıda olmasıdır. Öznel testler maliyetlerinin yüksek olması, oldukça uzun zaman almaları ve uygulanmalarının bir hayli güç olması nedeniyle nesnel VKD metriklerine göre önemli dezavantajlara sahiptirler. Bu nedenle 3B VKD için öznel testlerin yerine İGS'yle doğrudan ilişkili değişkenler baz alınarak geliştirilecek nesnel VKD metriklerinin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada İGS'yi doğrudan etkileyen nicemleme parametresi, kontrast, yapısal özellik ve uzamsal çözünürlük değişkenlerinin 3B VKD üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmalar renkli video+derinlik haritası yöntemiyle oluşturulmuş 4 farklı 3B video üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir 3B videonun renkli video ve derinlik haritası bileşenleri, 5 farklı nicemleme parametresiyle kodlandıktan sonra 3 farklı uzamsal çözünürlüğe getirilmiştir. Ardından, geliştirilen kontrast ve yapısal özellik ölçüm algoritmalarıyla her bir 3B video için ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonular, nicemleme parametresi, kontrast, yapısal özellik ve uzamsal çözünürlük değişkenlerinin birlikte kullanılmasıyla oldukça verimli ve nesnel bir 3B VKD metriği oluşturulabileceğini göstermektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“3B video kalite değerlendirme, nicemleme parametresi, kontrast, yapısal özellik ve uzamsal çözünürlük.”

#### Abstract

Nowadays, subjective tests are used to assess the quality of 3 Dimensional (3D) videos although there are widely used objective Video Quality Assessment (VQA) metrics to evaluate the quality of 2 Dimensional (2D) videos. The main reason for this is that there are 3D video characteristics that differ from person to person and the Human Vision System (HVS) is a subjective structure that differentiates these relative characteristics. However, due to their high costs, considerable time usage and implementation difficulty, subjective tests have significant disadvantages compared to the objective VQAs. Therefore, it is of great importance to use the objective VQA metrics which will be developed based on the variables directly related to the HVS instead of the subjective tests for the 3D VQA. In the light of this information, in this study, the effects of quantization parameters, contrast, structural features and spatial resolution on the 3D VQA are studied. The studies are carried out on 4 different 3D videos created by color video + depth map method. The color video and depth map components of each 3D video are coded with 5 different quantization parameters and then brought to 3 different spatial resolutions. Then, measurements were taken for each 3D video by means of the developed contrast and structural feature measurement algorithms. The results show that a highly efficient and objective 3D VQA metric can be created by using the quantization parameter, contrast, structural feature and spatial resolution variables together.

#### Key Words

“3D video quality assessment, quantization parameter, contrast, structural information and spatial resolution.”

## 1. GİRİŞ

İlerleyen 3B video teknolojileri karşısında artan tüketici talepleri ile birlikte 3B VKD konusu da gittikçe önem kazanmaktadır. Her ne kadar 2B VKD için yaygın olarak kullanılan nesnel kalite metrikleri bulunsada 3B VKD için henüz geliştirilmiş bir metrik mevcut değildir (Bayrak vd., 2014). 3B videolar için nesnel kalite metriklerinin geliştirilememesinin en önemli nedenleri 3B videolarda nesnel olmayan, yani izleyiciden izleyiciye değişen İGS ile ilişkili göreceli özelliklerin (derinlik, doğallık gibi) bulunması ve izleyicide derinlik algısını harekete geçiren bu özelliklerin 3B VKD metriği geliştirilmesi amacıyla bir arada kullanımının az olmasıdır. Bu nedenle 3B VKD ölçümü için öznel testler yapılmaktadır. Öznel testlerin ise önemli dezavantajları vardır. Yüksek maliyetli ve uzun zaman alan öznel testlerin gerçekleştirilebilmesi için gereken test koşullarının sağlanması ve testlere katılabilecek eğitilmiş izleyicilerin bulunması bir hayli zor süreçlerdir. Bununla birlikte öznel testlerden elde edilen bilgilerden nesnel değerlendirme sonuçlarının elde edilebilmesi için farklı izleyicilerin izlenimlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Erten, 2016).

Açıklanan nedenlerle İGS ile ilişkili özelliklerin dikkate alınarak bir 3B VKD metriği geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma, İGS ile ilişkili nicemeleme parametresi, kontrast, uzamsal çözünürlük ve yapısal özellik bilgilerinin birlikte dikkate alınarak verimli bir 3B VKD metriği geliştirilebileceğini göstermektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde tasarlanmıştır. İkinci bölümde önerilen çalışmadan bahsedilecektir. Elde edilen sonuçlar üçüncü bölümde tartışılacaktır. Son olarak dördüncü bölümde ise sonuç ve gelecek çalışmalar ele alınacaktır.

## 2. ÖNERİLEN ÇALIŞMA

Bu çalışma, renkli videoları ve derinlik haritaları 5 farklı nicemeleme parametresi (25, 30, 35, 40 ve 45) ile kodlanmış 4 farklı 3B video üzerine uygulanan üç temel işlemden meydana gelmektedir. Birinci işlem renkli videoların ve derinlik haritalarının boyutlarının Standard Definition (SD-704x576), Common Intermediate Format (CIF-352x288) ve Quarter Common Intermediate Format (QCIF-176x144) boyutlarına getirilmesidir. İkinci işlem yeniden boyutlandırılmış renkli videoların kontrast ölçümlerinin yapılmasıdır. Üçüncü işlem ise yeniden boyutlandırılmış derinlik haritalarından yapısal özellik bilgilerinin ölçülmesidir.

### 2.1. Video Boyutunun Değiştirilmesi

Video boyutu değiştirmek, videonun her bir çerçevesini belirli teknikler kullanarak istenilen boyuta getirmektir. Bir resmin boyutunu büyütme için “upsampling”, küçültme için “downsampling” işlemlerini uygulamak gerekmektedir. Bunların çeşitli yolları vardır. Çalışmamızda kullanılan 4 farklı renkli videonun ve bunlara ait derinlik haritalarının orijinal boyutları “football” videosu için 960x540, “interview” videosu için 720x576, “newspaper” videosu için 1024x768 ve “windmill” videosu için 960x540’tır. Kullanılan videoları getirmek istediğimiz boyutlar ise SD, CIF ve QCIF olarak belirlenmiştir. Şekil 1 ve 2’de bu çalışmada kullanılan videolardan ve derinlik haritalarından alınmış ekran görüntüleri verilmiştir.



(a)

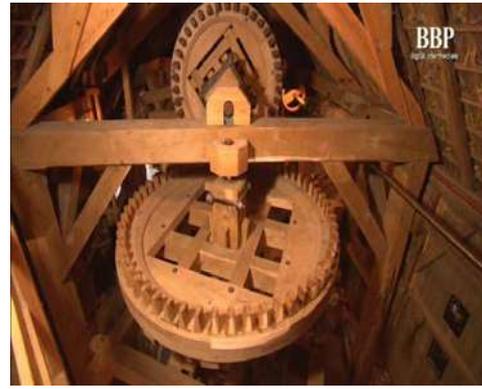


(b)

Şekil 1. (a) Football; (b) videolarından alınmış ekran görüntüleri.



(c)



(ç)

Şekil 1(devam). (c) Newspaper; (ç) Windmill videolarından alınmış ekran görüntüleri.



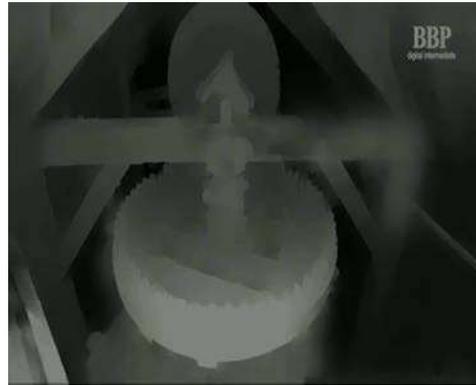
(a)



(b)



(c)



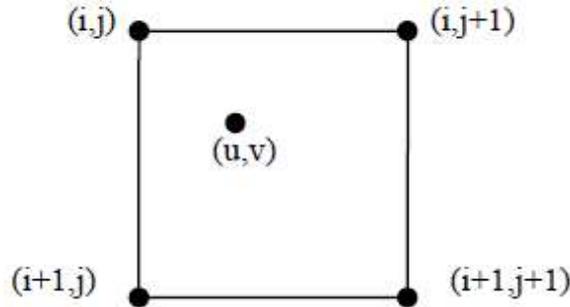
(ç)

Şekil 2. (a) Football; (b) Interview; (c) Newspaper; (ç) Windmill derinlik haritalarından alınmış ekran görüntüleri.

Ekran görüntülerinden de görüldüğü üzere kullanılan videoların boyutları ile bu videoları getirmek istediğimiz boyutlar arasında sabit bir oran mevcut değildir. Örneğin 960x540 orijinal boyutundaki bir video ile SD boyut ölçülerindeki (704x576) video arasında yatay ve dikey doğrultularda sabit bir oran bulunmamaktadır. Çünkü orijinal boyut ölçüleri ile SD boyut ölçüleri arasındaki yatay doğrultudaki oran  $960/704=1,3636$  iken dikey doğrultudaki oran  $540/576=0,9375$ 'tir. Buna göre yatay doğrultuda 960 pikselden 704 piksele geçmek için videoya “downsampling”, dikey doğrultuda 540 pikselden 576 piksele geçmek için videoya “upsampling” işlemleri uygulamak gerekmektedir. Bir videoya bir doğrultuda “upsampling” işlemi uygularken diğer doğrultuda “downsampling” işlemi uygulamak oldukça karmaşık bir işlem olduğundan ve bu işlemlerin uygulanmasında kullanılacak tekniğin videoda “aliasing” gibi sakıncalı sonuçları söz konusu olacağından videoların boyutlarını değiştirmek için interpolasyon tekniklerinden yararlanılması gerekmektedir.

İnterpolasyon, kayıp fonksiyonel değerlerin ölçüm ortalamasından tahmin edilmesi ya da gerekli fonksiyonel değeri elde etmek için komşu noktaların bilinen fonksiyonel değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılan hesaplama işlemidir (Soysal&Şahinbaşkan, 2003). En çok kullanılan interpolasyon teknikleri; en yakın komşu interpolasyonu, bilineer interpolasyon ve bikübik interpolasyon teknikleridir.

En yakın komşu interpolasyonu, en basit interpolasyon tekniği olup bu teknikte yeni pikselin değeri, orijinal görüntüde yeni pikselin konumuna en yakın konumdaki piksel değerlerinden faydalanılarak hesaplanır. Orijinal piksel değerlerinin korunduğu bu teknik basit ve hızlı olmasına rağmen, bazı piksellerin kaybolması bazı piksellerinse çiftinin oluşması nedeniyle düşük kaliteli sonuçlar verir (Altuntaş&Çorumluoğlu, 2002). Şekil 3'te de görüldüğü üzere (u,v) noktası ile bu noktaya en yakın dört nokta arasındaki mesafeler hesaplandıktan sonra en kısa mesafedeki nokta (en yakın komşu) tespit edilir ve (u,v) noktasının piksel değeri en yakın komşu noktanın piksel değerine eşitlenir (Han, 2013).



Şekil 3. En yakın komşu interpolasyonu (Han, 2013)

Bilineer interpolasyon tekniğinde her bir piksele, o piksele en yakın dört pikselin değerinin ortalaması atanır (Doma, 2008). Hesaplamalara bağlı bir teknik olması nedeniyle orijinal piksel değerleri korunmaz ve orijinal görüntüde olmayan yeni piksel değerleri oluşur (Altuntaş&Çorumluoğlu, 2002). Bu değerler, en yakın komşu interpolasyonuna göre daha yumuşak geçişlerin olduğu, dolayısıyla daha az “aliasing” kusuru görüldüğü görüntüler elde edilmesini sağlar. Çalışmamızda da tercih edilen bilineer interpolasyon tekniği matematiksel olarak formülize edilirse (Peters, 2016);

$$I(r, c) \rightarrow I(r', c') \quad (1)$$

$$(r \in \{1, \dots, R\}, c \in \{1, \dots, C\} \text{ ve } (r' \in \{1, \dots, R'\}, c' \in \{1, \dots, C'\}))$$

$$S_r = \frac{R}{R'} \quad (2)$$

$$S_c = \frac{C}{C'} \quad (3)$$

$$r_0 = \lfloor r_f \rfloor \quad (4)$$

$$c_0 = \lfloor c_f \rfloor \quad (5)$$

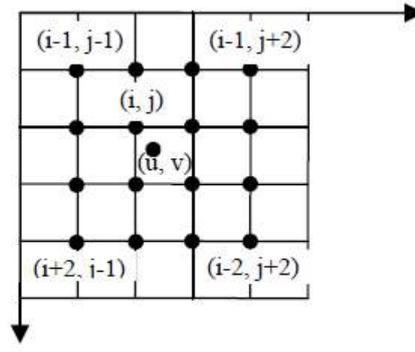
$$\Delta r = r_f - r_0 \quad (6)$$

$$\Delta c = c_f - c_0 \quad (7)$$

$$I(r', c') = I(r_0, c_0)(1 - \Delta r)(1 - \Delta c) + I(r_0 + 1, c_0)(\Delta r)(1 - \Delta c) + I(r_0, c_0 + 1)(1 - \Delta r)(\Delta c) + I(r_0 + 1, c_0 + 1)(\Delta r)(\Delta c) \quad (8)$$

Bu eşitliklerde,  $I$  orijinal görüntü,  $r$  ve  $c$  orijinal görüntüdeki pikselin koordinatını,  $r'$  ve  $c'$  elde edilmek istenen boyuttaki görüntüdeki pikselini,  $R$  ve  $C$  orijinal görüntünün sırasıyla satır ve sütun sayılarını,  $R'$  ve  $C'$  elde edilmek istenen boyuttaki görüntünün sırasıyla satır ve sütun sayılarını,  $S_r$  satır ölçekleme faktörünü,  $S_c$  sütun ölçekleme faktörünü,  $r_f$  ve  $c_f$  bilineer interpolasyon işlemi sonucunda elde edilen pikselin koordinatını ifade etmektedir.

Bikübik interpolasyon tekniği ise bilineer interpolasyon tekniğine benzemekle birlikte daha karmaşık hesaplamalarla gerçekleştirilmektedir. Buna göre bikübik interpolasyon tekniğinde her bir piksele, o piksele en yakın on altı pikselin değerinin ortalaması atanır (Fadnavis, 2014). Şekil 4'te görüldüğü gibi (u,v) koordinatındaki pikselin değeri, (u,v) noktasına en yakın on altı komşu pikselin değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Elde edilen piksel değerleri, bilineer interpolasyon tekniğinde de olduğu gibi orijinal görüntüdekinden tamamen farklı değerlerdir.



Şekil 4. Biküyük interpolasyon (Han, 2013)

## 2.2. Video Kontrastının Ölçülmesi

Bir görüntünün kontrastı, görüntünün en aydınlık bölümü ile en karanlık bölümü arasındaki fark olup oransal bir niceliktir. Yüksek kontrast oranına sahip bir görüntüde histogram grafiği daha dağınık yayıldığından görüntünün daha gerçekçi olması söz konusudur ve izleyicideki derinlik hissiyatını artırır. Düşük kontrast oranındaki bir görüntüde ise aydınlık bölümler ile karanlık bölümler birbirine yakınsayacağından histogram grafiği daha dar bir alana toplanacak ve izleyicideki derinlik hissiyatını zayıflatacaktır.

Bu çalışmada video kontrastının ölçülmesi işlemi, videonun ortalama mutlak sapma (MAD – Mean Absolute Deviation) değerinin hesaplanması ve bu değerin video boyutu ve çerçeve sayısı ile normalize edilmesine dayanmaktadır. Bir videonun MAD değerinin hesaplanması için ise videoyu oluşturan her bir çerçevenin MAD değerinin ayrı ayrı hesaplanması ve bunların toplanması gereklidir.

Bir veri grubunun ortalama mutlak sapma değeri hesaplanırken merkezi eğilim ölçüsü olarak veri grubundaki verilerin aritmetik ortalaması dikkate alınır. Ortalama mutlak sapma, bir veri grubundaki verilerin, verilerin aritmetik ortalamasına olan ortalama uzaklıkları olup veri grubunun elemanlarının değişkenlikleri hakkında bilgi verir. Buna göre MAD değeri yüksek olan veri gruplarında veriler ortalamadan daha uzak noktalara yerleşmişlerdir.

Gri tonlamalı (gray scale) resimler de piksellerin gri değerlerini içeren matris şeklindeki birer veri gruplarıdır. Merkezi eğilim ölçüsü olarak piksellerin gri değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında, piksellerin gri değerlerinin ortalama gri değere olan uzaklıkları, yani piksel sapmaları, bize o resmin histogramı hakkında fikir verir. Buna göre piksel sapmalarının toplamının toplam piksel sayısına bölünerek elde edilen MAD değerinin yüksek olduğu resimlerin histogramı, düşük olduğu resimlerin histogramına göre daha geniş bir alana yayıldığından resmin kontrastının daha yüksek olduğu anlaşılır. Gri tonlamalı bir resmin ortalama mutlak sapması aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{i,j} - X_{ort})}{m \times n} \quad (9)$$

Burada  $m \times n$  ile toplam piksel sayısı,  $X_{i,j}$  ile ilgili pikselin gri değeri,  $X_{ort}$  ile resmin ortalama gri değeri ve MAD ile görüntünün ortalama mutlak sapması ifade edilmektedir. Videonun ortalama mutlak sapması ise aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$MAD_{video} = \sum_{k=1}^{çerçeve\ sayısı} MAD(k) \quad (10)$$

Burada  $k$  ile çerçeve sayısı,  $MAD(k)$  ile  $k$ . çerçevenin MAD değeri,  $MAD_{video}$  ile videonun ortalama mutlak sapması ifade edilmektedir.

Videonun MAD değerinin hesaplanması için ise öncelikle videoyu oluşturan her bir çerçevenin MAD değerinin (10) denklemine göre ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Hesaplanan bu değerlerin toplanması ile videonun ortalama mutlak sapma değeri elde edilir. Video kontrastının hesaplanması ise  $MAD_{video}$  değerinin video boyutu ve çerçeve sayısı ile normalize edilmesiyle hesaplanır (Nur vd., 2011, 2012, 2014). Buna göre video kontrastının hesaplanması aşağıdaki şekilde formülize edilir;

$$C = \frac{MAD_{video}}{Video\ Boyutu \times Çerçeve\ Sayısı} \quad (11)$$

Burada  $C$ , videonun kontrast oranını ifade etmektedir.

## 2.3. Derinlik Haritası İşlemleri

Uzamsal çözünürlük arttıkça video kalitesinin ve izleyicideki derinlik algısının arttığı bilinmektedir. Video kalitesindeki ve derinlik algısındaki artış, derinlik haritasının yapısal karmaşıklığı (structural complexity) ile ilişkilidir.

### 2.3.1. Yapısal Özellik Seviyesi (SFL – Structural Feature Level)

Bir videonun yapısal özellik ölçümü, videodaki çerçevelerin yapısal bozulma miktarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Uzamsal ve kalite ölçeklenebilirlik parametreleri değiştirildiğinde (örneğin upsampling ve downsampling işlemleri, nicemleme parametrelerinin değiştirilmesi uygulandığında) videonun çerçevelerindeki nesnelere ve sahnelerdeki arka planlarda bulanıklaşma, bloklanma gibi kusurlar meydana gelir. Bu durumda eğer bir videoda nesne miktarı fazla ise çerçevelerdeki yapısal bozulma miktarı da fazla olur. Dolayısıyla bir çerçevedeki yapısal bozulmayı gösteren en dikkat çekici özellik, o çerçevedeki nesnelere sınırlarını karakterize eden konturlardır. Konturlar, nesnelere sınırlarını karakterize ettiği için Canny, Sobel gibi kenar belirleme algoritmalarından yararlanarak kenar bilgilerini ortaya çıkarmak gerekmektedir (Peters, 2016). Bu çalışmada nesnelere kenarlarını tespit etmek için Canny kenar belirleme algoritmasından yararlanılmıştır.

Bir videonun yapısal özellik seviyesi (SFL) ise çerçevelerdeki kenar bilgisi taşıyan piksel sayısı ile doğru orantılıdır. Buna göre videonun SFL değeri aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$SFL = \frac{\sum_{k=1}^{\text{çerçeve sayısı}} \delta(k)}{\text{Çerçeve sayısı} \times \text{Uzamsal Çözünürlük}} \quad (12)$$

Burada  $\delta(k)$  ile k. çerçevedeki kenar pikseli sayısı ifade edilmektedir.

## 3. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

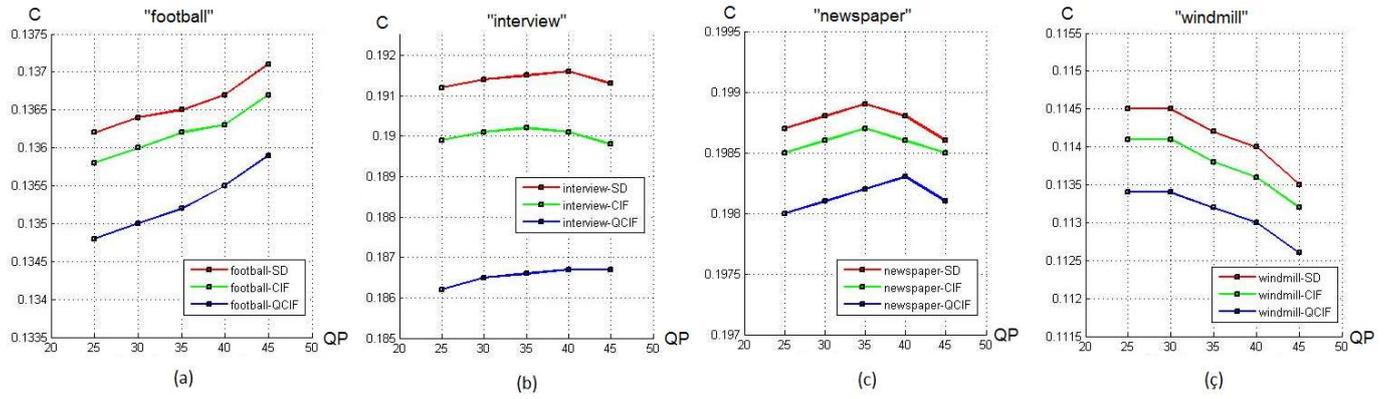
Bu çalışmada her birisi birbirinden farklı uzamsal çözünürlüklere sahip ve farklı nicemleme parametreleriyle (25, 30, 35, 40 ve 45) kodlanmış renkli videolar (football, interview, newspaper ve windmill) ve bunlara ait aynı özelliklerdeki derinlik haritaları bilinear interpolasyon tekniği kullanılarak uzamsal çözünürlüğü SD (704x576), CIF (352x288) ve QCIF (176x144) olan renkli videolar ve derinlik haritaları başarı ile elde edilmiştir. Elde edilen SD, CIF ve QCIF boyutlarındaki renkli videolar üzerinden kontrast ölçümleri, derinlik haritaları üzerinden ise yapısal özellik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları alt başlıklar altında verilecek ve sonrasında tartışmalar bölümünde ölçüm sonuçlarının analizi yapılacaktır.

### 3.1. Renkli Video Kontrast Ölçümleri

SD, CIF ve QCIF olarak yeniden boyutlandırılmış ve farklı nicemleme parametreleriyle (25, 30, 35, 40 ve 45) kodlanmış renkli videolardan elde edilen kontrast ölçümleri Tablo 1’de, her renkli video için elde edilen kontrast ölçümleri grafiksel olarak Şekil 5’te verilmektedir.

**Tablo 1.** Kontrast Ölçümleri.

Videonun Adı ve Boyutu	Nicemleme Parametresi				
	Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
football_SD	0,1362	0,1364	0,1365	0,1367	0,1371
football_CIF	0,1358	0,1360	0,1362	0,1363	0,1367
football_QCIF	0,1348	0,1350	0,1352	0,1355	0,1359
interview_SD	0,1912	0,1914	0,1915	0,1916	0,1913
interview_CIF	0,1899	0,1901	0,1902	0,1901	0,1898
interview_QCIF	0,1862	0,1865	0,1866	0,1867	0,1867
newspaper_SD	0,1987	0,1988	0,1989	0,1988	0,1986
newspaper_CIF	0,1985	0,1986	0,1987	0,1986	0,1985
newspaper_QCIF	0,1980	0,1981	0,1982	0,1983	0,1981
windmill_SD	0,1145	0,1145	0,1142	0,1140	0,1135
windmill_CIF	0,1141	0,1141	0,1138	0,1136	0,1132
windmill_QCIF	0,1134	0,1134	0,1132	0,1130	0,1126



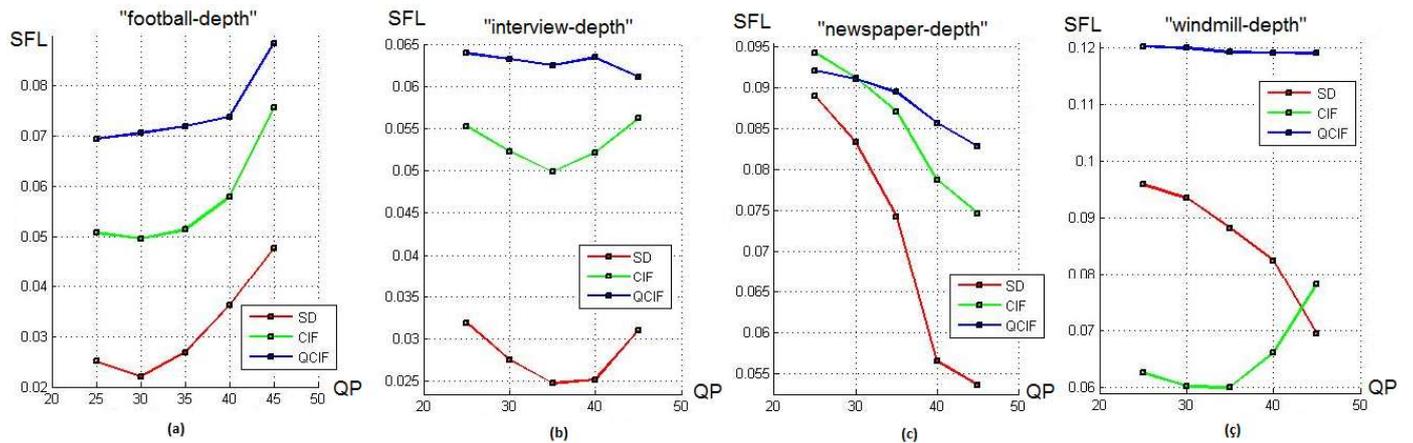
Şekil 5. (a) Football; (b) Interview; (c) Newspaper; (ç) Windmill için video boyutu – nicemleme parametresi – kontrast değişimi.

### 3.2. Derinlik Haritası SFL Ölçümleri

SD, CIF ve QCIF olarak yeniden boyutlandırılmış ve farklı nicemleme parametreleriyle (25, 30, 35, 40 ve 45) kodlanmış derinlik haritalarından elde edilen SFL ölçümleri Tablo 2’de, her bir derinlik haritası için elde edilen SFL ölçümleri grafiksel olarak Şekil 6’da verilmektedir.

Tablo 2. Derinlik Haritası SFL Ölçümleri.

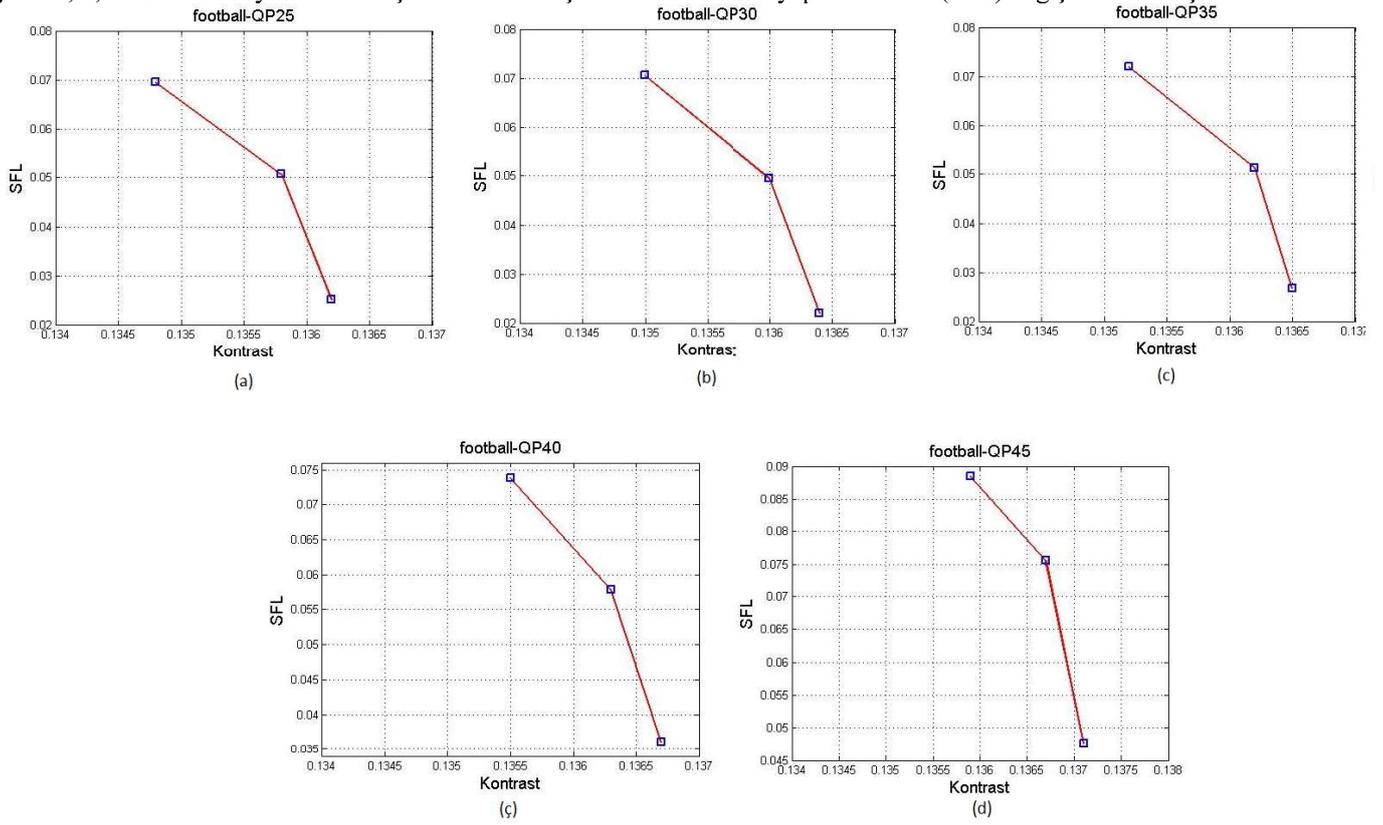
Derinlik Haritası Adı ve Boyutu	Nicemleme Parametresi				
	Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
football_SD	0,0251	0,0220	0,0268	0,0361	0,0476
football_CIF	0,0508	0,0496	0,0514	0,0579	0,0756
football_QCIF	0,0695	0,0706	0,0720	0,0739	0,0885
interview_SD	0,0319	0,0276	0,0248	0,0252	0,0310
interview_CIF	0,0553	0,0523	0,0499	0,0522	0,0562
interview_QCIF	0,0639	0,0632	0,0625	0,0634	0,0611
newspaper_SD	0,0890	0,0834	0,0743	0,0565	0,0536
newspaper_CIF	0,0943	0,0912	0,0871	0,0788	0,0747
newspaper_QCIF	0,0921	0,0911	0,0895	0,0857	0,0829
windmill_SD	0,0959	0,0935	0,0882	0,0824	0,0694
windmill_CIF	0,0626	0,0602	0,0600	0,0661	0,0781
windmill_QCIF	0,1202	0,1199	0,1192	0,1191	0,1190



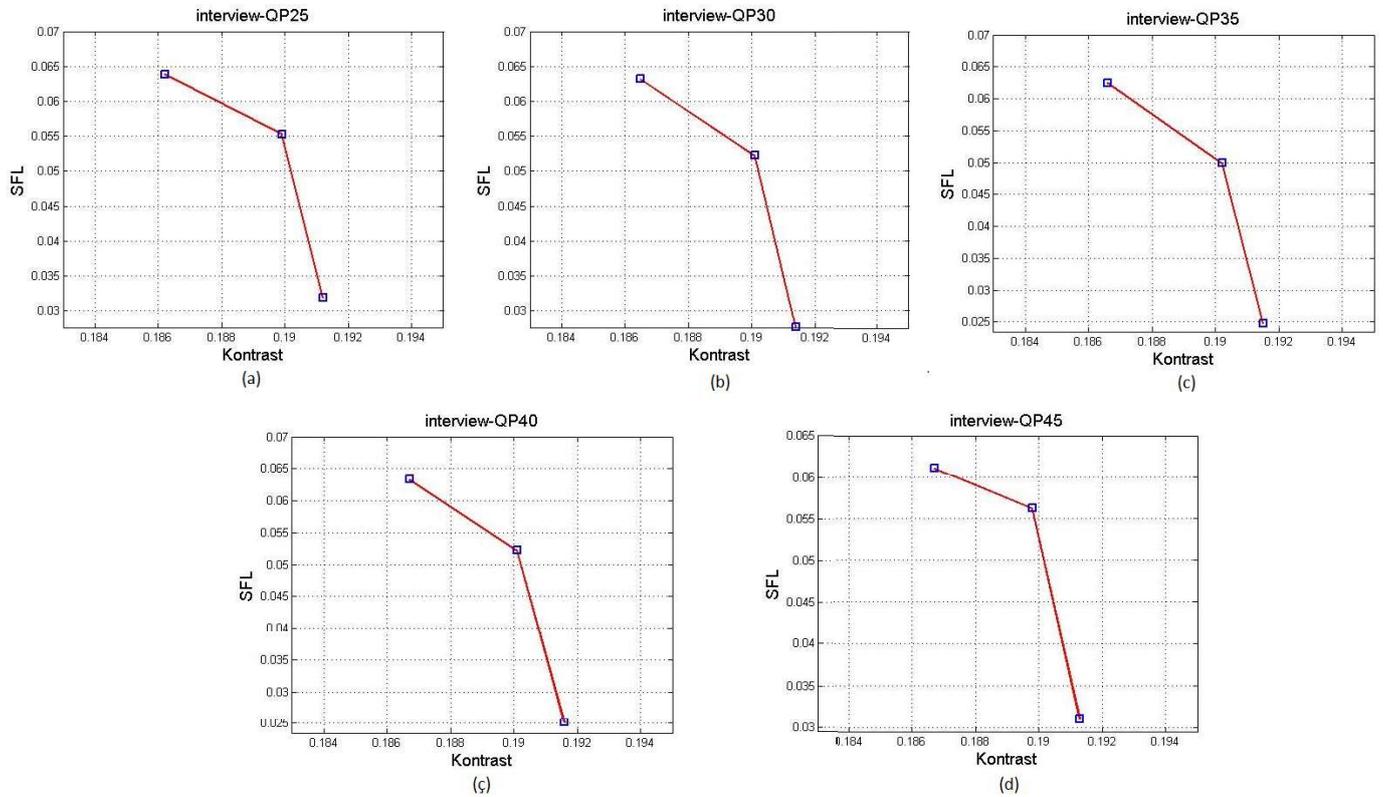
Şekil 6. (a) Football; (b) Interview; (c) Newspaper; (ç) Windmill için derinlik haritası boyutu – nicemleme parametresi – SFL değişimi.

### 3.3. Kontrast – Yapısal Özellik (SFL) Değişimi

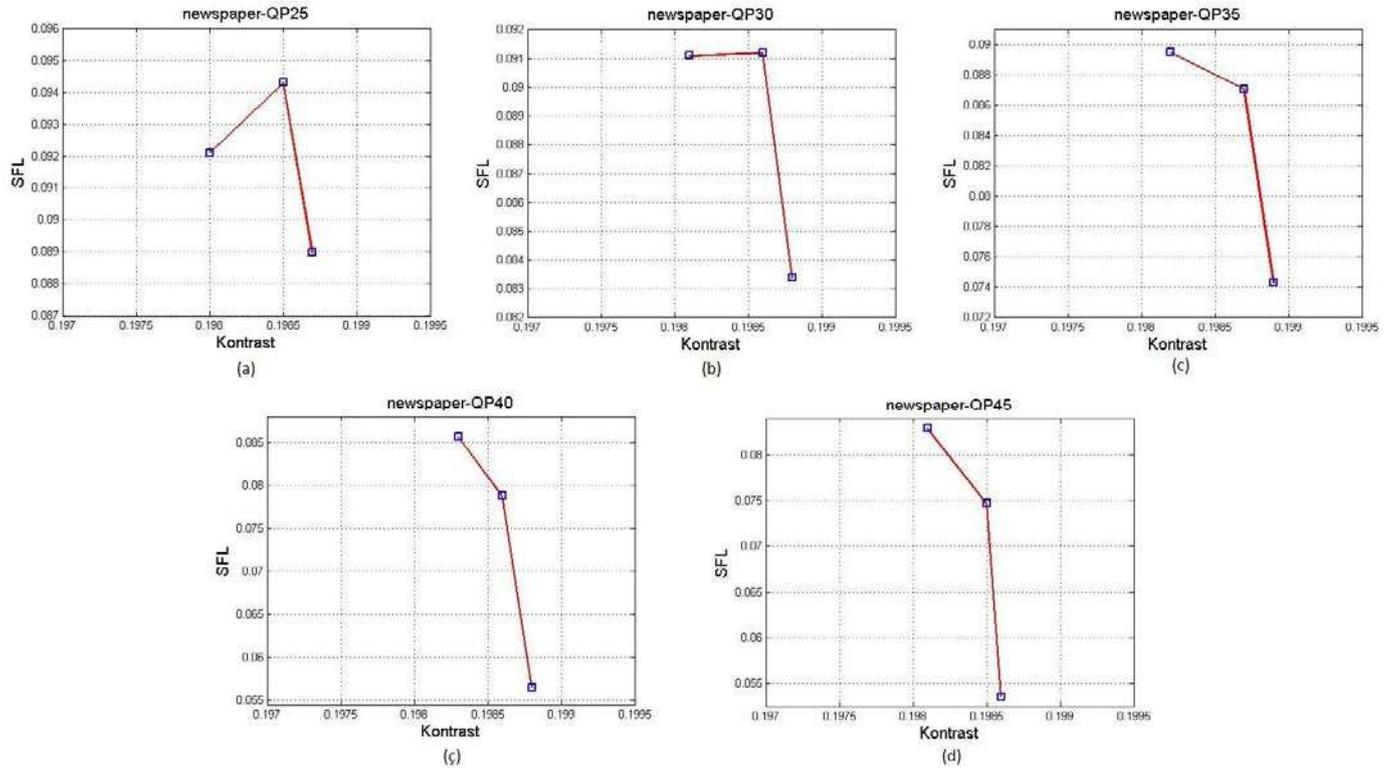
Şekil 7, 8, 9 ve 10’da boyutlandırılmış her bir video için kontrast oranı – yapısal özellik (SFL) değişimi verilmiştir.



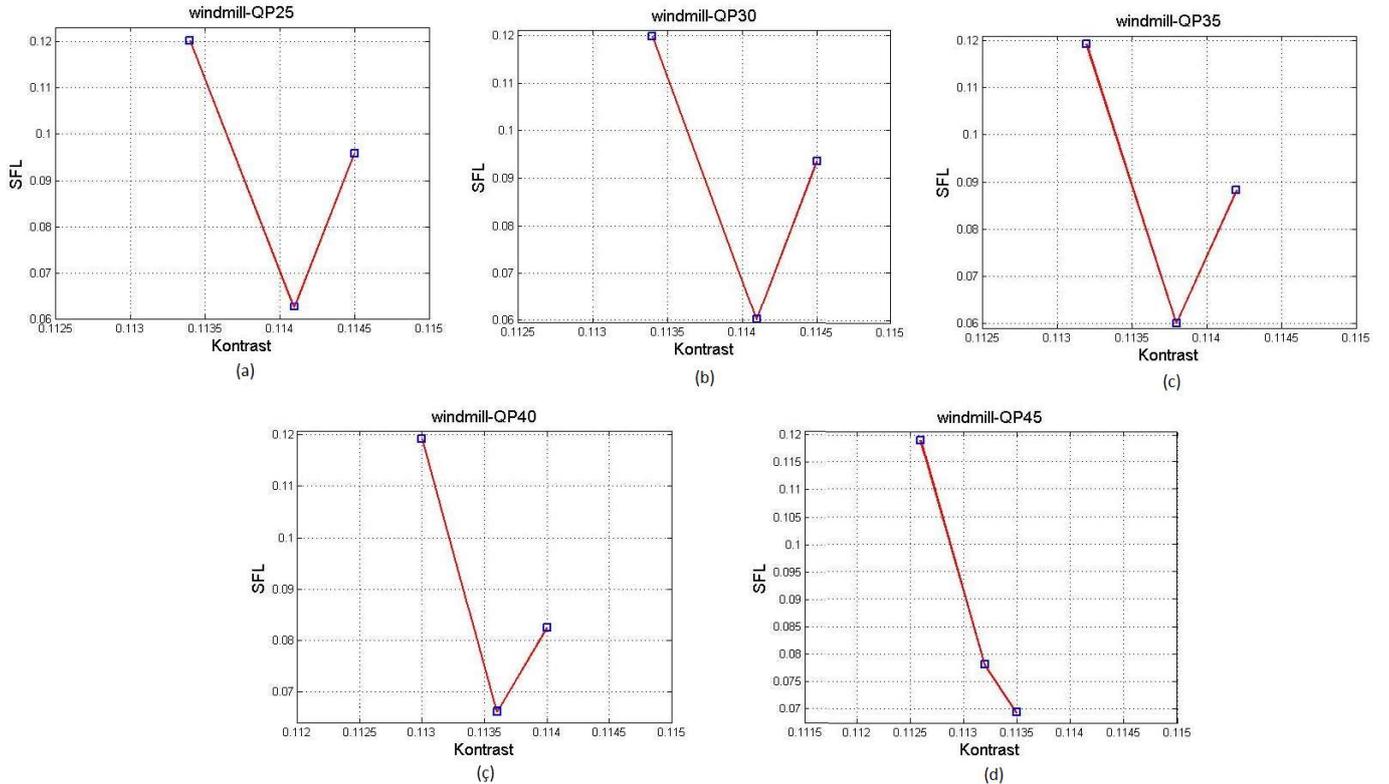
Şekil 7. Football videosu kontrast – SFL değişimi.



Şekil 8. Interview videosu kontrast – SFL değişimi.



Şekil 9. Newspaper videosu kontrast – SFL değişimi.



Şekil 10. Windmill videosu kontrast – SFL değişimi.

### 3.4. Tartışmalar

SD, CIF ve QCIF olarak boyutlandırılmış renkli videolardan alınan kontrast ölçümlerine göre, belli bir video için uzamsal çözünürlüğü fark etmeksizin (örneğin SD, CIF veya QCIF çözünürlüğündeki “interview” videosu) nicemeleme parametresinin değeri arttıkça kontrast değerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Ancak aynı nicemeleme parametresi değeri ile kodlanmış farklı uzamsal çözünürlüklerdeki bir videoda (örneğin QP=25 olan SD, CIF ve QCIF çözünürlüğündeki “interview” videosu) uzamsal çözünürlük azaldıkça kontrast değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Yani uzamsal çözünürlük sabitken nicemeleme parametresinin değişmesi kontrast oranını etkilemezken, uzamsal çözünürlük SD’den QCIF’e doğru azaldıkça kontrast oranı azalmaktadır. Ayrıca “interview” ve “newspaper” videolarında nicemeleme parametresi artarken kontrast oranlarının hafif yükselme gösterdikten sonra düştüğü, “football” videosunda nicemeleme parametresi arttıkça kontrast oranlarının yükseldiği, “windmill” videosunda ise nicemeleme parametresi artarken kontrast oranlarının düşüş gösterdiği görülmüştür.

SD, CIF ve QCIF olarak boyutlandırılmış derinlik haritalarından hesaplanan yapısal özellik değerlerine göre, farklı uzamsal çözünürlüklerde olan ve aynı nicemeleme parametresi değeri ile kodlanmış derinlik haritalarında (örneğin QP=25 ile kodlanmış SD, CIF ve QCIF çözünürlüğündeki “football” derinlik haritaları) uzamsal çözünürlük SD’den QCIF’e düşerken yapısal özellik değerinin genel olarak yükseldiği gözlemlenmiştir. Ancak aynı uzamsal çözünürlükte olan ve farklı nicemeleme parametreleri ile kodlanan derinlik haritalarında hesaplanan yapısal özellik değerlerinin “football” ve “interview” derinlik haritalarında belli bir nicemeleme parametresine kadar düşüş gösterdikten sonra tekrar yükselmeye başladığı, “newspaper” derinlik haritasında nicemeleme parametresi arttıkça yapısal özellik değerlerinin düşüş gösterdiği, “windmill” derinlik haritasında ise yapısal özellik değerlerinin QCIF’te hemen hemen değişmediği, CIF’te hafif bir düşüş gösterdikten sonra yükseldiği, SD’de ise düştüğü görülmüştür.

Renkli videolardan elde edilen kontrast oranları ile bu videolara ait derinlik haritalarından elde edilen yapısal özellik bilgileri birlikte dikkate alındığında, yapısal özellik değeri – kontrast oranı eğrisinin nicemeleme parametreleri farklı olsa da benzerlik gösterdiği, ancak uzamsal çözünürlüğün önemli bir etken olduğu anlaşılmaktadır.

### 4. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Elde edilen ölçümler ve grafikler incelendiğinde;

- Uzamsal çözünürlük arttıkça kontrast artmaktadır,
- Uzamsal çözünürlük arttıkça yapısal bozulma miktarı artmakta ve SFL değeri azalmaktadır,
- Nicemeleme parametresinin artması yapısal bozulmayı artırdığından SFL değeri azalmaktadır,
- Nicemeleme parametresinin değişmesi kontrast oranını etkilememektedir.

Buna göre çalışmalardan elde edilen sonuçlar; nicemeleme parametresi, kontrast, uzamsal çözünürlük ve yapısal özellik bilgilerinin birlikte dikkate alınarak oldukça verimli bir nesnel 3B VKD metriği oluşturulabileceğini göstermektedir.

Öte yandan, günümüzde 3B videolar için geliştirilmiş bir nesnel kalite metriğinin halen var olan eksikliğini giderilerek yüksek maliyetli, uzun zaman alan ve uygulanması güç öznel testlere bağımlılığın mümkün olduğunca azaltılmasının 3B video teknolojilerindeki gelişmelere ivme kazandıracak daha fazla araştırmanın yapılmasına yardımcı olacağı aşikârdır.

Bu düşüncelerle İGS ile doğrudan ilişkili olan nicemeleme parametresi, kontrast, uzamsal çözünürlük ve yapısal özellik bilgileri dikkate alınarak yapılan bu araştırmanın sonuçları, bir yandan nesnel ve verimli bir 3B VKD metriği geliştirilmesine yönelik spesifik bir öneri getirirken diğer yandan da 3B VKD metriği geliştirilmesine yönelik gelecekte yapılacak yeni çalışmalarda İGS ile ilişkili başka parametrelerin dikkate alınmasının önemini de göstermektedir.

### REFERANSLAR

- Altuntaş, C. & Çorumluoğlu, Ö. (2002), Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme ve RSImage Yazılımı, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30.Yıl Sempozyumu, s.435.
- Bayrak, H., Yılmaz, G.N. & Tuna, E. (2014), 2B Video+Derinlik Haritası Tabanlı 3B Videoda Z-Yönünde Hareketin Ölçümü, 2014 IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2014), s.1043.
- Doma, D. (2008), Comparison of Different Image Interpolation Algorithms, West Virginia Üniversitesi Mühendislik ve Mineral Kaynakları Fakültesi Bilgisayar Bilimleri ve Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, s.5.
- Erten, M.Y. (2016), 2-Boyutlu Video ve Derinlik Haritası Temelli 3-Boyutlu Video Kalite Değerlendirmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, s.19.
- Fadnavis, S. (2014), Image Interpolation Techniques in Digital Image Processing: An Overview, International Journal of Engineering Research and Applications, Volume:4, Issue:10, Part:1, s.71.
- Han, D. (2013), Comparison of Commonly Used Image Interpolation Methods, 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013), s.1556.

Nur, G., Arachchi, H.K., Doğan, S. & Kondo, A.M. (2012), Advanced Adaptation Techniques for Improved Video Perception, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume:22, Issue:2, p.236.

Nur, G., Arachchi, H.K., Doğan, S. & Kondo, A.M. (2011), Extended VQM Model for Predicting 3D Video Quality Considering Ambient Illumination Context, 2011 3DTV Conference: The True Vision – Capture, Transmission and Display of 3D Video.

Nur, G., Arachchi, H.K., Doğan, S. & Kondo, A.M. (2014), 3D Video Bit Rate Adaptation Decision Taking Using Ambient Illumination Context, Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 17, Issue 3, p.111.

Peters, R.A. (2016), EECE 4353 Image Processing Lecture Notes: Resizing Images, Vanderbilt University, s.53-62.

Soysal, T. & Şahinbaşkan, T. (2003), Baskı Hazırlık Aşamasında Çözünürlük Hesapları ve Baskı Kalitesine Etkisi, 1.Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, s.18.



## Yeni Bir Sezgisel Yöntem ile Tek Blok Tek Koridor Depo Yerleştirme Probleminin Çözümü

### The Solution of One-block One-Aisle Storage Allocation Problem by a New Heuristic Method

Ercan ŞENYİĞİT<sup>1</sup>, Ayşegül BOZDOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu / Uluslararası Ticaret ve Lojistik, 38039, Kayseri

Başvuru/Received: 24/10/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

İnternet üzerinden yapılan toplam alışveriş tutarı her yıl artmaktadır. İnternet üzerinden ticaretin artması ile daha küçük miktarlarda daha fazla çeşitte ürün sipariş etme talebi ön plana çıkmaktadır. Bu durum, literatürde müşteri odaklı sipariş verme olarak adlandırılmaktadır. İnternet üzerinden ticaret yapan firmaların rekabette yarışabilmelerinin en temel yeterliliği ise etkin depo yönetiminin sağlanmasıdır. Bu nedenle şirketler depo yönetimine gittikçe daha fazla önem vermektedir. Bu çalışmada müşteri odaklı sipariş toplama yapılan tek blok tek koridor depo yerleştirme problemi çözümünde yeni bir sezgisel yöntem sunulmuştur. Geliştirilen sezgisel yöntem sipariş ve öğelerin benzerliklerini dikkate almaktadır. Bu yeni sezgisel yöntem literatürde var olan veri seti kullanılarak daha önceden geliştirilmiş olan sipariş öğe miktarı yöntemi çözümü ve önceki çalışmadan farklı olarak herhangi bir yonteme dayanmayan rastgele belirlenen bir çözüm ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, dikkate alınan veriye göre yeni geliştirilen sezgisel yöntemin daha kısa toplama mesafesinde çözüm bulduğu belirlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Depo yönetimi, atama problemi, depo yerleştirme problemi, sezgisel yöntem, öğeler arası benzerlik.”

#### Abstract

The total amount of shopping on the internet is increasing every year. The demand for ordering more variety of products in smaller quantities with the increase of the trade on the internet comes to the forefront. This is referred to in the literature as customer-focused ordering. The most basic competence of companies that trade online is to provide efficient warehouse management. For this reason, companies are increasingly paying more attention to warehouse management. In this study, a new heuristic method has been presented to solve the problem of one block one aisle storage allocation with customer-focused ordering. This new heuristic method has been compared with the previously developed Order Item Quantity method solution and unlike previous work, a random solution using the existing data set in the literature. As a result of the comparison, it was determined that the newly developed heuristic method, based on the consideration given, found a solution at a shorter picking distance.

#### Key Words

“Warehouse management, assignment problem, storage allocation problem, heuristic, order item association.”

## 1. GİRİŞ

Depolama operasyonları arasında, sipariş toplama operasyonun literatürde en önemli operasyon olduğu belirtilmiştir (Liu, 1999). Gelişen bilgi sistemlerinin kullanımı rekabeti üst seviyelere çıkarmıştır. İnternet üzerinden alışveriş buna örnek olarak verilebilir. İnternet üzerinden alışveriş imkânı sağlayan modern perakende sistemleri yüksek stok devir hızı gerektirir, hızlı ve doğru bir ikmal sistemi temeline dayanmaktadır. İnternet üzerinden yapılan toplam alışveriş tutarı her yıl artmaktadır. İnternet üzerinden ticaret yapan firmaların rekabette yarışabilmelerinin en temel yeterliliği ise etkin depo yönetiminin sağlanmasıdır (Chuang ve arkadaşları, 2012; Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018). Etkin depo yönetimine sahip firmalar internet üzerinden gelen siparişleri doğru ve zamanında sağlayabilmelidir. Bu nedenle şirketler, özellikle internet üzerinden satış yapan şirketler, depo yönetimine gittikçe daha fazla önem vermektedir. Çünkü zamanında ve doğru bir şekilde müşteri siparişleri müşterilere gönderilemez ise müşteri kayıpları yaşanabilir ve işletme zarar edebilir. Bunun olmaması için etkin bir depo yönetimine ihtiyaç bulunmaktadır. Elektronik sipariş verme sistemleri, perakendecilerin daha sık sipariş verme eğiliminde olmalarına ve daha az miktarda sipariş içeren sipariş emri vermelerine neden olmuştur (Örneğin ilaç depoları gibi).

Günümüzde müşterilerin verdiği siparişler, genellikle çok sayıda çeşitli öge içermekte, fakat miktar olarak az sayıda olmaktadır. Bu durum toplam taşıma mesafesini arttırır. Bu sonuca adapte olmak için işletmeler sıkı bir rekabete girmişlerdir. Rekabet, depo yönetimini daha hayati öneme sahip bir role sokmuştur. Bu nedenle işletmeler depo yönetimi kararlarını en iyilemek zorunda kalmışlardır. Depo yönetiminde temel göstergelerden biri müşteri siparişlerini hazırlarken gidilen toplam taşıma mesafesini en aza indirmektir. Burada ele alınan problem, küçük parti büyüklükleri, çeşitlendirilmiş içerikler ve kısa tepki süreleri ile siparişlerle karşı karşıya olan, mevcut sipariş bazında bir deponun yerleştirme problemidir.

Bu çalışma, Şenyiğit ve Bozdoğan tarafından tek blok tek koridora sahip bir depoda müşteri odaklı (çok ögeli az miktartlı) sipariş toplama probleminin çözümü için sunulmuş olan sezgisel yaklaşımı (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018) rastgele elde edilen bir çözüm ile karşılaştırmaktadır. Doğru bir karşılaştırma yapabilmek için aynı veriler kullanılmıştır. Tek blok tek koridora sahip bir depo örneği şekil-1'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, şeklin ortasında bir koridor olduğu görülmekte ve bu koridorun her iki tarafında da depo rafları bulunmaktadır. Bu raflarda öğeler (hammadde, yarı mamul, ürün vb.) depolanmaktadır.

Literatürde, bu durum öğelerin benzerliklerine göre gruplandırılması olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel olarak aile gruplama popüler olan kesikli p-medyan problemine dayanmaktadır. Liu (1999) çalışmasında kesikli p-medyan problemini sunmuştur. Lin ve Lu (1999) çalışmalarında iki aşamalı sipariş toplama sezgisel yöntemi geliştirmişlerdir. Liu (2004) çalışmasında, sipariş toplama probleminde hacim tabanlı bir politikanın üstünlüğünü, toplama mesafesini düşürürken kanıtlamıştır. De Koster ve arkadaşları (2007) öğeler arasındaki benzerlikleri dikkate alarak aile gruplama fikrini geliştirmiştir. Chuang ve arkadaşları (2012) özelleştirilmiş sipariş toplama problemi için iki aşamalı Kümeleme-Atama Problemi Modeli (CAPM) önermişlerdir (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018).

Diaz (2016) çalışmasında müşteri talep kalıplarını ve sipariş kümelemesini dikkate alan bir yerleşim çözümü oluşturmak için kuadratik bir tam sayı programlama temelli bir sezgisel en iyileme yöntemi kullanmıştır. Li ve arkadaşları (2017) çalışmalarında, çoğunlukla hızlı hareket eden tüketim mallarına odaklanan Çin'in ünlü ve tipik bir online perakendecisine dayanan sipariş toplama miktarının ve toplayıcı rota mesafesinin en aza indirmesinin eşzamanlı en iyilemesini gerçekleştirmişlerdir. Dijkstra ve Roodbergen (2017) çalışmalarında yönlendirme yöntemlerinin ve depolama konumu atamasının işlem performansına birleşik etkilerine odaklanmışlardır. Accorsi ve arkadaşları (2018) çalışmalarında hem hassas hem de stok güvenliği hedeflerini karşılıklı olarak yönetmeyi sağlayan, sıcaklığa duyarlı ürünler için geliştirilmiş orijinal bir depo atama ilkesi önermişlerdir. Şenyiğit ve Bozdoğan (2018) çalışmalarında tek blok tek koridor depo yerleştirme problemi için yeni bir sezgisel yöntem önermişlerdir ve bir örnek üzerinden sipariş öge miktarı yöntemi ile geliştirilen sezgisel yöntemin karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu çalışma, Şenyiğit ve Bozdoğan (2018) çalışmasının, rastgele elde edilen bir çözüm ile karşılaştırmasını da içeren genişletilmiş halidir.

Literatürde, tek blok tek koridor depo yerleştirme problemi çalışılmış bir problemdir. Bu problem türünde temel performans kriteri müşteri siparişlerini hazırlarken gidilen toplam taşıma mesafesini en aza indirmektir. Bu problemin çözümü için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere örnek olarak sipariş öge miktarı yöntemi örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada müşteri odaklı sipariş toplama yapılan tek blok tek koridor depo yerleştirme problemi çözümünde yeni bir sezgisel yöntem sunulmuştur. Geliştirilen sezgisel yöntem sipariş ve öğelerin benzerliklerini dikkate almaktadır. Bu yeni sezgisel yöntem, literatürde var olan veri seti kullanılarak daha önceden geliştirilmiş olan sipariş öge miktarı yöntemi çözümü ile siparişlerini hazırlarken gidilen toplam taşıma mesafesi performans kriterine göre karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda, dikkate alınan veriye göre yeni geliştirilen sezgisel yöntemin daha kısa toplama mesafesinde çözüm bulduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı yeni geliştirilen sezgisel yöntemi tanıtmaktır. Şenyiğit ve Bozdoğan'ın önceki çalışmasında elde edilen sonuçları rastgele elde edilen bir çözüm ile karşılaştırmaktır.

**Terminoloji**

P (i)	Öğesi için sipariş sayısı
P (j)	Öğesi için sipariş sayısı
S	Sipariş
S <sub>ij</sub>	Öğesi indeksi; i ve j arasındaki indeks
I/O	Başlangıç Konumu
d <sub>i</sub>	Depolama birimi l 'nin başlangıç konumuna (I / O) olan mesafesi

**2. MATERYAL VE YÖNTEM**

Literatürde tek blok tek koridor depo yerleştirme problemi çözümü için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada bu yöntemlere yeni bir alternatif sunulmasına çalışılmıştır. Problemin anlaşılabilmesi ve karşılaştırmanın sadeliği için çalışmada tek örnek dikkate alınmıştır. Tablo 1'de örnek veri gösterilmiştir. Bir sonraki bölümde çalışmada dikkate alınan varsayımlar belirtilmiştir.

**2.1. Varsayımlar**

Çalışmada dikkate alınan depo, tek bloklu ve tek koridorludur. Depolama alanı ayarlanabilmektedir. Stoklanan ürünlerin boyutlarının ihmal edildiği varsayılmıştır. Depo içerisinde depolama birimlerinin aynı boyutlarda olduğu kabul edilmiştir. Depo birimleri özdeştir. Depo içerisinde siparişi toplama yolu Z harfi şeklinde hareket yolu kullanılarak tasarlandığı kabul edilmiştir. Z harfi şeklindeki harekette dikey ve yatay birim mesafeler özdeştir ve bir birimdir. Alınan siparişte çok çeşitli öğeler olduğu ve miktarının da çeşitli olduğu kabul edilmiştir. Sipariş toplama işlemine başlangıç konumundan başlanıp (Şekil 1) siparişler tamamlandığında tekrar geri başlangıç konumuna dönüldüğü kabul edilmiştir.

Performans kriteri, böyle bir depo sisteminde siparişi hazırlama toplama mesafesini en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Sipariş öğesi miktarı yöntemi ve önerilen sezgisel yaklaşımın anlatımı bir örnek (Tablo 1) üzerinden yapılmaktadır. Tablo 1 incelendiğinde toplam 10 farklı sipariş olduğu görülmektedir. Bu siparişlerin her birinin farklı sayıda öğeleri olduğu görülmektedir. Her bir öğeye ait toplam öğe tekrar sayısı ve sipariş tekrar sayıları verilmiştir (Tablo 1). Her bir siparişin içerdiği siparişteki öğe sayısı miktarı ve her bir siparişin içerdiği farklı öğe sayısı tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Örnek veri (Chuang ve arkadaşları, 2012;Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Siparişler	Öğeler								Siparişteki Öğe Miktarı	Farklı Öğe Sayısı
	1	2	3	4	5	6	7	8		
S1	5	4	3	2					14	4
S2	2	1	2						5	3
S3	1	5		3					9	3
S4	3		1	5					9	3
S5				4	1	3	5	1	14	5
S6					2		4	2	8	3
S7	9		2	5					16	3
S8	4	3		4	5				16	4
S9						5	3	6	14	3
S10	7			2	6	4			19	4
<b>Toplam öğe sayısı</b>	<b>31</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>124</b>	
<b>Öğe tekrarlanma sayısı</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		<b>35</b>

**2.2. Yeni sezgisel yaklaşım**

Geliştirilen bu yeni sezgisel yaklaşım 5 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1.Adım:** Öğeler arasındaki ilişki (öğesi indeks değerleri) hesaplanır.
- 2.Adım:** Öğeler, öğeler arasındaki öğesi indeks değerlerine göre gruplara ayrılır.
- 3.Adım:** Gruplar için depolama sırası belirlenir.
- 4.Adım:** En küçük öğesi numarası ilk, en büyük öğesi sayısı son olacak şekilde öğeler için depolama sırası belirlenir.
- 5.Adım:** Toplam taşıma mesafesi hesaplanır.

Yeni yaklaşımın ilk adımında denklem-1’de gösterilen denklem ile öge indeks değeri hesaplanır (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018). Hesaplanan katsayı, öge indeks değeri olarak adlandırılır. Denklem-1’deki  $P(i \cap j)$  ifadesi, hem  $i$  siparişi hem de  $j$  siparişindeki ortak öge sayısını ifade etmektedir.

$$S_{ij} = 1 - \frac{P(i \cap j)}{[P(i) + P(j)]} \quad (1)$$

Tablo 2’de denklem-1 kullanılarak elde edilen öge indeks değerleri gösterilmiştir. Öge indeks değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. İki öge arasında 0.5 öge indeks değeri varsa bu  $i$  ve  $j$  ögelerinin her zaman birlikte sipariş edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. İki öge arasında 1 öge indeks değeri varsa bu  $i$  ve  $j$  ögelerinin asla birlikte sipariş edilmemesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Tablo 2’deki öge indeks değerleri incelendiğinde sadece 7. ve 8. ögelerin her zaman birlikte sipariş edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. 7 ile 8 nolu ögeler arasındaki öge indeks değeri 0.5’tir. 3 nolu öge ile 5, 6, 7 ve 8 nolu ögelerin asla birlikte sipariş edilmemesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Çünkü bunlar arasındaki öge indeks değeri 1’dir. 1 nolu öge ile 2 ve 4 nolu ögelerin öge indeks değerleri 0.6’dır. 2 ile 4 nolu ögeler arasındaki öge indeks değeri 0.6’dır.

**Tablo 2.** Öge indeks değerlerinin gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

**Öge İndeks Değerleri**

Öğeler	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	<b>0.6</b>	0.6	<b>0.6</b>	0.8	0.9	1	1
2	0.6	0	0.7	0.6	0.9	1	1	1
3	0.6	0.7	0	0.7	1	1	1	1
4	0.6	<b>0.6</b>	0.7	0	0.7	0.8	0.9	0.9
5	0.8	0.9	1	0.7	0	0.7	0.7	0.7
6	0.9	1	1	0.8	0.7	0	0.7	0.7
7	1	1	1	0.9	0.7	0.7	0	<b>0.5</b>
8	1	1	1	0.9	0.7	0.7	<b>0.5</b>	0

Yeni sezgisel yaklaşımın ikinci adımında öge indeks değerleri dikkate alınarak ögelerin gruplara ayrılması gerekmektedir. Bu değerlere göre 3, 5 ve 6 nolu ögeler ayrı birer grup olmalıdır. 1, 2 ve 4 nolu ögeler beraber bir gruba ve son olarak 7 ile 8 nolu ögeler beraber bir grup oluşturmaktadır. Grup oluşturmalarında kriter, öge indeks değerleridir.

Gruplar, öge indeks değerlerine göre oluşturulmaktadır. Öge indeks değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. İki öge arasında 0.5 öge indeks değeri varsa bu  $i$  ve  $j$  ögelerinin her zaman birlikte sipariş edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. İki öge arasında 1 öge indeks değeri varsa bu  $i$  ve  $j$  ögelerinin asla birlikte sipariş edilmemesi gerektiği anlamına gelmektedir. Tablo 2 incelendiğinde 0.5 öge indeks değerine sahip ögelerin 7 ve 8 nolu ögeler olduğu görülmektedir. Bu nedenle 7 ve 8 nolu ögeler bir grup oluşturmuştur. 0.6 öge indeks değerine sahip 8 farklı değer tablo 2’de belirlenmiştir. Tablo 2’nin 1. Satırına bakalım. Bu sırada 1 nolu ögenin diğer ögeler ile birlikte öge indeks değerleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre, 1 ile 2,3 ve 4 nolu (0.6) ögelerin beraber gruplanması gerekmektedir. 2,3 ve 4 nolu ögelerinin diğer ögeler ile birlikte öge indeks değerleri dikkate alındığında 3 nolu ögenin 2 ve 4 nolu ögelerle birlikte öge indeks değeri dikkate alındığında (0.7) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle 1,2 ve 4 nolu ögeler beraber gruplanmıştır. Geriye kalan 3, 5 ve 6 nolu ögelerin öge indeks değerleri 1 olduğu için her biri ayrı bir grup olarak değerlendirilmiş ve tablo 3’te gösterilmiştir. Bu şekilde toplam 5 farklı grup belirlenmiştir.

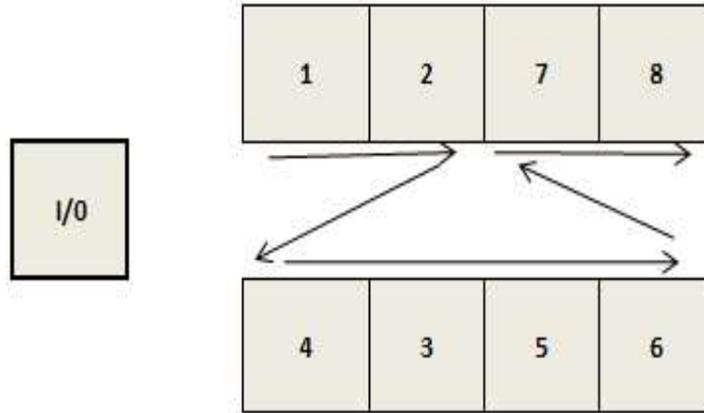
Üçüncü adımda ögelerin depo içerisindeki sıralamalarının yerlerinin belirlenmesi gerekir. Yeni geliştirilen sezgisel yöntem, Tablo 3’te gösterilen gruplamaya göre depo içerisindeki sıralamanın oluşmasını öngörmektedir. Geliştirilen yeni sezgisel yöntemde sıralama, ögelerin numaralarına göre yapılmaktadır. Geliştirilen yeni sezgisel yöntemde, numarası küçük olan ögelerin önceliği bulunduğu varsayılmıştır. Yeni geliştirilen sezgisel yöntem, tablo 1’deki örnek veriye göre geliştirilen çözümün toplam mesafesini hesaplar. Tablo 4’te ise yeni sezgisel yöntemde ögelerin depo içerisinde sıralarının gösterilmesi yapılmıştır. Depo içerisinde siparişi toplama yolu Z harfi şeklinde olacağı için 4 ve 3 nolu ögelerden sonra 5 ve 6 nolu ögeler gelecektir. Z hareketi Şekil 1’de bu sıralama görsel olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 3.** Gruplar ve bu grupların öğelerinin gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Grup No	Öğeler
1	1, 2, 4
2	3
3	5
4	6
5	7, 8

**Tablo 4.** Yeni sezgisel yöntemle göre öğelerin depo içerisinde sıralarının gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Sıra No	Öğe No
1	1
2	2
3	4
4	3
5	5
6	6
7	7
8	8



**Şekil 1.** Yeni sezgisel yöntemle göre depo içerisinde öğelerin sıralamasının gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

4. adımda, en küçük öğe numarası ilk, en büyük öğe sayısı son olacak şekilde öğeler için depolama sırası belirlenir. Şekil-1’de bu sıralama görsel olarak gösterilmiştir. Son adım olarak da toplam taşıma mesafesi hesaplanır. Tablo-7’de 74 birim toplam taşıma mesafesi olduğu gösterilmiştir.

### 2.3. Sipariş öğe miktarı yöntemi (Order Item Quantity)

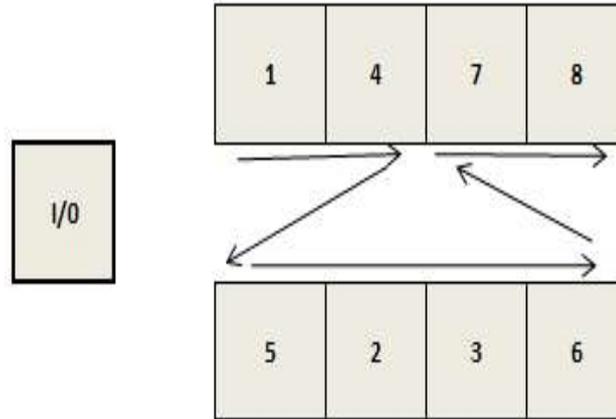
Sipariş ve öğe istatistiklerine dayanan bir depo yerleştirme yöntemidir. Bu yöntemin amacı çok tekrar edilen öğelerin girişe yakın yerlere yerleştirilmesini, az tekrar eden öğelerin ise girişe uzak yerlere yerleştirilmesini sağlamaktır. Tablo 5’te sipariş öğe miktarı yönteminde kullanılan öğe tekrar istatistikleri gösterilmektedir (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018). Sipariş öğe miktarı yöntemine göre belirlenen öğelerin depo içerisinde sıraları Tablo 6’da gösterilmiştir. Şekil 2’de ise bu sıralama depo içerisinde nasıl olduğu gösterilmiştir (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018).

**Tablo 5.** Sipariş öge miktarı yönteminde kullanılan öge tekrar istatistikleri (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Sıra	Öge	Tekrar Sayısı	%
1	1	7	0.20
2	4	4	0.11
3	5	4	0.11
4	2	7	0.20
5	3	4	0.11
6	6	3	0.09
7	7	3	0.09
8	8	3	0.09
<b>Toplam</b>		35	1

**Tablo 6.** Sipariş öge miktarı yöntemine göre öğelerin depo içerisinde sıralarının gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Sıra No	Öge No
1	1
2	4
3	5
4	2
5	3
6	6
7	7
8	8



**Şekil 2.** Sipariş Öge Miktarı yöntemine göre depo içerisinde öğelerin sıralamasının gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

### 3. BULGULAR

Bu bölümde çalışmada elde edilen bulgular açıklanacaktır. Önerilen yeni sezgisel yöntemle göre belirlenen yerleşime göre siparişler toplanır toplam taşıma mesafesi hesaplanır (Tablo 7). Tablo 7'deki 1 nolu siparişi dikkate alalım. Bu siparişte 4 öge toplanacaktır. Sıralama 1, 2, 3 ve 4 nolu öğelerin toplanması ile tamamlanacaktır. Başlangıçtan 1 nolu depo birimine gelmek için 1 birim mesafe kat edilecektir. 1 nolu depo biriminden 2 nolu depo birimine gelmek için 1 birim mesafe gidilecektir. Sırada 3 nolu ögenin toplanması bulunmaktadır. 3 nolu koridor karşı tarafta olduğu için Z şeklindeki hareketten dolayı 1 birim karşıya geçme mesafesi ve 4 nolu depo biriminden 3 nolu depo birimine ulaşmak için 1 birim mesafe olmak üzere toplam 2 birim mesafe gidilmesi gerekmektedir.

**Tablo 7.** Yeni sezgisel yöntemle göre çözümün gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

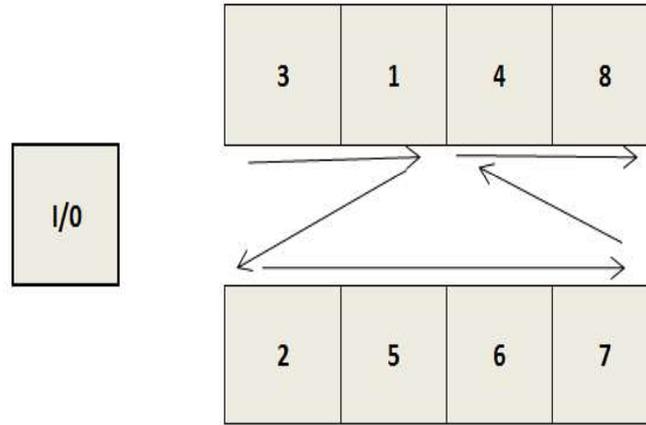
Siparişler	Siparişlerin Sırası	Öğeler								Bitiş	Mesafe
		1	2	3	4	5	6	7	8		
S1	1,2,3,4	1	1	2	1					1	6
S2	1,2,3	1	1	2						2	6
S3	1,2,4	1	1		1					1	4
E4	1,3,4	1		3	1					1	6
S5	4,5,6,7,8				1	2	1	1	1	4	10
S6	5,7,8					3		2	1	4	10
S7	1,3,4	1		3	1					1	6
S8	1,2,4,5	1	1		1	2				3	8
S9	5,6,7					3	1	1		3	8
S10	1,4,5,6	1			2	2	1			4	10
<b>Toplam</b>										74 Birim	

**Tablo 8.** Sipariş öge miktarı yöntemine göre çözümün gösterilmesi (Şenyiğit ve Bozdoğan, 2018)

Siparişler	Siparişlerin Sırası	Öğeler								Bitiş	Mesafe
		1	2	3	4	5	6	7	8		
S1	1,2,3,4	1	3	1	3					2	10
S2	1,2,3	1	3	1						3	8
S3	1,2,4	1	3		3					2	9
S4	1,3,4	1		6	3					2	12
S5	4,5,6,7,8				2	1	3	1	1	4	12
S6	5,7,8					1		4	1	4	10
S7	1,3,4	1		6	3					2	12
S8	1,2,4,5	1	3		3	1				1	9
S9	5,6,7					1	3	1		3	8
S10	1,4,5,6	1			1	1	3			4	10
<b>Toplam</b>										100 Birim	

Çalışmada karşı koridora geçme mesafesinin 1 birim olduğu kabul edilmiştir. 3 ve 4 nolu depo birimleri yan yana oldukları için aralarındaki mesafe 1 birimdir. Böylece toplanması gereken öğeler tamamlanmıştır. Fakat başlangıç konumuna geri dönülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, 4 nolu depo biriminden başlangıç konumuna gelinmesi için 1 birim daha mesafe gidilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak bu siparişlerin toplanması için toplam 6 birim mesafe kat edilmiştir. Tablo 8'de sipariş öge miktarı yöntemi kullanılarak elde edilen çözüm gösterilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntem ile sipariş öge miktarı yöntemlerinin

çözümleri karşılaştırmada kolaylık olsun diye alt alta konulmuştur (Bakınız, tablo-7 ve tablo-8). Çalışmada kullanılan ve literatürde var olan yöntemler dışında bu problemin çözümü rastgele bir şekilde de elde edilebilir. Bu çözümün performansının kötü olacağı açıktır. Bu durumu gösterebilmek için elde edilen rastgele bir çözüm aşağıda gösterilmiştir. Bu makale çalışmasının bildiri çalışmasından farkı rastgele elde edilen veriler kullanılarak sunulan çözümün gösterilmesidir.



Şekil. 3. Rastgele bir şekilde belirlenen depo içerisinde öğelerin sıralamasının gösterilmesi

Tablo 9. Rastgele elde edilen çözümünün gösterilmesi

Siparişler	Siparişlerin Sırası	Öğeler								Bitiş	Mesafe
		1	2	3	4	5	6	7	8		
S1	1,2,3,4	2	1	2	6					2	14
S2	1,2,3	2	1	2						3	6
S3	1,2,4	2	1		4					2	10
S4	1,3,4	2		1	6					2	12
S5	4,5,6,7,8				3	2	1	1	2	4	13
S6	5,7,8					2		2	2	4	10
S7	1,3,4	2		1	6					2	12
S8	1,2,4,5	2	1		4	2				1	11
S9	5,6,7					2	1	1		3	8
S10	1,4,5,6	2			5	2	1			4	13
<b>Toplam</b>										109 Birim	

Şekil 3'te rastgele belirlenen depo içerisinde öğelerin sıralamasının yerleşimi şekilsel gösterimi yapılmıştır. Depo içerisinde şekil 3'te gösterildiği gibi yerleştirilen öğelerin, verilen siparişlere göre ve siparişlerin sırasına göre toplanması sırasında kat edilen mesafeler tablo 9'da gösterilmiştir. Buna göre toplam mesafe 109 birim olarak bulunmuştur.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ele alınan problemin çözümü için Şenyiğit ve Bozdoğan tarafından yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu geliştirilen yöntem literatürdeki veri seti kullanılarak sipariş öge miktarı yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu yeni çalışmada ise sonuçlar rastgele belirlenen bir çözüm ile karşılaştırılmıştır. Tablo 7'de yeni sezgisel yöntem kullanılarak elde edilen çözüm, Tablo 8'de ise sipariş öge miktarı yöntemi kullanılarak ve Tablo 9'da ise rastgele elde edilen çözüm gösterilmiştir. Yeni geliştirilen sezgisel yöntem 74 birim toplama mesafesine sahip iken, sipariş öge miktarı yöntemi 100 birim toplama mesafesine ve son olarak rastgele belirlenen çözüm ise 109 birim toplama mesafesine sahiptir. Bu örnek veriye göre geliştirilen yeni sezgisel yöntem sipariş öge miktarı yöntemine ve rastgele belirlenen çözüme göre daha kısa toplama mesafesinde çözüme ulaşmıştır. Bu

çalışma ile Şenyiğit ve Bozdoğan tarafından geliştirilen sezgisel yöntemin tanıtımı yapılmış, aynı örnek üzerinden sezgisel yöntemin performansının daha iyi olduğu gösterebilmek için sipariş öge miktarı yöntemi ve rastgele elde edilen çözüm ile karşılaştırması yapılmıştır.

Bu çalışma ile depo çıkışına yakın bir depolama alanına daha hızlı hareket eden gruplar atayarak, sipariş toplama mesafesinin kısaltılabileceği belirlenmiştir. Sipariş planına göre toplanan öğelerin toplam taşıma mesafeleri öğelerin raflardaki sıralamalarına göre değişmektedir. Örneğin, 3 öğeli bir sipariş planı olduğunu varsayalım. Bu öğeler 1,2 ve 3 nolu öğeler olsun. Mevcut siparişte öğelerin sıralaması arka arkaya olduğu için toplam taşıma mesafesi kısadır. Şekil-1'de 1 nolu öğenin 8 nolu öğenin yerinde olması durumunda siparişin hazırlanması için gidilecek mesafenin çok daha fazla olacağı açıktır.

İleriki çalışmalarda matematiksel modelleme ile problemin en iyi çözümünün belirlenmesine çalışılacaktır. Senaryo bazlı farklı örnek veri setleri kullanılacaktır. Bu yeni çalışmada, sipariş sayıları, öge sayıları, sipariş miktarları ve farklı öge sayıları ayrı birer faktör olarak dikkate alınacaktır. Küçük, orta ve büyük ölçekte olmak üzere 3 farklı senaryo dikkate alınması planlanmaktadır. Bu senaryolar sonucunda elde edilen sonuçlar yeni çalışmada sunulacaktır.

## REFERANSLAR

Accorsi, R., Baruffaldi, G., Manzini, R. (2018). Picking efficiency and stock safety: A bi-objective storage assignment policy for temperature-sensitive products. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 240-252. doi: 10.1016/j.cie.2017.11.009.

Chuang, Y., Lee, H., Lai, Y. (2012). Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 4, 1171-1177. doi: 10.1016/j.cie.2012.06.02.1.

De Koster, R., Le Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. doi: 10.1016/j.ejor.2006.07.009.

Diaz, R. (2016). Using dynamic demand information and zoning for the storage of non-uniform density stock keeping units. *International Journal of Production Research*, 54, 8, 2487–2498. doi: 10.1080/00207543.2015.1106605.

Dijkstra, A.S., Roodbergen, K.J. (2017). Exact route-length formulas and a storage location assignment heuristic for picker-to-parts warehouses. *Transportation Research Part E*, 102, 38–59. doi: 10.1016/j.tre.2017.04.003.

Li, J., Huang R., Dai, J. B. (2017). Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailer's warehouse in China. *International Journal of Production Research*, 55:2, 447-461. doi: 10.1080/00207543.2016.1187313.

Lin, C.-H., & Lu, I.-Y. (1999). The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *International Journal of Production Economics*, 60–61, 301–307. doi: 10.1016/S0925-5273(98)00188-1.

Liu, C. M. (1999). Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution centre. *Computers and Operations Research*, 26 (10), 989–1002. doi: 10.1016/S0305-0548(99)00026-X.

Liu, C. M. (2004). Optimal storage layout and order picking for warehousing. *International Journal of Operations Research*, 1(1), 37–46.

Şenyiğit, E., Bozdoğan, A. (2018). Tek blok tek koridor depo yerleştirme problem için yeni bir sezgisel yöntem. II. Uluslararası bilimsel ve mesleki çalışmalar kongresi bildiriler kitabı, 1, 636-642.



## Yatay Sıcak Su Tanklarında Tank İçerisine Eğik Konumlandırılmış Engel Yerleştirmenin Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

### Numerical Investigation of the Effect of Placing Sloped Obstacle in the Horizontal Hot Water Tanks

Doğan ERDEMİR<sup>\*1</sup>, Buket TURGUT<sup>2</sup>, Necdet ALTUNTOP<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Melikgazi, Kayseri

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 60250, Merkez, Tokat

Başvuru/Received: 08/11/2018

Kabul/Accepted: 10/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 13/12/2018

#### Öz

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde yatay sıcak su tanklarının kullanımı vakum tüplü güneş kolektörlerinin kullanımının artması ve daha estetik bir görünüm sağlamasından dolayı yaygınlaşmaktadır. Artan kullanımına karşın yatay sıcak su tankları ile alakalı literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, bir yatay mantolu sıcak su tankının ısı performansını arttırmak için tank içerisine eğik konumlandırılmış engel yerleştirmenin etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Engeller şebeke girişinden  $m=50$ , 100 ve 150 mm mesafelerde ve yatayla  $a=60^\circ$ ,  $75^\circ$  ve  $90^\circ$  açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece engel eğiminin ve konumunun etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sonuçlar; tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, manto çıkış ve kullanım suyu sıcaklıkları, ortalama depolanan su sıcaklığı, enerji ve ekserji verimleri üzerinden verilmiştir. Çalışmanın sonucunda, engel yerleştirilen her durumun, içerisinde engel olmayan duruma göre daha yüksek ısı performansına sahip olduğu görülmüştür. Termodinamik açısından en iyi durum  $a=60^\circ$  ve  $m=100$  mm olduğu durumda elde edilmiştir. Aynı durumda depolama sıcaklığı  $35^\circ\text{C}$  olup, engelsiz tanka göre yaklaşık  $4^\circ\text{C}$  daha yüksektir. Yine aynı durumda manto çıkış sıcaklığı engelsiz tanka göre daha düşük, şebeke çıkış sıcaklığı ise daha yüksektir. Sonuç olarak; tank içerisinde eğik konumlandırılmış engel yerleştirme, içerisinde engel bulunmayan ve dik engel bulunan duruma göre daha yüksek ısı performans sağlamıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Yatay sıcak su tankı, Güneş enerjili sıcak su sistemi, Duyulur ısı enerji depolama”.

#### Abstract

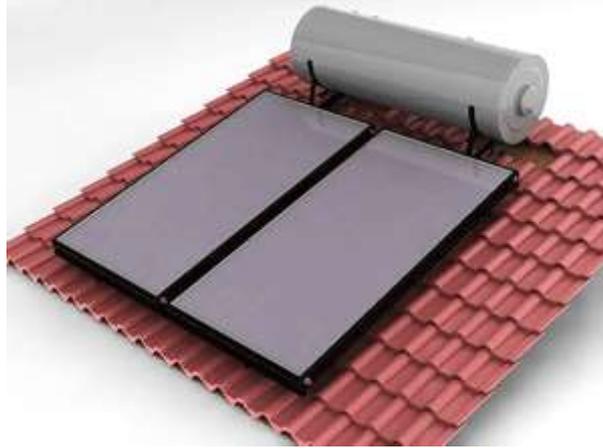
The use of horizontal hot water tanks in solar hot water systems is becoming widespread due to the increased use of vacuum tube solar collectors and providing a more aesthetic appearance. Despite the increasing use of it, there are a limited number of studies in the literature regarding horizontal hot water tanks. In this study, the effect of placing sloped obstacle in the tank to increase the thermal performance of a horizontal mantle hot water tank was investigated numerically. The obstacle has been located at a distance of  $m = 50$ , 100 and 150 mm from the mains input and at an angle of  $a = 60^\circ$ ,  $75^\circ$  and  $90^\circ$ . Thus, the effect of the slope angle and position has been investigated numerically. Results have been evaluated based on temperature distribution within the tank, mantle outlet and main outlet temperatures, average temperature of stored water, energy and exergy efficiencies. As a result of the study, every situation where the obstacle is placed in the tank has a higher thermal performance than the ordinary tank. The best condition in terms of thermodynamics is seen in case of  $a = 60^\circ$  and  $m = 100$  mm. In the same case, the storage temperature is  $35^\circ\text{C}$  and is approximately  $5^\circ\text{C}$  higher than the ordinary tank. In the same case, the mantle outlet temperature is lower than the ordinary tank and the outlet temperature is higher. As a result; The sloped obstacle placement in the tank provides higher thermal performance than the obstacle in which there is no obstacle and the vertical obstacle.

#### Key Words

“Horizontal hot water tank, Solar domestic hot water system, Sensible thermal energy storage”

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları doğası gereği sürekli olarak aktif olmayan kaynaklardır. Bu sebepten enerji kaynağının aktif olmadığı zamanlarda enerji kaynağından yararlanmaya devam etmek için uygulanabilecek en elverişli yöntemlerden biri enerji depolamadır. Bu duruma ek olarak, enerji kullanımında arz ve talep arasında da ciddi uyumsuzluklar vardır. Enerjinin yoğun kullanıldığı dönemlerde enerji üretimi ihtiyacı karşılamamakta ya da enerjinin az kullanıldığı dönemlerde üretilen enerji boşa gitmektedir. Bu sebepten dolayı, enerji kaynaklarından yararlanırken farklı enerji tüketim tarifeleri (pik dönem, pik olmayan dönem, gündüz, gece vb.) uygulanmaktadır. Enerji tüketiminin yoğun ve pahalı olduğu dönemlerdeki enerji ihtiyacını enerji kullanımının yoğun olmadığı ve ucuz olduğu dönemlere kaydırmak için de enerji depolama sistemlerinden yararlanılabilir. Böylece enerjinin üretildiği ve tüketildiği dönemler arasındaki farklılıklar kaydırılmış olur. Ayrıca enerji depolama sistemleri sayesinde enerji dönüşüm sistemlerinden, makinalardan ya da cihazlardan daha verimli yararlanılabilir. Enerji; her bir enerji türünde depolanabilir. Acar (2018) enerji depolama türleri arasında bir karşılaştırma ve derecelendirme çalışması yapmıştır. Bu çalışmadan görüldüğü üzere, ısı enerjisi depolama yaygınlık ve gelişmişlik açısından en iyi durumda olan enerji depolama türlerinden biridir. Ayrıca ısı enerjisi depolamanın yaygın olarak kullanılmasındaki en önemli nedenlerden biri de dünyada kullanılan enerjinin büyük bir kısmının ısı olarak üretilmesi ve tüketilmesidir. Geçmişten günümüze ısı enerjisi depolamanın çok sayıda farklı uygulaması geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma açısından ve ısı enerjisi depolama uygulaması olarak en eski ve olgunlaşmış uygulamalardan biri güneş enerjili sıcak su sistemleridir. Şekil 1’de tipik bir güneş enerjili sıcak su sisteminin görüntüsü verilmektedir. Şekil 1’den görüldüğü üzere, bu sistemlerde güneş enerjisi güneş kolektörlerinde ısı enerjisine dönüştürülerek kolektörden geçen iş akışkanına aktarılır. Kolektörlerde ısıtılan bu iş akışkanını (su ise) direkt kullanmak mümkün olabileceği gibi bir depolama ortamında depolanabilir ya da bir ısı değiştiriciyle sahip olduğu ısı enerjisi başka bir ortama aktarılabilir. Kolektörde üretilen sıcak suyun direkt ya da bir değiştirici aracılığı ile depolanmasıyla elde edilen sıcak sudan güneş olmadığı zamanlarda da yararlanmak mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Tipik bir güneş enerjili sıcak su sisteminin görünümü

### Terminoloji

A	Manto girişi
a	Engel açısı (°)
B	Manto çıkışı
C	Şebeke girişi
c	özgül ısı (J/kg K)
D	Şebeke çıkışı
E	Enerji (J)
Ex	Ekserji (J)
I	Ekserji yok oluşu (J)
m	Engelin şebeke girişinden olan mesafesi (mm)
$\dot{m}$	kütlesel debi (kg/s)
T	Sıcaklık (K, °C)
$\eta$	Enerji verimi
$\psi$	Ekserji verimi

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde, güneşin aktif olmadığı gece saatlerinde güneş enerjisinden yararlanmaya devam etmek için sıcak su depolama tankları kullanılmaktadır. Gün içerisinde elde edilen sıcak su, sıcak su tanklarında daha sonra kullanılmak üzere bekletilmektedir. Sıcak su tanklarının çok sayıda tür ve sınıflandırılma şekli vardır. Ancak bu sınıflandırma şekillerinden en yaygın olanı tankın duruş pozisyonu ile alakalı olan yatay ve dikey tanklardır. Literatürdeki çalışmalardan, sağladıkları daha yüksek sıcaklık tabakalaşması derecesinden dolayı dikey sıcak su tanklarının daha yüksek ısı performansına sahip olduğu bilinmektedir. Ancak, vakum tüplü güneş kolektörlerinin yaygın bir şekilde kullanılmaya başlaması ve görsel açıdan daha estetik

olmasından dolayı yatay sıcak su tanklarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Artan kullanımına karşın literatürde yatay sıcak su tankları ile alakalı kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

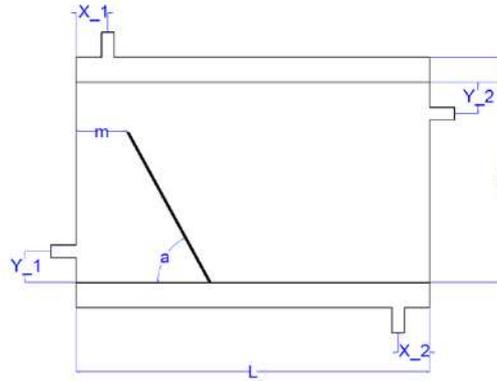
Andres ve Lopez (2002) yatay mantolu sıcak su içeren bir güneş enerjili sıcak su sistemi için TRNSYS modeli geliştirmişler ve bu modeli deneysel bulgular ile doğrulamışlardır. Alizadeh (1999) yatay mantolu sıcak su tankında giriş faktörlerinin tanktaki sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Helva vd. (1995) yatay sıcak tanklarında sıcak su kullanımının tank içerisindeki sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması üzerinde önemli etkiye sahip parametreleri belirlemişlerdir. Morrison vd. (1998) yatay mantolu sıcak su tanklarının ısı karakteristiğini belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında prizmatik bir tank kullanarak tank içerisindeki akım çizgilerinin nasıl olduğunu araştırmışlardır. Khalifa ve Mehdi (1999) bir yatay sıcak su tankındaki sıcaklık dağılımını elde etmek için bir boyutlu bir model ortaya koymuşlardır. Çalışmada radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık değişimlerinin ihmal edileceğini ve tank içerisindeki sıcaklık dağılımı belirlemek için tank merkezindeki düşey sıcaklık değişiminin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kalogirou ve Papamarcou (2000) TRNSYS kullanarak yatay sıcak su içeren bir termosifon güneş enerjisi sistemini modellemişler ve bu modeli deneysel çalışma ile doğrulamışlardır. Morrison vs. (1999) yatay mantolu sıcak su tanklarındaki ortalama ısı geçişi miktarını belirlemek için bir korelasyon ortaya koymuşlardır. Rosengarten vd. (1999) prizmatik bir mantolu sıcak su tankındaki akış karakteristiğini belirlemek için akış görüntüleme tekniği ile deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca ısı geçişi miktarını belirlemek için bir korelasyon da ortaya konmuştur. Young ve Baughn (1981) yatay sıcak su tanklarının ısı karakteristiğini incelemek için sayısal ve deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında bir boyutlu bir sayısal ortaya koymuşlar ve bu modeli deneysel çalışmalar ile doğrulamışlardır. Çalışmada eksenel sıcaklık değişiminin hesaplamalarda ihmal edileceğini vurgulamışlardır. Rosengarten vd. (2001) yatay mantolu sıcak su tankındaki ısı geçişini belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model tank içerisindeki Nusselt sayısı için geometrik şartlara ve sınır şartlarına bağlı korelasyon sunmaktadır. Zerrouki vd. (2002) yatay sıcak su tankı içerisindeki doğal taşınımıyla ısı geçişini belirlemek için deneysel ve teorik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Liu vd. (2002) yatay tek sıcak su tankı içeren bir güneş enerjili sıcak su sistemindeki ısı geçişini araştırmışlardır. Atmane vd. (2003) yatay ısıtılmış bir silindir etrafındaki ısı geçişini ve doğal taşınımı incelemişlerdir. Tripanagnostopoulos and Souliotis (2004) yatay silindirik bir sıcak su tankı içeren güneş enerjili sıcak su sisteminde tankın konumunun etkisini araştırmışlardır. Tripanagnostopoulos and Souliotis (2004) 6 farklı reflektör geometrisinin sıcak su depolama üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Madhlopa vd. (2005) ikili yatay sıcak su tankı içeren güneş enerjili sıcak su sistemindeki sıcaklık tabakalaşmasını belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Jannatabadi (2012) yatay sıcak su tanklarındaki karışma etkisinin ısı performans üzerindeki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Jannatabadi ve Taherian (2012) yatay mantolu sıcak su tanklarındaki ısı karakteristiği araştırmışlardır. Tankın ısı performansını için önem arz eden akış debisi, ısı kısa devre, ortalama sıcaklık, ortalama ısı geçiş katsayısı ve giriş hızının etkileri irdelenmiştir. Fertahi vd. (2018) vakum tüplü güneş kolektörü ve yatay sıcak su tankı içeren bir güneş enerjili sıcak su sisteminde optimum tank geometrisini belirlemek için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada vakum tüp sayısının depolanan su sıcaklığında önemli etkiye sahip olduğunu ve laminar akış bölgesinin artan vakum tüp sayısı ile yok olduğunu ortaya koymuşlardır. Erdemir ve Altuntop (2018) yatay mantolu bir sıcak su tankında tank içerisine akım yönüne dik engel yerleştirmenin etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda yatay mantolu sıcak su tanklarında tank içerisine akım yönüne dik engel yerleştirmenin tankın ısı performansını iyileştirdiği bulunmuştur. Erdemir (2018) yatay mantolu sıcak tanklarında tank tasarımının tankın ısı performansını üzerindeki etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmada yüksek depolama performansı için tank çapının tank boyuna oranının düşük tutulması gerektiği belirtilmiştir. Arslan ve Yaman (2017) güneş enerjili sıcak su sistemlerinin Türkiye'nin farklı şehirleri için başlangıç maliyeti ve enerji tüketim maliyeti üzerinden PSO/HJ hibrit algoritmasını kullanarak optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Yatay sıcak tanklarının kullanımı; vakum tüplü güneş kolektörlerinin yaygınlaşması ve daha estetik görünüm sunmasından dolayı her geçen gün artmaktadır. Artan kullanımına karşın literatürde yatay sıcak su tankları ile alakalı kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Sıcak su depolarında en önemli performans değerlendirme kriteri sıcaklık tabakalaşmasıdır. Yatay sıcak su tanklarında düşeydeki mesafe düşey tanklara göre çok daha düşük olduğundan sıcaklık tabakalaşmasının derecesi de düşüktür. Bu yüzden yatay sıcak su tanklarının sıcaklık tabakalaşması ve dolayısı ile ısı performans açısından iyileştirilmesi gerekmektedir. Literatürde yatay sıcak su tanklarında akım yönüne dik engel yerleştirme ile alakalı yapılan çalışmalardan tankın ısı performansını arttırdığı görülmektedir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, bir yatay mantolu sıcak su tankında tank içerisinde eğik konumlandırılmış engel yerleştirmenin etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Tank içerisine yatay düzlemle farklı derecelerde açı yapacak şekilde tek engel yerleştirilmiştir. Engeller ayrıca tank içerisinde şebeke girişinden itibaren farklı konumlarda yerleştirilmiştir. Böylece hem engel konumunun hem de açısının etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Eğik engel kullanımının etkisi dik engel yerleştirilen tankla ve içerisinde engel olmayan normal tankla kıyaslanmıştır. Sonuçlar tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, şebeke çıkış ve manto çıkış sıcaklıkları, ortalama depolanan su sıcaklığı, enerji ve ekserji verimlilikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Yatay Mantolu Sıcak Su Tankının Detayları

Bu çalışmada, güneş enerjili sıcak su sistemi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ticari bir yatay mantolu sıcak su tankı modellenmiştir. Yatay mantolu sıcak su tankının şematik olarak gösterimi Şekil 2’de görülmektedir. Şekil 2’den görüldüğü üzere, sıcak suyun depolandığı hacmin üzerinde manto olarak adlandırılan halkasal bir hacim bulunmaktadır. Kolektörden gelen ısı transferi akışkanı mantodan geçerek; sahip olduğu ısı enerjisini depolama hacmindeki soğuk suya aktarır. Mantolu sıcak su tankları aynı zamanda mantolu ısı değiştiricisi olarak da adlandırılmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde manto ve kolektör çevriminde ısı transferi akışkanı olarak genellikle antifriz çözeltisi kullanılmaktadır. Bu sayede tank, kış koşullarında da kullanılabilen ve donmaya karşı sistemi korumaktadır. Tankın iç çapı 400 mm boyu ise 1000 mm’dir. Manto boşluğu ise 20 mm’dir. Manto iç tankın tamamını kapsamaktadır. Yani tank uzunluğu ile manto uzunluğu eşittir. Tankın depolama hacmi 196 l’dir. Bu çalışmada tankın ısı performansını iyileştirmek için tankın iç tarafına engeller yerleştirilmiştir. Engeller tankın içerisine engelin uç kısmı ile tankın şebeke girişinden “m” mesafesinde ve tankın yatay eksenine “a” açısını yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Tankın ölçüleri, engellerin yerleştirildiği konumlar ve engel açıları Tablo 1’de verilmiştir.



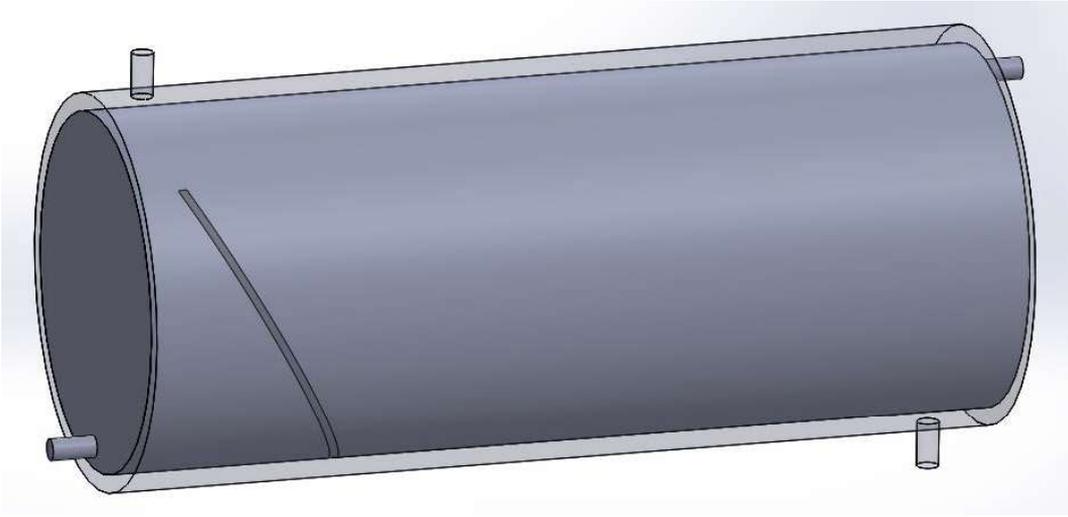
Şekil 2. Yatay mantolu sıcak su tankının şematik gösterimi

Tablo 1. Yatay mantolu sıcak su tankının ölçüleri

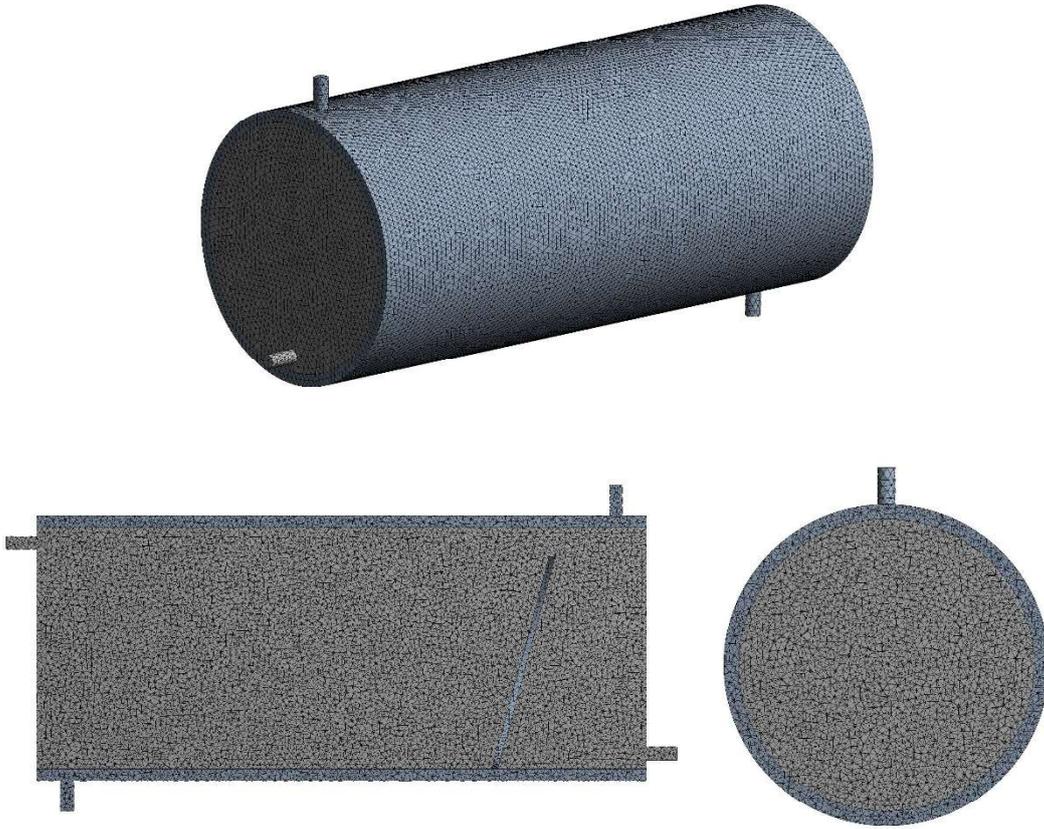
İç tank çapı (D)	400 mm
Tank uzunluğu (L)	1000 mm
Manto boşluğu (t)	20 mm
Giriş ve çıkış portlarının konumları (X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> )	50 mm
Engel tank kenarından mesafesi (m)	50, 100, 150 mm
Engel yatay eksenle yaptığı açı (a)	60°, 75°, 90°

### 2.2. Sayısal Model

Şekil 2 ve Tablo 1’de detayları verilen yatay mantolu sıcak su tankı ANSYS Workbench 17.1 programı ve alt modülleri kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Şekil 3’de a=60° ve m=50 mm için sayısal model görülmektedir. Sayısal modeller 3 boyutlu oluşturulmuştur. Tankın katı kısımları modellenmemiştir, sadece akışkan hacimleri modellenmiştir. Engeller iç tank hacminden engel hacmi çıkartılarak modellenmiştir. Şekil 3’de görülen sayısal model ilk olarak Solidworks 2017 programında 3 boyutlu olarak çizilmiş daha sonra Workbench programının Geometry alt modülü ile sayısal modele hazır hale getirilmiştir. Daha sonra Workbench programının Mesh alt modülü kullanılarak sayısal model sonlu sayıda hacme bölünerek ağ yapısı (mesh) oluşturulmuştur. Ağ yapısındaki eleman sayısı (eleman boyutu) sayısal çözümleme üzerindeki önemli etkiye sahiptir. Eleman sayısının çözüm üzerindeki etkisini yok etmek için ağ yapısı (grid) bağımsızlığı çalışması uygulanmıştır. Büyük eleman boyutundan düşük eleman boyutuna farklı eleman boyutları için sayısal çözümler yapılmıştır. İç tank ile manto arasındaki temas yüzeyindeki akışı ve ısı geçişini daha hassas modellemek için temas yüzeylerinde normal eleman boyutuna göre %50 daha küçük boyutta eleman kullanılmıştır. Sırası ile 30, 20, 15, 10 ve 5 mm eleman boyutları denenmiştir. 15 mm eleman boyutundan daha sonra çözümde önemli bir değişiklik olmadığından eleman boyutu 15 mm olarak ayarlanmıştır. Sayısal modellerde yaklaşık olarak 3.2 milyon eleman bulunmaktadır. a=75° ve m=150 mm olan durum için ağ yapısının görünümü Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil. 3. Yatay mantolu sıcak su tankının sayısal modeli



Şekil. 4.  $a=75^\circ$   $m=150$  mm olan durum için ağ yapısı

### 2.3. Sayısal Prosedür

Sayısal çözümlerlerde FLUENT 17.1 programı kullanılarak 3 boyutlu ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümler 120 dakikalık bir periyot için yapılmıştır. Zamana bağlı çözümlerlerde zaman adımının sonuçlar üzerindeki önemli etkisi vardır. Bu kapsamda, sonuçları zaman adımının büyüklüğünden bağımsızlaştırmak için 2, 1, 0.5 ve 0.25 s zaman adımları sırası ile denenmiştir. 0.5 s zaman adımından sonra sonuçlarda önemli bir değişiklik olmadığından; zaman adımı 0.5 s olarak ayarlanmıştır. Manto ve şebeke girişleri “velocity inlet”, manto ve kullanım suyu çıkışları ise “pressure outlet” olarak tanımlanmıştır. Tanktan ısı kaybı olmadığı yani tank dış yüzeylerinin adyabatik olduğu kabul edilmiştir. Manto ve iç tank içerisindeki akıştaki türbülans etkilerini hesaplamak için k-epsilon, k-epsilon RNG, k-w ve k-w SST türbülans modelleri denenmiştir. Bu modeller içerisinde en iyi ve en hızlı çözüm k-w türbülans modeli ile elde edilmiştir. Dolayısıyla analizler sırasında k-w türbülans modeli kullanılmıştır. Sayısal çözümlerlerde Simple algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada

geliştirilen sayısal model ve prosedür yöntemi, engelsiz tank için yapılan deneysel çalışma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Böylece sayısal model ve prosedürün yatay mantolu bir sıcak su tankını modellemede yeterli olup olmadığı kontrol edilmiştir.

#### 2.4. Termodinamik Analizler

Literatürde düşey sıcak su tanklarının ısı performansını değerlendirmek için çok sayıda yol ve yöntem bulunmaktadır. Bu doğrultuda çok sayıda boyutlu ve boyutsuz sayı ya da ifadeler geliştirilmiştir. Ancak yatay sıcak su tankları ile alakalı böyle ifade ya da parametre bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı, en iyi engel konumunu ve açısını belirlemek için termodinamik analizler kullanılmıştır. Termodinamik analizler kapsamında, her bir durum için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Böylece en yüksek enerji ve ekserji verimine sahip durum belirlenmeye çalışılmıştır. Termodinamik analizler sırasında hesaplamaların karmaşıklığını azaltmak ve sistem açısından önemli olan parametrelerin etkisi daha belirgin bir şekilde incelemek için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller enerji ve ekserji verimini arttırsa da farklı durumlar arasındaki bağıl değişimi önemli ölçüde etkilememektedir. Yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Akışkanlar sıkıştırılmazdır.
- Akışkanların termofiziksel özellikleri sabit olarak alınmıştır.
- Akışkanlar sürtünmesizdir ve pompa gücü sıfırdır.
- Tanktan çevreye olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
- Çevre sıcaklığı 24 °C olarak alınmıştır.

**Enerji analizi:** Yatay mantolu bir sıcak su tankı için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Giren\ enerji - Çıkan\ enerji = Sistemdeki\ değişim \quad (1)$$

Bu ifade aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$(\dot{E}_A - \dot{E}_B) - [(\dot{E}_D - \dot{E}_C) - \dot{E}_{kayıp}] = \Delta E \quad (2)$$

Buradaki ifade de  $(\dot{E}_A - \dot{E}_B)$  ifadesi iç tanka giren ısı enerji miktarıyken,  $(\dot{E}_D - \dot{E}_C)$  ifadesi ise tanktan alınan ısı enerjisi miktarıdır. Termodinamik verimin en gelen anlamda bir sistemden alınan enerjinin, bu enerjiyi almak için sağlanan enerjiye oranı olduğu dikkate alınarak; yatay mantolu sıcak su tankı için enerji verimi;

$$\eta = \frac{(\dot{E}_D - \dot{E}_C) - \dot{E}_{kayıp}}{(\dot{E}_A - \dot{E}_B)} \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplanır. Tankın her bir giriş ve çıkışındaki enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}_i = \dot{m} c (T_i - T_{ortam}) \quad (4)$$

Bu ifadedeki “i” tankın her hangi bir giriş ya da çıkışını temsil etmektedir.

**Ekserji analizi:** Yatay mantolu bir sıcak su tankı için ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Giren\ ekserji - (Çıkan\ ekserji + Isı\ kaybı\ ekserjisi) - Ekserji\ yokoluşu = Sistemdeki\ değişim \quad (5)$$

Bu ifade aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$(\dot{E}x_A - \dot{E}x_B) - [(\dot{E}x_D - \dot{E}x_C) - \dot{E}x_{kayıp}] - \dot{I} = \Delta Ex \quad (6)$$

Bu ifadedeki  $(\dot{E}x_A - \dot{E}x_B)$  depolama hacmine giren ekserji miktarını temsil etmektedir.  $(\dot{E}x_D - \dot{E}x_C)$  ifadesi depolama hacminden alınan net ekserji miktarını göstermektedir.  $(\dot{I})$  ise yatay mantolu sıcak su tankının içerisindeki tersinmezliklerden kaynaklanan yok olan ekserji miktarını temsil etmektedir.

Yatay mantolu sıcak su tankı için ekserji verimi ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\psi = \frac{(\dot{E}x_D - \dot{E}x_C) - \dot{E}x_{kayıp}}{(\dot{E}x_A - \dot{E}x_B)} \quad (7)$$

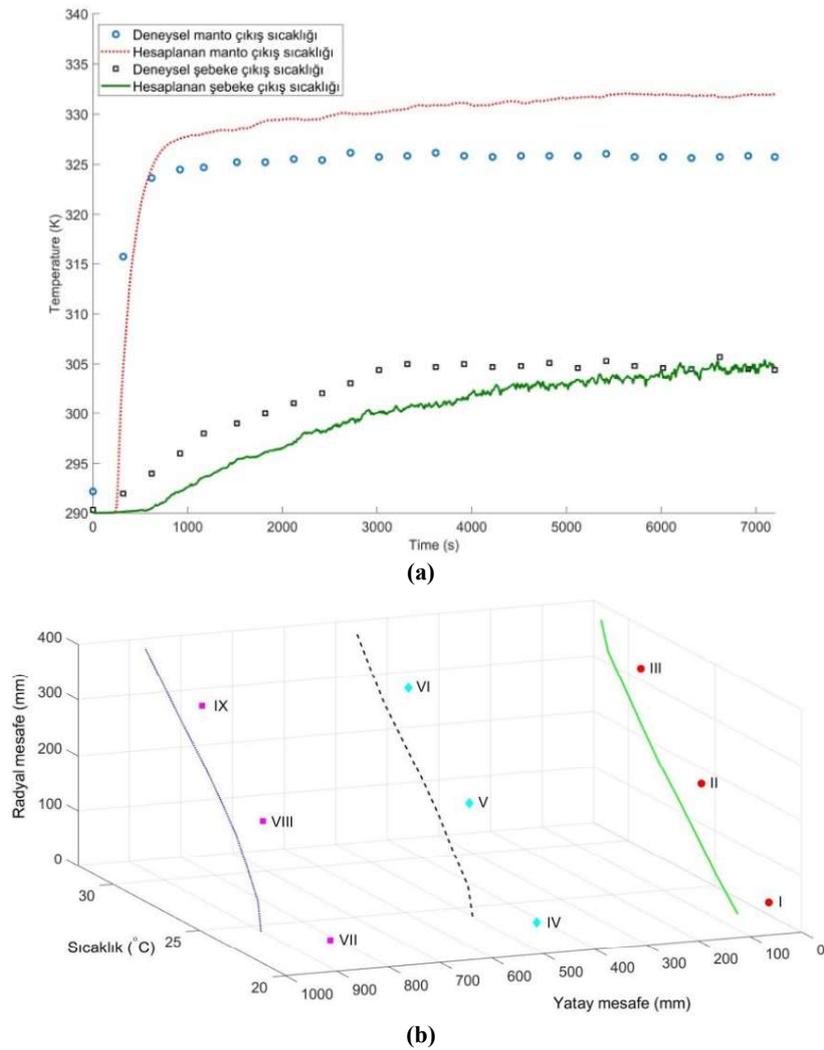
Tankın giriş ve çıkışlarında ekserji değerleri aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_i = \dot{m} c \left[ (T_i - T_{ortam}) - T_{ortam} \ln \frac{T_i}{T_{ortam}} \right] \quad (8)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Sayısal Model ve Prosedürün Doğrulanması

Sayısal çözümler yapılmadan önce ilk olarak sayısal modelin ve prosedürün doğrulanması gerekmektedir. Bu çalışmada Erdemir ve Altuntop (2018)'in yapmış olduğu deneysel çalışmanın sonuçları kullanılmıştır. Sayısal doğrulama içerisinde engel olmayan normal tank için gerçekleştirilmiştir. Sayısal olarak hesaplanan sonuçlar ile deneysel sonuçların kıyaslanması Şekil 5'de görülmektedir. Şekil 5a'da tankın manto çıkış ve şebeke çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişiminin sayısal çözümler sonuçları ve deneysel sonuçları görülmektedir. Şekil 5a'dan görüldüğü üzere, sayısal model ve prosedür tank çıkış sıcaklıklarını zamanla başarılı olarak hesaplamada başarılı olduğunu göstermektedir. Sayısal çözümler sonuçları ve deneysel sonuçlar uyum içerisinde. Şekil 5b'de ise tank içerisindeki sıcaklık dağılımının 120 dakikalık test süresi sonundaki sayısal ve deneysel sonuçları görülmektedir. Şekil 5b'de I, II, III ... IX olarak numaralandırılan noktalar Erdemir ve Altuntop (2018)'in yapmış olduğu deneysel çalışmadaki sıcaklık sensörlerini göstermektedir. Şekil 5b'den görüldüğü üzere, bu çalışmada geliştirilen sayısal model ve prosedür tank içerisindeki sıcaklık dağılımını hesaplamada iyi bir performans göstermiştir. Sonuç olarak, sayısal model ve prosedür tank içerisindeki sıcaklık dağılımını ve çıkış sıcaklıklarını hesaplamada yeterlidir.



Şekil. 5. Sayısal çözümler sonuçlarının deneysel çalışma sonuçları ile kıyaslanması a) Manto çıkış ve şebeke çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi, b) Tank içerisindeki sıcaklık dağılımı

#### 3.2. Eğik Engel Yerleştirilmenin Tank İçerisindeki Sıcaklık Dağılımı Üzerindeki Etkisi

Bir sıcak su tankının ısı performansını değerlendirmede tank içerisindeki sıcaklık dağılımını kullanmak temel, basit ve hızlı yöntemler biridir. Çünkü tank içerisindeki suyun sıcaklık seviyesini ve depolanan sıcak suyun miktarını direk olarak göstermektedir. Bir sıcak su depolama tankında mümkün olarak en yüksek sıcaklıkta ve hacimde suyun depolanması istenmektedir. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımı ise bu bilgileri direk olarak sunmaktadır. 120 dakikalık test süresi sonunda, normal tank ve içerisindeki engel bulunan tanklar için sıcaklık dağılımı Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6'dan görüldüğü üzere,

tank içerisinde engel olmayan durumda şebekeden gelen soğuk su tank içerisinde hızla ilerleyerek kullanım suyu çıkışına ulaşmıştır. Bu durum kullanım suyu sıcaklığını önemli ölçüde düşürmektedir. Engel yerleştirilen durumlarda şebekeden gelen soğuk su engeller tarafından bloke edilmiştir. Böylece engelden sonraki kısımlarda yüksek sıcaklıkta ve hacimde sıcak su elde edilmiştir. Tankın içerisindeki engel olmayan durumda, tankın alt kısmı şebekeden gelen soğuk suyun etkisi altında kalmıştır. Dik yerleştirilen engellerde engel bitişi konumdan hemen sonra bir soğuk su bölgesi oluşmaktadır. Bu soğuk su bölgesi eğimli yerleştirme ile azalmıştır. Engel açısı düştükçe engelin art kısmında olan soğuk su bölgesi azalmıştır. Ayrıca dik engelin şebeke girişinden olan mesafe azaldıkça engelin ardında kalan soğuk su bölgesinin hacmi de artmıştır. Benzer durum eğik yerleştirilmiş durumlarda da görülmüştür. Eğik yerleştirilmiş engellerde en az soğuk su bölgesi engelin 100 mm olduğu durumlarda görülmektedir. Sonuç olarak 120 dakika sonunda tank içerisindeki sıcaklık dağılımı göz önünde bulundurulduğu zaman, eğik engel kullanmanın ve engelin tank girişinden 100 mm mesafe de konumlandırılması tank içerisindeki sıcaklık dağılımı olumlu yönde etkilemektedir.

### 3.3. Tank İçerisine Eğik Engel Yerleştirmenin Ortalama Depolanmış Su Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

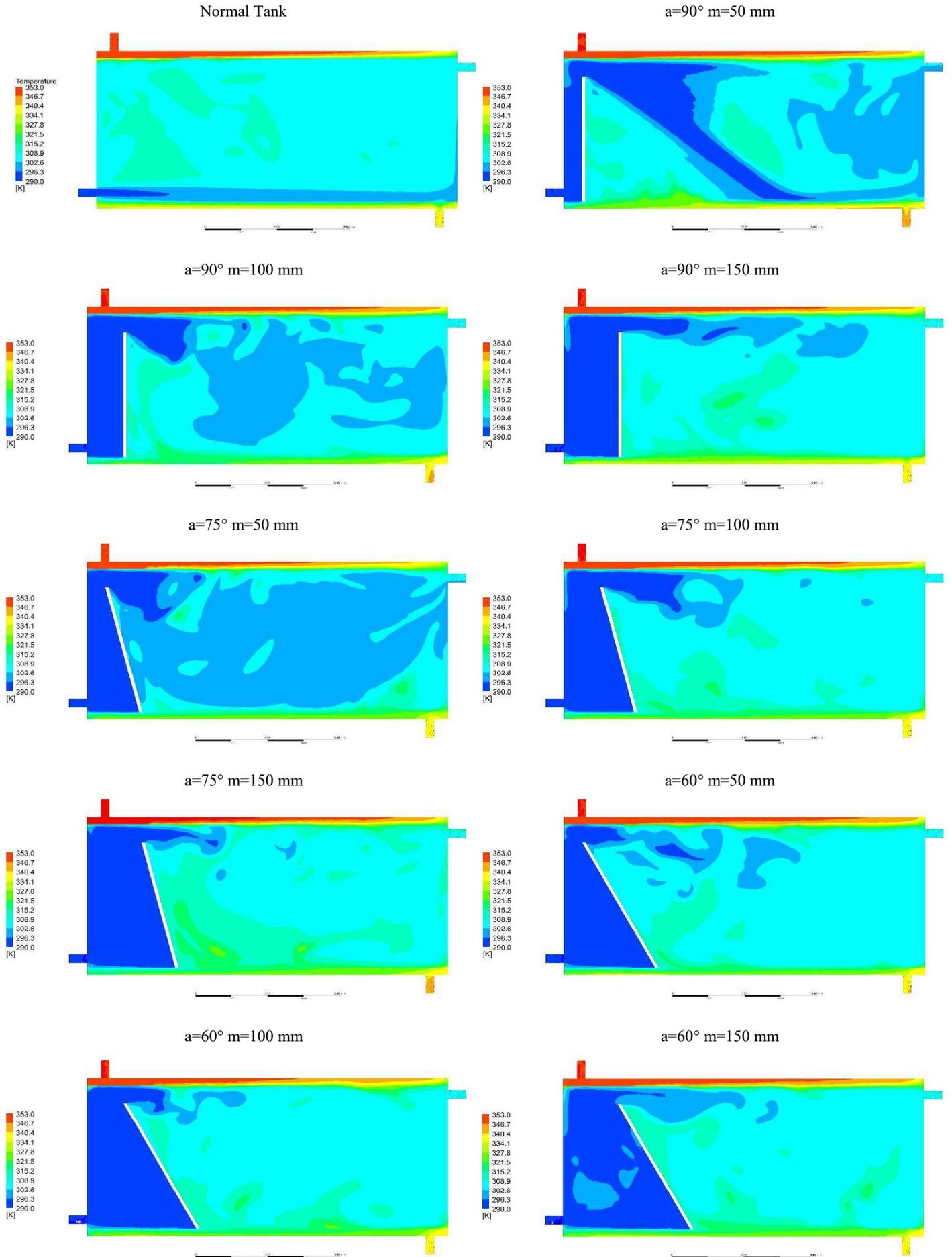
Bir sıcak su tankında depolanan suyun ortalama sıcaklığı oldukça önemlidir ve depolanan suyun sıcaklığının en yüksek seviyede olması istenir. Tek başına sıcak su miktarı ile ilgili bilgi vermese de tankın içerisindeki sıcaklık dağılımı ile sistem performansını değerlendirme de önemli bilgiler vermektedir. Şekil 7'da tank içerisinde depolanan sıcak suyun sıcaklığının zamanla değişimi tüm durumlar için görülmektedir. Şekil 7'dan görüldüğü üzere, ortalama depolanan su sıcaklığı en düşük normal tankta görülmüştür. Tank içerisinde engel kullanmak tank içerisinde depolanan suyun ortalama sıcaklığını arttırmıştır. En yüksek ortalama depolanan su sıcaklığı  $a=90^\circ$   $m=50$  mm durumu,  $a=75^\circ$   $m=100$  mm durumu ve  $a=60^\circ$   $m=100$  mm durumunda görülmüştür. İçerisinde engel olmayan tanka göre depolanan su sıcaklığı yaklaşık  $3.5^\circ\text{C}$  yüksektir. Eğik engelin  $m=100$  mm olduğu konumlarda en yüksek depolama sıcaklıkları görülmüştür. Şekil 7'den elde edilen bulgular Şekil 6'daki sıcaklık dağılımdan elde edilen bulgular ile kıyaslandığı zaman, eğik engel kullanmak ve bu engeli şebeke girişinden  $m=100$  mm pozisyonunda konumlandırmak tank içerisinde en yüksek miktarda ve sıcaklıkta su depolamayı sağlamaktadır. Belirtilen şartlarda engel kullanımı ile hem sistemin ısı enerjisi depolama performansı hem de kullanıcı memnuniyeti artacaktır.

### 3.4. Tank İçerisine Eğik Engel Yerleştirmenin Manto Çıkış ve Kullanım Suyu Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

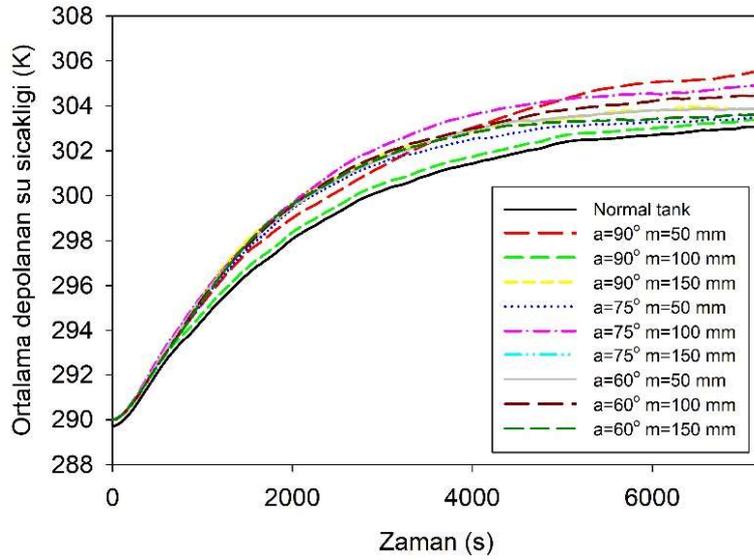
Manto çıkış sıcaklığı ve şebeke çıkış sıcaklığı mantolu sıcak su tankları için önemli performans parametrelerindedir. Manto çıkış sıcaklığı sıcak su tankının ve kolektörün ısı verimi açısından önemlidir. Düşük manto çıkış sıcaklığı mantolu ısı değiştiricinin ve kolektörlerin verimini artırır. Ayrıca daha yüksek sıcaklık değişimi suyun yoğunluğunu da daha fazla değiştireceğinden doğal sirkülasyonun hızını da arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı manto çıkış sıcaklığının genellikle mümkün olan düşük seviyede olması istenir. Kullanım suyu çıkış sıcaklığı ise direkt olarak kullanıcı memnuniyeti ile alakalıdır. Kullanıcılar mümkün olan yüksek sıcaklıkta ve miktarda sıcak su istemektedirler. Şekil 8'de 120 dakikalık test süresi sonundaki manto çıkış ve kullanım çıkış sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 8'den görüldüğü üzere,  $a=90^\circ$   $m=50$  mm ve  $a=90^\circ$   $m=100$  mm durumları haricindeki tüm engel yerleştirilmiş durumlar manto çıkış sıcaklığını düşürmüş, şebeke çıkış sıcaklığını ise arttırmıştır. En yüksek şebeke çıkış sıcaklığı  $a=75^\circ$   $m=150$  mm ve  $a=60^\circ$   $m=150$  mm olduğu durumlarda görülmüştür. Yine bu durumlarda en düşük manto çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu bulgulardan yola çıkarak, tank içerisinde eğimli engel yerleştirmenin manto çıkış ve şebeke çıkış sıcaklıkları göz önünde bulundurularak daha yüksek performans sağladığı tespit edilmiştir. Eğimli engeller ile kullanım suyu sıcaklığı yaklaşık  $3^\circ\text{C}$ 'ye artırılabilirken, manto çıkış sıcaklığı ise yaklaşık  $3^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşürülebilir.

### 3.5. Tank İçerisine Eğik Engel Yerleştirmenin Termodinamik Açından Değerlendirilmesi

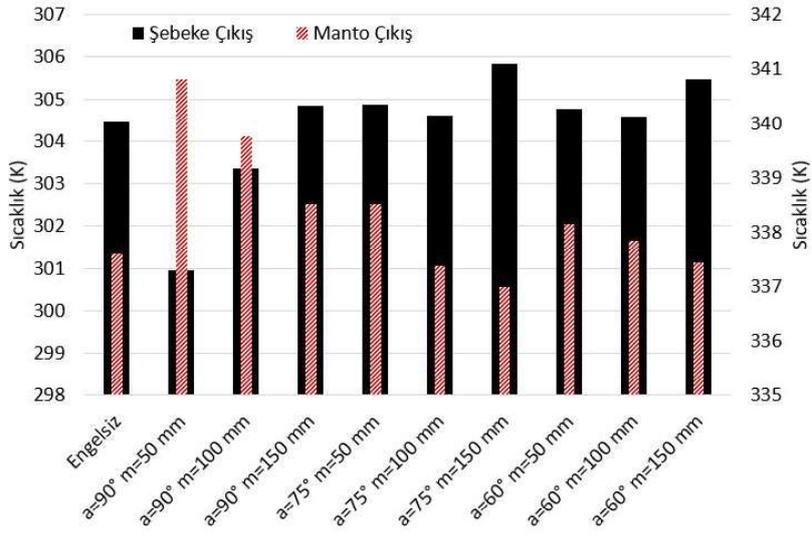
Enerji depolama ve enerji dönüşüm sistemlerinde sistemin performansını belirlemede termodinamik analizler yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda enerji analizinin sistemi kıyaslamada belirgin bilgiler vermediği bu yüzden sistemlerin ekserji yönünden de değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Ancak enerji analizinin sistemi tanımadığı, sistemin giriş ve çıkışlarındaki değişimleri gözlemlemede ve sistem ile çevresi arasındaki etkileşimi belirlemede önemli olduğu vurgulanmıştır. Literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurularak, bu çalışmada normal tank ile içerisine engel yerleştirilmiş tankların kıyaslaması termodinamiğin birinci ve ikinci kanun analizleri gerçekleştirilmiştir. 120 dakikalık test süresinin sonunda elde edilen veriler ile tüm durumlar için enerji ve ekserji verimi değerleri Şekil 9'da görülmektedir. Şekil 9'dan görüldüğü üzere, enerji verimi normal tank için %96'dır. İçerisindeki engel bulunan durumlarda %96.5 ile %99.5 arasında değişmektedir. Enerji verim ifadelerinden tüm durumların ideale yakın davranış sergilediği görülmektedir. Ayrıca enerji verimi tank içerisine engel yerleştirme ile %3 civarında artmıştır. İçerisinde engel yerleştirilen durumlarda enerji verimi ifadeleri birbirine yakın olduğundan dolayı durumları enerji verimlilik üzerinden doğru bir şekilde kıyaslanamamaktadır. Yatay mantolu sıcak su tankının tüm durumlardaki ekserji verimi değerleri incelenecek olursa, ekserji veriminin normal tank için yaklaşık %8 olduğu görülmektedir. İçerisinde engel bulunan tüm durumların ekserji verimi değeri normal tanka göre yüksektir. En yüksek ekserji verimi değeri eğim açısının  $60^\circ$  ve engel pozisyonunun 100 ve 150 mm olduğu durumda görülmüştür. Enerji ve ekserji verimi ifadeleri göz önünde bulundurulduğu zaman, tank içerisinde engel bulunmak termodinamik açıdan sistemi iyileştirmiştir. Eğimli yerleştirilmiş engeller dik engellere göre daha yüksek ısı performans sağlamışlardır.



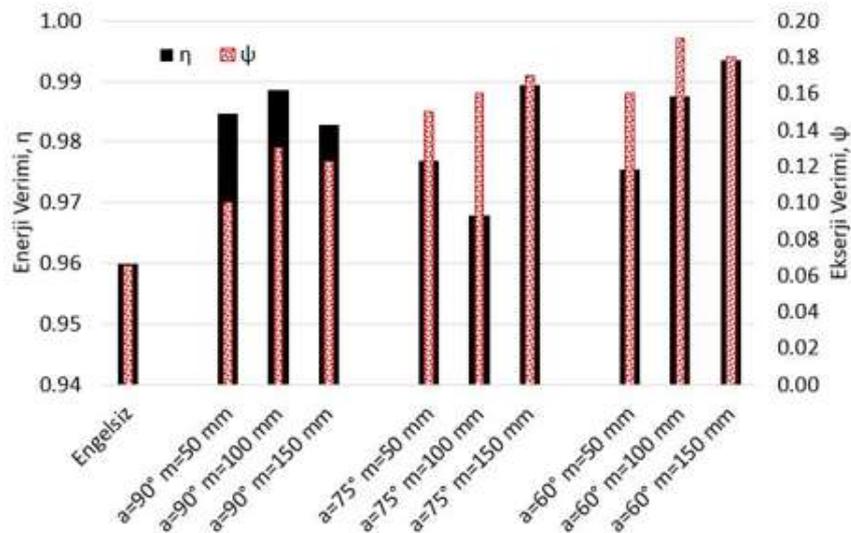
Şekil. 6. Tüm durumlar için 120 dakika sonundaki sıcaklık dağılımları



Şekil. 7. Tüm durumlar için ortalama depolanan su sıcaklığının zamanla değişimi



Şekil. 8. Tüm durumlar için manto çıkış ve şebeke çıkış sıcaklıklarının 120 dakika sonundaki değeri



Şekil. 9. Tüm durumlar için 120 dakika sonundaki enerji ve ekserji verimi değerleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yatay mantolu sıcak su depolama tanklarındaki tank içerisinde eğimli engel yerleştirmenin etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Eğimli engelin sağladığı ısı performans, dik yerleştirilmiş engelin sağladığı performans ve normal tank ile kıyaslanmıştır. Çalışmada 10 farklı durum için 120 dakikalık sayısal çözümleme yapılmıştır. Sayısal çözümlerden elde edilen bulgular tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, tank içerisindeki depolanan suyun ortama sıcaklığı, manto çıkış sıcaklığı, şebeke çıkış sıcaklığı, enerji ve ekserji verimliliği üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, tank içerisine engel yerleştirmenin tankın ısı performansını arttırdığı ve engel eğik olarak yerleştirmenin dik olarak yerleştirmeye göre daha yüksek performans sağladığı tespit edilmiştir. Tüm değerlendirme parametreleri göz önünde bulundurulduğu zaman engel açısının 75° pozisyonunun ise tank girişinden 100 mm mesafede olması gerektiği bulunmuştur. Böylece depolana su sıcaklığının 3 °C'ye kadar artabileceği, manto çıkış sıcaklığının 5 °C kadar düşebileceği, şebeke çıkış sıcaklığının 3 °C'ye kadar artacağı ve ekserji veriminin yaklaşık %10 artabileceği bulunmuştur.

#### TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma KOSGEP tarafından ARGE ve İnovasyon Destek Programları kapsamında 03.05.2017 tarihli 657 nolu kurul kararı ile desteklenmiştir.

#### REFERANSLAR

- Acar, C. (2018). A comprehensive evaluation of energy storage options for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, 1-15. Available online. 2018.Doi:10.1002/er.4102.
- Alizadeh, S. (1999). An experimental and numerical study of thermal stratification in a horizontal cylindrical solar storage tank. *Solar Energy*, 66 (6), 409-421.
- Andres A.C., Lopez M.C. (2002). TRNSYS model of a thermosiphon solar domestic water heater with a horizontal storage and mantle heat exchanger. *Solar Energy*. 72 (2). 89-98.
- Arslan, G., Yaman, K. (2017). The optimization of solar water heating system using hybrid algorithm (PSO/HJ) for different locations of Turkey. *Uluslararası Mühendislik ve Araştırma Geliştirme Dergisi*. 9(3). 73-82. DOI: 10.29137/umagd.346154.
- Atmane, M.A., Chan, V.S.S., Murray, D.B. (2003). Natural convection around a horizontal heated cylinder: The effects of vertical confinement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 46(19). 3661-3672.
- Erdemir, D., Altıntop N. (2018). Experimental Investigation on the effect of placing obstacle on flow direction on thermal performance in horizontal mantled hot water tanks, *Proc. of 4th Anatolian Energy Symposium*, Edirne, Turkey, 1993-2002.
- Erdemir, D. (2018). Numerical Investigation on The Effect of Ratio of Tank Diameter to Tank Length on The Thermal Performance of Horizontal Mantled Hot Water Tank, *Heat Transfer Research*, Accepted paper, DOI: 10.1615/HeatTransRes.2018026953.
- Fertahi, S., Bouhal, T., Kousksou, T., Jamil, A., Benbassou, A. (2018). Experimental study and CFD thermal assessment of horizontal hot water storage tank integrating Evacuated Tube Collectors with heat pipes. *Solar Energy*. (170). 234-251.
- Helwa, N.H., Mobarak A.M., ESallak M.S., EGhetany H.H. (1995). Effect of hot-water consumption on temperature distribution in a horizontal solar water storage tank. *Applied Energy*. 52. 185-197.
- Jannatabadi, M. (2012). An experimental study of hot water onsumtion on the thermal performance of a horizontal mantle tank. 19 (9). 1332-1326.
- Jannatabadi, M., Taherian, H. (2012). An experimental study of influence of hot water consumption rate on the thermal stratification inside a horizontal mantle sotrage tank. 48. 1103-1112.
- Kalogirou, S.A., Papamarcou, C. (2000). Modelling of a thermosiphon solar water heating system and simple model validation. *Renewable Energy*. 21(3). 471-493.
- Khalifa A.N., Mehdi, M.M. (1999). On the verification of one dimensional heat flow in a horizontal thermosiphon storage tank. *Energy Conversion and Management*. 40. 961-974.
- Liu, W., Davidson, J.H., Kulacki, F.A., Mantell, S.C. (2002). Natural Convection from a Horizontal Tube Heat Exchanger Immersed in a Tilted Enclosure, *Journal of Solar Energy Engineering*. 125(1). 65-74.
- Madhlopa, A., Mgawi, R., Taulo, J. (2005). Experimental study of temperature stratification in an integrated collector -storage solar water heater with two horizontal tanks. 80. 989-1002.

- Morrison G.L., Nasr, A., Behnia, M., Rosengarthen, G.(1998). Analysis of horizontal mantle heat exchangers in solar water heating systems. *Solar Energy*. 64. 19-31.
- Morrison, G.L., Rosengarthen, G., Behnia, M. (1999). Mantle heat exchangers for horizontal tank thermosyphon solar water heaters. *Solar Energy*. 67. 53-64.
- Rosengarten, G., Behnia, M., Morrison, G. (1999). Some aspects concerning modelling the flow and heat transfer in horizontal mantle heat exchangers in solar water heaters”, *International Journal of Energy Research*. 23. 1007-1016.
- Rosengarten, G., Morrison, G.L., Behnia, M. (2001). Mixed convection in a narrow rectangular cavity with bottom inlet and outlet. *Heat and Fluid Flow*. 22. 168-179.
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M. (2004). ICS solar systems with horizontal (E–W) and vertical (N–S) cylindrical water storage tank, *Renewable Energy*. 29(1). 73-96.
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M. (2004). ICS solar systems with horizontal cylindrical storage tank and reflector of CPC or involute geometry. *Renewable Energy*. 29(1). 13-38, 2004.
- Young, M.F., Baughn, J.W. (1981). An investigation of thermal stratification in horizontal storage tanks. 103. 286-290.
- Zerrouki, A., Boumédien A., Bouhadeif, K. (2002). The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution. *Renewable Energy*. 26(4). 549-559.



## Çok Girişli Çok Çıkışlı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı Sistemlerde Kanal Kodlaması Performans Analizi

### Performance Analysis of Channel Coding in Multi Input Multi Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Ramazan GÜNGÜNEŞ<sup>1</sup>, Eyüp TUNA<sup>2</sup>, Murat LÜY<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Keskin MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

Başvuru/Received: 12/11/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) ve frekans bölmeli çoğullama (FDM) gibi çok taşıyıcılı modülasyon tekniklerinin, hızlı değişen çok yollu iletişim kanallarında, semboller arası girişimlere (ISI) ve gürültülere karşı tek taşıyıcılı iletişim sistemlerine göre çok daha dayanıklı olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu nedenle yeni nesil data hızı yüksek, geniş bantlı kablosuz iletişim sistemleri için, çok taşıyıcılı modülasyon teknikleri aday olarak düşünülmekte ve standart olarak yerleşmektedir. Bu çalışmada, çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullamalı (MIMO-OFDM) sistemlerde, hata kontrol kodları olarak bilinen düşük yoğunluklu eşlik kontrol (LDPC) kodları, uzay-zaman blok kodları (STBC) ve konvolüsyon kodları ele alınmıştır. Her üç kod için de ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) sistemlerinde, toplamsal beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanal için performans analizleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. LDPC kodları, uzay-zaman blok kodları ve konvolüsyon kodlarının ikili faz kaydırmalı anahtarlama sistemleri üzerindeki bit hata oranı (BER) karşılaştırması matlab programıyla simüle edilerek verilmiştir. Simülasyon sonuçlarında, uzay-zaman blok kodlarının, düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları ve konvolüsyon kodlarına göre daha üstün bir performans sağladığı gözlemlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodlar, uzay-zaman blok kodlar, konvolüsyon kodlar, dikgen frekans bölmeli çoğullama, çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullama.”

#### Abstract

Multicarrier modulation techniques like orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) and frequency division multiplexing (FDM) have recently been introduced as robust techniques against intersymbol interference (ISI) and noise, compared to single carrier communication systems over fast fading multipath communication channels. Therefore, multicarrier modulation techniques have been considered as a candidate for new generation, high data rate broadband wireless communication systems and have been adopted as the related standards. In this study, low density parity-check (LDPC) codes, space-time block codes (STBC) and convolutional codes, which are known as error control codes, are discussed in multi-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexed (MIMO-OFDM) systems. Specifically, performance results for additive white Gaussian noise (AWGN) channel in binary phase shift keying (BPSK) systems of these three codes have been compared. Bit error rates (BER) on binary phase shift keying systems of space-time block codes, low density parity check codes and convolutional codes are simulated using matlab. Simulation results show that space-time block codes provide better performance than the other two error control codes.

#### Key Words

“Low density parity check codes, space-time block codes, convolutional codes, orthogonal frequency division multiplexing, multi-input multi-output orthogonal frequency division multiplexing.”

## 1. GİRİŞ

İletişim hizmetlerinin son yıllarda kullanım oranının hızlı bir şekilde artış göstermesi, daha hızlı ve kaliteli veri iletimi ve daha verimli band genişliği kullanılması gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Gezgin iletişim sistemlerinde çok yönlü sönümlenmeli kanalların etkisi istenilen düzeyde iletişimin sağlanmasını zorlaştırmaktadır (S. M. Alamouti, 1998 ). Verici ile alıcı arasında kurulan kanal, bu iki birim arasındaki engellerin (yüksek binalar, dağlar, v.s.) ve gezgin birimin ya da birimlerin hareketi sonucu sürekli değişimlere maruz kalmaktadır. Kanalin darbe yanıtının zamanla değişmesi alıcıda elde edilen işaretin aşırı sönümlenmesine neden olabilmektedir (E. Eryılmaz, 2004). C.E. Shannon'a dek haberleşme teorileri, gürültülü bir kanal üzerinden enformasyon iletimi işleminde yapılan hata olasılığını küçültmek için yegane yolun işaret/gürültü oranının büyütülmesi ve/veya iletim hızının düşürülmesi gerektiğini düşünmekteydiler. Claude Shannon'un 1948'de yayınlanan iletişimin matematiksel teorisi adlı tezinde gürültülü kodlama teorisine bir başlangıç yapılmıştır (C. E. Shannon, 1948). Shannon'un bu tezinde, her iletişim kanalının kanal kapasitesi adı verilen bir sayıyla ilişkili olduğu saptanmıştır. Gönderilen bilgi kanal tarafından bozulsa bile, bilginin kanal kapasitesinden daha düşük oranda gönderilmesi koşulu altında güvenli bir iletişimin sağlanabileceği kanıtlanmıştır. Güvenli bir iletişim sağlamak için literatürde değişik hata sezme ve/veya hata düzeltme şeklinde hata kontrol kodları kullanılmıştır. Düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodlama, uzay zaman blok kodlama ve konvolüsyon kodlama türleri bunlardan birkaçıdır. Çok girişli çok çıkışlı (MIMO) sistemlerde verici ve alıcıda birden fazla anten kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde maliyeti azaltmak ve kapasiteyi arttırmak için verici-alıcı arasındaki kanallardan en iyi başarıyı sağlayanlar seçilir (A. F. Molisch, 2003).

Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) yüksek frekanslı askeri uygulamalarda kullanılan çok taşıyıcılı modülasyon tekniğiyle 60'ların son zamanlarında ortaya çıkarılmıştır (R.W. Chang, 1966). 1971 yılında Weinstein ve Ebert, semboller arası girişim (ISI) ve taşıyıcılar arası girişimden (ICI) korunmak için koruma aralığı eklemesini ve etkin bir şekilde OFDM fonksiyonu sağlamak için ters hızlı fourier dönüşümü / hızlı fourier dönüşümü (IFFT/FFT) kullanımını önermiştir. Böylelikle OFDM'nin yeni yapısını oluşturmuştur (S.B. Weinstein et al, 1971). 1980'lerde OFDM, yüksek hızlı modemler, sayısal iletişim sistemleri ve yüksek yoğunluklu kaydedicilerde kullanılmıştır. Hirosaki, ayrık fourier dönüşümünü (DFT) kullanarak çoğullanmış QAM için OFDM tekniklerini araştırmış ve aynı zamanda çoğullanmış QAM kullanarak 12.9 kbps'lik ses veri modemi tasarlamıştır. Bu sistemde taşıyıcıyı dengede tutmak ve saat frekans kontrolü için bir pilot ton kullanılmış ve istenen taşıyıcı-gürültü oranını azaltmak için kafes kodlama kullanılmıştır. Bu yıllarda değişik hızlı modemler, telefon ağları için tasarlanmıştır. 1990'larda OFDM, yüksek bit hızlı asimetrik sayısal kullanıcı hattı (HDSL), çok yüksek bit hızlı asimetrik kullanıcı hattı (VHDSL), dijital ses yayıncılığı (DAB), dijital görüntü yayıncılığı (DVB) gibi genişband veri haberleşme uygulamaları için uygulanmaya başlanmıştır. Bu teknik her geçen gün daha fazla ilgi çekmiş ve daha fazla kullanım alanına sahip olmuştur ve günümüzde de sayısal ses yayıncılığı ve sayısal video görüntü yayıncılığında standart haline gelmiştir (Digital Broadcasting Systems, 1996). Geçtiğimiz birkaç yıl öncesinde kablosuz yerel ağlarda geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. OFDM tekniği, Kuzey Amerika'da IEEE 802-11 ve Avrupa da Hiperlan/2 olarak kablosuz yerel ağ standartlarına uyarlanmıştır (Onizawa, T., et al, 1999).

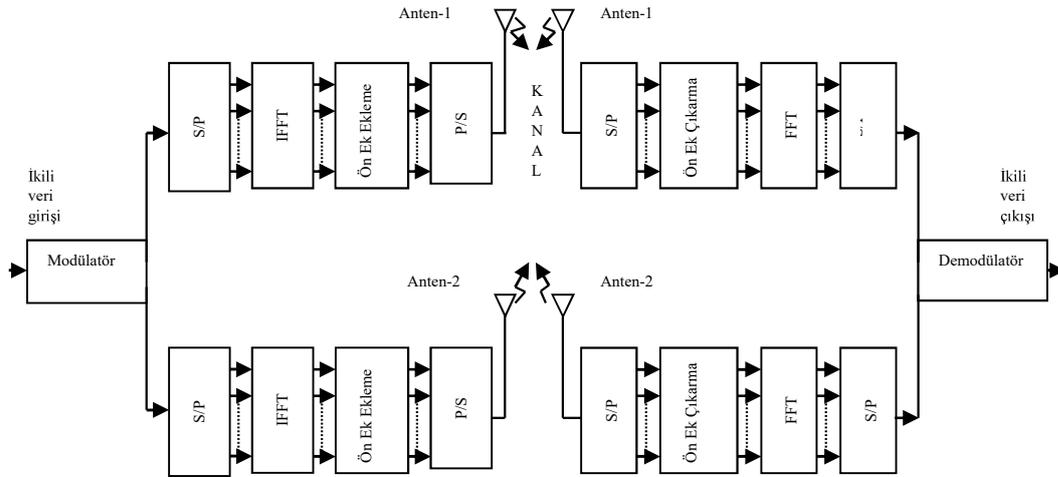
Bu çalışmada düşük yoğunluklu eşlik kontrol (LDPC) kodları, uzay-zaman blok kodları (STBC) ve konvolüsyon kodları kullanılarak kodlanmış çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullamalı (MIMO-OFDM) sistemlerin ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK), dik faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) ve dik genlik modülasyonu (QAM) türleri ile toplamsal beyaz Gauss gürültülü kanalda (AWGN) performansları incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. MIMO-OFDM Sistem Modeli

Kablosuz haberleşme sistemlerinde sönümlenme etkilerine karşı koyma yöntemlerinden biri çok antenli, bir başka deyişle çok girişli çok çıkışlı sistemler kullanmaktır. Bu yöntem anten çeşitlemesi olarak bilinir (Sampath, H., et al., 2002). MIMO sistemler tek girişli ve tek çıkışlı (SISO) sistemlere göre sönümlenmeye karşı daha fazla dayanıklı olmalarından dolayı son yıllarda yüksek hızlarda veri iletimine izin veren OFDM sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sayede bir MIMO-OFDM sisteminde sönümlenmenin meydana getirebileceği veri kayıpları en aza indirilmekte ve bu sayede daha az kayıplı ve kazancı yüksek veri iletimleri gerçekleştirilmektedir (Gordon, L.S, et al, 2004). Ancak sönümlenmeli etkiye sahip kablosuz iletişim kanalının etkilerini yok etmek için kullanılan MIMO-OFDM sistemlerinde alıcı sinyali yeniden elde edebilmek için kanalların durum bilgilerine (CSI) ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer alıcı tarafta kanal durum bilgisi tam olarak kestirilemezse gönderilen verilerin doğru bir biçimde alınması mümkün olmayacaktır (Barhumı, I., 2003 & Li, J., 2004). Şekil 1'de bir MIMO-OFDM sisteminin blok diyagramı görülmektedir.

Bir MIMO-OFDM sisteminde gelen ikili veriler, modülasyon işleminden alıcı ve verici anten sayısına bağlı olarak ayrılmaktadır. Her bir antene bağlı yapıda tek girişli tek çıkışlı OFDM yapısı yer almaktadır. Her bir koldaki seri veri akışı IFFT'si alınabilmesi için seri-paralel dönüştürücüden geçer. OFDM sisteminde dikgenliği sağlayan ters hızlı fourier dönüşümü işlemi (N veri sembollerinin blokları üzerinde) vericide gerçekleştirilmekte ve bunu IFFT bloğunun paralelden seriye dönüştürülmüş çıkışının ilk "v" örneğinin kopyasını içeren "v" uzunluklu çevrimsel ön ek ekleme işlemi izlemektedir. "j." alıcı antende "i." verici

antenden gönderilen sembollere ait çevrimsel ön ek kaldırılır ve FFT'si alındıktan sonra işaret Denklem 1'deki gibi olur (Minn, H., et al. 2005).



Şekil 1. MIMO-OFDM blok diyagramı.

$$Y_j[n, k] = \sum_{i=1}^{N_r} X_i[n, k]H_{i,j}[n, k] + N_j[n, k] \quad (1)$$

Bu ifade;  $H_{i,j}[n, k]$  "i." verici ile "j." alıcı anten arasındaki frekans cevabı,  $X_{i,j}[n, k]$  iletilen OFDM sembolü ve  $N_j[n, k]$  ise  $\sigma_n^2$  varyans ve sıfır ortalamalı toplamsal beyaz Gauss gürültüsüdür (Minn, H., et al. 2005).

### 3. KANAL KODLAMA TÜRLERİ

#### 3.1. Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrol Kodları

Düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları, eşlik-kontrol matrisi H'nin düşük yoğunluklu olarak l'lere sahip olduğu bir tür blok kodudur. "Düşük yoğunluk" ile kastedilen kodun özelliğini belirleyen eşlik-kontrol matrisinin blok kodunun matrisine göre daha az sayıda "1", daha fazla sayıda "0" içermesidir. "H" eşlik kontrol matrisinin yapısı Denklem 2'de gösterildiği gibidir (C. Yıldız, 2006).

$$H = k \begin{Bmatrix} \overbrace{1 \dots 1 \dots 1}^n \\ \vdots \\ \dots 1 \dots \\ \vdots \\ \dots 1 \dots \\ \vdots \\ \dots 1 \dots \\ \vdots \\ \dots 1 \dots \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları düzenli LDPC kodları ve düzensiz LDPC kodları olarak ikiye ayrılır.

#### 3.1.1. Düzenli Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrol Kodları

Düzenli LDPC kodu, H eşlik-kontrol matrisinin, her bir sütununun aynı  $w_c$  sayıda 1 içermesi ve her bir satırının da aynı  $w_r = w_c(n/m)$  sayıda 1 içermesiyle oluşturulur. Burada "m", "n-k" tane eşlik-kontrol bitini gösterir ve  $w_c \ll m$  'dir. Kod oranı  $R = k/n$  olduğundan, bu parametreler ile kod oranı arasında  $R = 1 - w_c/w_r$  şeklinde bir ilişki mevcuttur (C. Yıldız, 2006).

### 3.1.2. Düzensiz Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrol Kodları

H düşük yoğunluklu olduğu halde her bir satır ve sütunundaki 1'lerin sayısı sabit değilse, o zaman bu koda düzensiz düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodu denir. Richardson (T. J. Richardson, 2001) ve Luby (M. G. Luby, 2001) düzensiz düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodlarının derece dağılım polinomlarını  $\lambda(x)$  ve  $\rho(x)$  olarak tanımlamışlardır ve bu tür kodların bu polinomlarla kanalların özelliklerine göre nasıl uygunlaştırılacağını göstermişlerdir. Düzensiz düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları için  $w_c$  ve  $w_r$  parametreleri satır ve sütun sayılarının fonksiyonudur ve gösterimleri farklıdır. Bunun yerine literatürde kullanılan değişken düğüm ve kontrol düğümü derece dağılım polinomları  $\lambda(x)$  ve  $\rho(x)$  tarafından elde edilir ve gösterilirler (T. J. Richardson, 2001). Bu polinomlar Denklem 3 ve Denklem 4'te gösterildiği gibidir.

$$\lambda(x) = \sum_{d=1}^{d_v} \lambda_d x^{d-1} \quad (3)$$

dir. Burada;  $\lambda_d$ , tüm köşelerin d-dereceli değişken düğümlere bağlandığı parçayı belirtir.  $d_v$ , maksimum değişken düğüm derecesidir. Aynı şekilde;

$$\rho(x) = \sum_{d=1}^{d_c} \rho_d x^{d-1} \quad (4)$$

dir. Burada;  $\rho_d$ , tüm köşelerin d-dereceli kontrol düğümlerine bağlandığı parçayı gösterir.  $d_c$  ise maksimum kontrol düğüm derecesidir.

### 3.1.3. LDPC Kod Çözümü

#### 3.1.3.1. Yinelemeli Kod Çözümü

Bir yinelemeli kod çözme yolu olan bit-çevirme algoritması, her bir alınan bitin anlık kuvvetli kararı (0 veya 1) değerlendirmesine dayanmaktadır. Yinelemeli kod çözmenin yapılabilmesi için gerekli olan kodun, Tanner grafiğindeki düğümler arasındaki mesajların geçişidir. Bit-çevirme algoritması için mesajlar basittir. Eğer alınan bit "1" ya da "0" ise, tanımlanan düğüme bağlı olan bit düğümü kontrol düğümlerinin her birine alınan mesajı gönderir ve her kontrol düğümü eşlik kontrol eşitliğinin sağlanması ya da sağlanmaması durumuna bakmaksızın bit düğümünün her birine mesajı gönderir (C. Di, D. Proietti, 2002).

#### 3.1.3.2. Toplam-Çarpım Kod Çözümü

Toplam-çarpım kod çözüm algoritması ilk olarak Gallager tarafından 1962'de sahte-rasgele yapıldı LDPC kodlarını içeren tezinde tanıtılmıştır (S. Y. Chung,2001). Toplam-çarpım algoritmasıyla çözülmüş "10<sup>7</sup>" blok uzunluklu yüksek kullanımlı düzensiz LDPC kodları Shannon'un limit değerine iki girişli toplamsal beyaz Gauss gürültülü kanalda, desibelin yüzde birine yaklaşabildiği bilinmektedir (S. Y. Chung,2001).

Toplam-çarpım algoritması bit-çevirme algoritmasına benzer düşünülebilir. Fakat her kararı temsil eden mesajlar ile olabilir değerler logaritmik olasılık oranlarıyla sunulur. Bit-çevirimi kod çözümü, kanaldan alınan değer anlık kuvvetli karar sonucunda ikili olarak sonuçlandırıldığı, yani kanaldan alınan değer pozitifse "0" negatifse "1" olduğu bir algoritmadır. Kuvvetli karar kullanmanın kod çözerken tek kusuru sinyalin güvenilirliğine bağlı olan bilginin yani yumuşak bilginin atılmasıdır. Alınan değerlerin büyüklüğü kararın güvenilirliğinin ölçüsüdür. Toplam-çarpım kod çözümleri gibi yumuşak karar kod çözümleri, iletilen sinyal için olası ifadeleri elde etmek için kanal özelliklerinin bilgileriyle birlikte alınan yumuşak bilgiyi kullanır (Sarah J., 2002).

İkili sinyal için "1" olma olasılığı "p", "0" olma olasılığı "1-p" ise logaritmik olasılık oranı (LLR) Denklem 5'deki gibi gösterilebilir (Sarah J., 2002).

$$LLR(p) = \log_e \left( \frac{1-p}{p} \right) \quad (5)$$

LLR'nin işareti kuvvetli karardır ve  $|LLR(p)|$ 'nin büyüklüğü bu kararın güvenilirliğidir. Olasılıkların logaritmik gösteriminin yararı; uyarılma karmaşıklığını azaltmak için sonucun olasılıkların çarpımı olmasına rağmen, logaritmik olasılık oranlarının toplamıdır. Toplam-çarpım kod çözümünün amacı; kod kelimesindeki her bit için sonsal olasılıkların (APP) hesaplanmasıdır. APP,  $P_i = P\{c_i = 1/N\}$  tüm eşlik kontrol kısıtlamalarının sağlandığı "i." kod kelimesinin bitinin "N" durumunda "1" şartlı olasılığıdır. İçsel veya önsel olasılık  $P_i^{int}$ , kod kısıtlama bilgilerinden bağımsız orjinal olasılıktır ve dışsal olasılık  $P_i^{ext}$ , "N"

durumundan ne öğrenildiğini temsil eder [17]. Toplam-çarpım algoritması yinelemeli olarak her bitin yaklaşık APP değerini hesaplar. Eğer kod periyodik değilse yaklaşımlar kesindir. Bir periyoddaki kontrol sınırlamalarında elde edilen dışsal bilgi, sonraki yineleme için önsel bilgi olarak kullanılır. Eşlik kontrol sınırlamasından elde edilen dışsal bit bilgisi, yinelemenin başlangıcındaki bit için önsel değerinden bağımsızdır. Sonraki yinelemelerden sağlanan dışsal bilgi, periyod yoluyla bilginin döndürülmesine kadar orjinal önsel olasılıktan bağımsız kalır (Sarah J., 2002). “j.” eşlik kontrol denkleminde kod kelimesinin “i.” dışsal olasılığını hesaplamak için, “i.” bitin “1” olduğu kabul edilerek bu olasılık hesaplanır ve eşlik kontrol eşitliği sağlanır. Bu olasılık diğer kod kelime bitlerinin tek numaralı bitlerinin 1 olduğu olasılıktır.

$$P_{i,j} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \prod_{i' \in B_j, i' \neq i} (1 - 2P_{i'}^{\text{int}}) \quad (6)$$

Denklem 6;  $P_j$  notasyonu ilgilenilen kodların “j.” eşlik kontrol denklemindeki bitlerin kolon yerlerini gösterir. Denklem 6 logaritmik olasılık notasyonunun içine konulursa;

$$LLR(P_{i,j}^{\text{ext}}) = \log_e \left( \frac{1 + \prod_{i' \in B_j, i' \neq i} \tanh(LLR(P_{i'}^{\text{int}}) / 2)}{1 - \prod_{i' \in B_j, i' \neq i} \tanh(LLR(P_{i'}^{\text{int}}) / 2)} \right) \quad (7)$$

Denklem 7 elde edilir. Her yinelemedeki “i.” bitinin tahmin edilen APP’nin LLR’si basitleştirilirse Denklem 8 elde edilir.

$$LLR(P_i) = LLR(P_i^{\text{int}}) + \sum_{j \in A_i} LLR(P_{i,j}^{\text{ext}}) \quad (8)$$

Burada  $P_i$ , kodun “i.” bitin eşlik kontrol denklemlerinin satır yerlerinin gösterimidir.

### 3.2. Uzay-Zaman Blok Kodlaması

Çok sayıda verici ve alıcı antenin kullanılmasıyla telsiz iletişim sistemlerinin kapasiteleri oldukça artmaktadır. Telsiz kanallar üzerinden iletim hızını (data rate) arttırmanın en etkin yaklaşımlarından bir tanesi çok sayıda verici antenine uygun olan kodlama tekniğidir. Bu kodlama tekniklerinden biri de uzay-zaman kodlamasıdır. Uzay-zaman kodlaması çok sayıda verici anten ile kullanılmak üzere tasarlanmış kodlama tekniğidir. Bu kodların uzay-zaman yapıları basit bir alıcı yapısı içeren telsiz sistemlerin kapasitelerini arttırmakta kullanılabilir (Naguib, A., 2000). “N” tane verici ve “M” tane alıcı anteni içeren uzay-zaman (ST) kodlaması uygulanmak istensin. “ $l$ ” anında bilgi simgesi  $s^{(l)}$  uzay-zaman kodlayıcı tarafından “N” tane kod simgesine,  $c_1(l), c_2(l), \dots, c_N(l)$  kodlanır. Her kod simgesi farklı antenlerden aynı anda iletilirler. Kodlama kazancının ve çeşitleme kazancının alıcıda maksimum olacağı biçimde, kodlayıcı iletilecek olan “N” tane kod simgesini seçer (Naguib, A., 2000).

Farklı alıcılara ulaşan işaretler bağımsız sönmülemelere uğrarlar. Alıcıda elde edilen işaret “N” tane iletilen işaretin sönmülemeli haliyle gürültünün bileşimi şeklindedir. Kanalin düz sönmülemeli ve kodlanmış işaretlerin ortalama enerjilerinin “1 joule” olduğu varsayımı altında, Es her giriş simgesi için tüm antenlerden iletilmiş olan toplam enerji olarak tanımlansın. Bu durumda her simge için iletim antenlerinin enerjileri  $E_s / N$  ‘dir.  $r_j(l), j = 1, \dots, M$  için, “j.” alıcı antende elde edilen işaret olarak tanımlarsak, ideal zamanlama ve frekans bilgileriyle  $r_j(l)$ ’yi Denklem 9’daki gibi yazabiliriz,

$$r_j(l) = \sqrt{\frac{E_s}{N}} \sum_{i=1}^N h_{ij}(l) c_i(l) + n_j(l), \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

Burada  $n_j(l)$  çift yönlü güç spektral yoğunluğu  $N_0 / 2$  olan sıfır ortalamalı beyaz Gauss gürültü sürecidir.  $h_{ij}(l)$ , “i.” verici antenden “j.” alıcı antene karmaşık sönmülemeli kanal kazancını modellemektedir. Verici ve alıcı arasındaki her bir kanalın birbirinden bağımsız olduğu varsayılmaktadır (Naguib, A., 2000).

“N” tane antenden “ $l$ ” anında gönderilen  $N \times 1$  boyutlu kod vektörü  $c_l = [c_1(l), c_2(l), \dots, c_N(l)]^T$  olarak, “j.” alıcıyla “N” tane iletim anteni arasındaki kanallar;  $h_j(l) = [h_{1j}(l), h_{2j}(l), \dots, h_{Nj}(l)]^T$  olarak ve alınan işaret vektörü de  $r(l) = [r_1(l), r_2(l), \dots, r_M(l)]^T$  olarak ifade edilmiş olsun. “N” tane verici anten ile “M” tane alıcı anten arasındaki kanalı  $M \times N$

boyutlu,  $H(l)$  matrisini de  $H(l) = [h_1(l), h_2(l), \dots, h_M(l)]^T$  şeklinde ifade edebiliriz. Bu durumda Denklem 9 yeniden yazılarak Denklem 10 elde edilir.

$$r_j(l) = \sqrt{\frac{E_s}{N}} H(l) c_1 + n(l) \quad (10)$$

herbir alıcıda elde edilen SNR Denklem 11'deki gibi yazılabilir.

$$\text{SNR} = \frac{E_s}{N_0} \quad (11)$$

Alamouti, 2 tane verici anteni kullanarak kod çözme karmaşıklığını azaltacak mükemmel bir yapı önermiştir. Alamouti'nin önerdiği yapı 2 verici antene ilişkin olduğundan Tarokh (Tarokh, V., 1997), Alamouti'nin yapısını farklı sayıda verici anten için genelleştirme yollarını aramıştır. Bu araştırma sonucu uzay-zaman blok kodlama kavramı ortaya çıkmıştır (Liew, T. H. 2002). Uzay-zaman blok kodlarını, Alamouti'nin önerdiği 2 verici anten yerine çok sayıda verici anten için oluşturabilmek amacıyla genelleştirilmiş dik tasarım teorisinden yararlanılmıştır (V. Tarokh, 1998). İletilecek olan "x" işareti ile çeşitli kanallardan iletmek üzere bu işaretin vericide oluşturulmuş bir çok kopyasının arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir uzay-zaman blok kod ( $n \times p$ ) boyutlu iletim matrisi ile tanımlanır. Matris elemanları,  $k$ 'lı giriş simgeleri  $x_1, x_2, \dots, x_k$  ve bu simgelerin eşlenikleriyle veya doğrusal bileşimleriyle oluşturulur.  $k$ 'lı giriş simgeleri  $x_i, i = 1, \dots, k$  iletim çeşitlemeli kanal üzerinden gönderilmek üzere bilgi taşıyan ikili bitleri ifade etmek için kullanılmaktadır.  $2b$  tane farklı işarete sahip bir işaret kümesinde "b" tane ikili bit  $x_i$  simgesini ifade etmek için kullanılır. Bundan dolayı ( $k \times b$ ) ikili bit bloğu, aynı anda uzay-zaman blok kodlayıcıya gönderilir. "k" tane giriş simgesini iletmek için kullanılan zaman dilimi sayısı "n" ve verici anten sayısı "p" ile ifade edilirse uzay-zaman blok kodun iletim matrisi yapısı Denklem 12'deki gibidir (Liew, T. H. 2002).

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} & \cdot & \cdot & \cdot & g_{p1} \\ g_{12} & g_{22} & g_{32} & \cdot & \cdot & \cdot & g_{p2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \quad (12)$$

Burada  $g_{ij}$  değerleri  $x_1, x_2, \dots, x_k$  simgeleri ve bunların eşleniklerini veya doğrusal bileşimlerini ifade etmektedir.  $g_{ij}$  değerleri,  $i = 1, \dots, p$  iletim antenlerinden her zaman dilimi  $j = 1, \dots, n$  içerisinde aynı anda iletilmektedir. Örneğin, 2. zaman diliminde ( $j = 2$ ),  $g_{12}, g_{22}, \dots, g_{p2}$  işaretleri aynı anda  $Tx:1, Tx:2, \dots, Tx:p$  antenlerinden gönderilirler. Matris yapısından da görüldüğü gibi kodlama hem uzayda hem de zamanda yapılmaktadır (Liew, T. H. 2002). Uzay-zaman blok kodu tanımlayan ( $n \times p$ ) iletim matrisi karmaşık dik tasarım üzerine oluşturulmuştur.  $n$  tane zaman diliminden  $k$  tane simge iletildiğinden uzay-zaman blok kodun kodlama oranı Denklem 13'deki gibidir (Liew, T. H. 2002).

$$R = k / n \quad (13)$$

Alıcı tarafta istenilen sayıda anten kullanılabilir. "q" tane alıcı anten kullanılması durumunda oluşacak çeşitleme düzeyi ( $p \times q$ ) olacaktır. İncelenen bu durumda çeşitleme kanallarının düz sönümlenmeye uğradığı varsayılmaktadır. Frekans seçici sönümlenmeli kanallarda yüksek iletim hızlarında aynı koşulların sağlanabilmesi için yüksek hızlı bit dizileri çok sayıda düşük hızlı bit dizilerine ayrılır ve düz sönümlenmeli kanallar üzerinden gönderilirler. Bu koşullar dikgen frekans bölme modülasyon sistemi ile de gerçekleştirilebilmektedir (Liew, T. H. 2002).

Uzay-zaman blok kodlama Rayleigh/Ricean ortamlarda çok sayıda verici anteni ile iletim için basit ve etkili bir tekniktir. Bu kodlar doğrusal işleme dayalı basit bir ML (maksimum olabilirlik) kod çözme algoritmasına sahiptir. Bu kodlamayla belirtilen verici ve alıcı antenleriyle sağlanabilecek tam çeşitleme sağlanmaktadır. Yukarıda belirtilen genel yapı çerçevesinde kullanılan modülasyon tekniğine göre uzay-zaman blok kodlar, genelleştirilmiş gerçel ya da karmaşık dik tasarım olarak ifade edilmektedirler (V. Tarokh, 1998).

### 3.3. Konvolüsyon Kodları

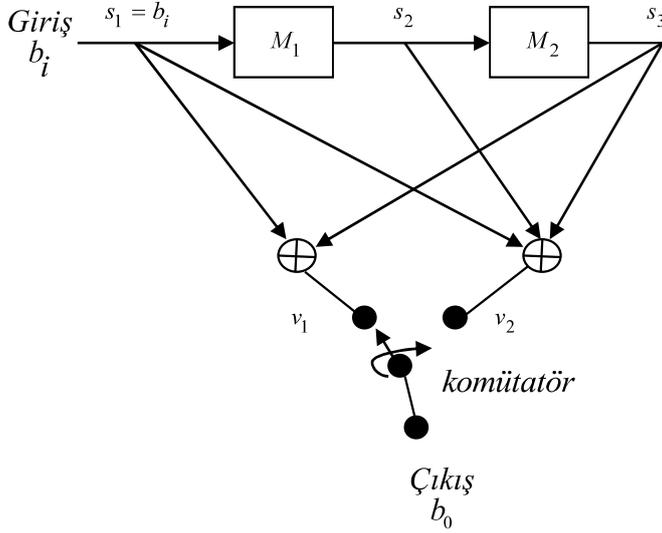
#### 3.3.1. Kod Üretimi

Konvolüsyon kodları, "K" sayıda kaydırmalı kaydedicinin çıkışlarını "ÖZEL VEYA" lojik toplayıcılar kullanılarak toplanmasıyla üretilirler.  $K = 2$  ve  $v = 2$  çıkış için bu kodlayıcı Şekil 2.'de gösterilmektedir (A. J. Viterbi, 1979).

Burada; M1 ve M2 “1” bitlik hafıza elemanlarıdır. Toplayıcıların v1, v2 çıkışları; Denklem 14 ve Denklem 15'de verilmiştir.

$$v_1 = s_1 \oplus s_3 \quad (14)$$

$$v_2 = s_1 \oplus s_2 \oplus s_3 \quad (15)$$



Şekil 2. Konvolüsyon kodlayıcı (A. J. Viterbi, 1979).

Kodlayıcının çalışması şu şekildedir; başlangıçta kaydırmalı kaydedicinin boş olduğu kabul edilmektedir. Giriş veri bitleri dizisinin birinci biti, M1'e girilir. Bu bit aralığı süresince komütatör toplayıcıların (v1,v2) çıkışlarını örnekler. Bu durumda mevcut zamanda “1” bitlik giriş kodlanmış “2” bitlik çıkışı verir. Bu nedenle kodlayıcının kod oranı 1/2'dir. Takip eden bit kodlayıcıya girilirken önceki bit M1'den M2'ye aktarılır ve komütatör tekrar tüm toplayıcı çıkışlarını örnekler. Bu işlem mesajın son bitinin M1'e girilmesine kadar devam eder. Bundan sonra, bütün mesaj bitlerinin işleme alınması ve dolayısıyla komple kodlama işlemi gerçekleştirilmesi için, hafıza elemanı sayısınca “0” bitleri kodlayıcıya girilir ve bunlar da kodlanır. Sonuçta en son mesaj biti M2 kaydırmalı kaydediciyi terk ettirilmiş, hafıza elemanları boşaltılmış ve kodlayıcı sonraki mesajlar için hazır hale getirilmiş olur.

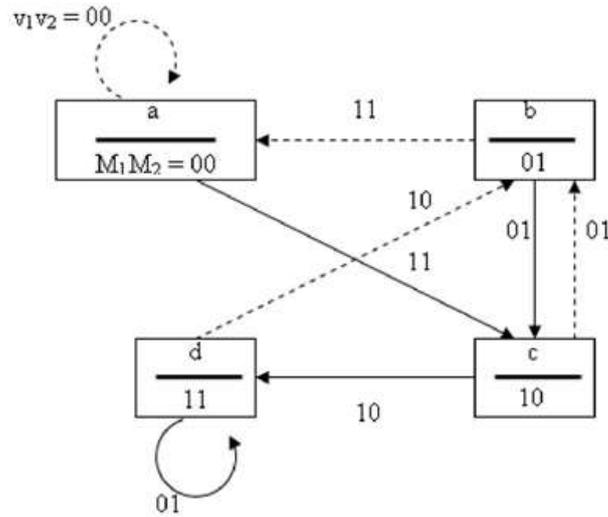
Eğer mesaj dizisindeki bitlerinin sayısı L ise, çıkışta elde edilen kodlanmış dizideki bitlerin sayısı v(L+K) olur. Uygulamanın bir gereği olarak K nispeten çok küçük sayı iken, L genellikle oldukça büyük bir sayıdır. Bu yüzden  $v(L+K) \approx vL$  'dir. Sonuç olarak kod bitlerinin sayısı, v kere mesaj biti sayısıdır. Bu yüzden kodun kod oranı 1/v'dir (A. J. Viterbi, 1979).

Konvolüsyon kodlayıcının işlemi sürekli bir işlemdir, giriş bitlerinin sayısı ne kadar çok olursa olsun dizi kodlayıcıda sürekli şekilde işlenir. Her bit, kaydırmalı kaydedicinin bölümlerinde mesaj bitleri aralığı kadar bekler. Dolayısıyla her bir giriş biti “v” bitlerinin “K” grubunu etkiler. Kodlanmış çıkış, kaydırmalı kaydedicinin bölümlerinin “K” sayısına, kullanılan “ÖZEL VEYA” toplayıcıları sayısına ve kaydırmalı kaydedicinin bölümlerinin toplayıcılara bağlantı şekline bağlıdır.

### 3.3.2. Durum ve Kafes Diyagramı

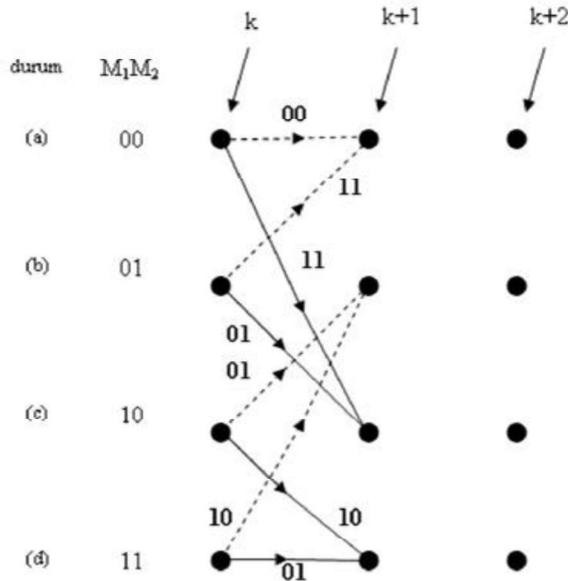
Bir konvolüsyon kodlayıcı, durum diyagramı tarafından tanımlanabilir. Şekil 2.'deki konvolüsyon kodlayıcı göz önüne alınır.

Kod oranı 1/2 olan kodlayıcıda;  $v_1 = s_1 + s_3$  ve  $v_2 = s_1 + s_2 + s_3$ 'tür. Her bir “k” aralığındaki v1 ve v2 çıkışları, o aralığın başlangıcında kodlayıcıya girilen bite ve kodlayıcının önceki durumuna bağlıdır. Bu yüzden Şekil 2.'deki kodlayıcının hafıza elemanlarının  $M_1M_2 = 00, 01, 10$  ve  $11$  olan mümkün 4 durumu sırasıyla a, b, c ve d olarak isimlendirilir (A. J. Viterbi, 1979). Herhangi bir giriş dizisine kodlayıcının cevabı Şekil 3.'deki durum diyagramı ile gösterilir. Burada dört durum ve aralarındaki geçişler oklar ile gösterilmiştir. Kesik çizgili oklar kodlayıcıya girilen “0” bitinin sağladığı geçişi, düz oklar kodlayıcıya girilen “1” bitinin sağladığı geçişi temsil eder (A. J. Viterbi, 1979).



Şekil 3. Konvolüsyon kodlayıcı için durum diyagramı.

Her bir ok, durum ve sonraki giriş tarafından belirlenen kodlayıcı çıkışı  $v_1v_2$  şeklinde geçiş üzerinde işaretlenir. Örneğin kodlayıcının “k” aralığında  $a(M_1M_2 = 00)$  durumunda olduğunu ve k+1 aralığında  $M_1$ 'e “1” bitinin girildiğini kabul edelim. Bu durumda, bu giriş biti kodlayıcının “c” durumuna geçmesine neden olacaktır. k+1 aralığı süresince kodlayıcı  $c(M_1M_2 = 10)$  durumda olur ve  $v_1v_2 = 11$  çıkışı üretir. Her bir durumda kodlayıcıya “0” ya da “1” bitinin girileceği olasılığı dikkate alınarak benzer şekilde durum diyagramının çizimi tamamlanır. Konvolüsyon kodlayıcı için diğer bir gösterim yolu ise Forney tarafından geliştirilen kafes diyagramıdır (G. D. Forney, 1973). Şekil 4.'te gösterildiği gibi kodlayıcı için kafes diyagramı, giriş biti 0 olduğu zaman üst dalı, 1 olduğu zaman alt dalı izler (A. J. Viterbi, 1979).



Şekil 4. Konvolüsyon kodlayıcı için kafes diyagramı (a. J. Viterbi, 1979).

“k” aralığında kodlayıcının “b” durumunda olduğunu varsayalım. Sonraki giriş biti “a” durumuna ya da “c” durumuna giden iki dalın birisi üzerinden taşınacaktır ve k+1 aralığı süresince kodlayıcı yeni durumda kalacaktır. İkinci bit kodlayıcıyı k+1'den k+2'ye “a” durumundan 2 ve “c” durumundan 2 olmak üzere 4 mümkün dalın herhangi biri üzerinden taşıyacaktır. Önceki durumların her birinden ayrılan dal sayısı 2'dir. 4 durum olduğuna göre k+2'den k+3'e geçmek için mümkün dalların sayısı  $4 \times 2 = 8$  olur. Bundan sonra elde edilen dalların sayısı her zaman 8'dir. O zaman kafes içindeki olası yolların toplam sayısı  $2 \times 4 \times 8 \times 8 \times \dots$  'dir. Kafes içinde k'dan  $k+l$ 'ye olası toplam yol sayısı  $8^{l-1} = 2^{3(l-1)}$  olur (A. J. Viterbi, 1979).

Kafes yapısında bir düğümden başlayan ve bir başka düğüme sonlanan iki yol arasındaki minimum uzaklık öklid uzaklığı olarak tanımlanır. Kanal işaretleri  $a_n$  ve  $a'_n$  olarak alınırsa öklid uzaklığı  $d_2(a_n, a'_n)$  ile gösterilir.

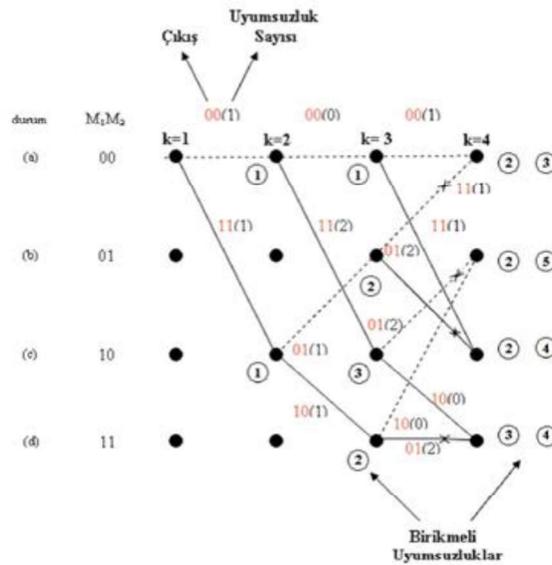
### 3.3.3. Konvolüsyon Kodlarda Kod Çözme ve Viterbi Algoritması

Konvolüsyon kodlayıcısının kodlama işlemi, hafıza elemanları boş olan kodlayıcı ile başlar. Sonra kodlayıcı içinden bilgi bitlerinin akışı sağlanarak kodlama yapılır ve kodlama işlemi bittikten sonra kodlayıcının boşaltılarak bir sonraki işlem için hazır hale getirilmesi sağlanır. Bunun için kodlanacak diziyen en son biti kodlayıcıyı terk edinceye kadar boş bit olarak anılan "0" bitleri eklenir. Kod çözme işleminde ise, başlangıç noktasından son noktaya kadar kafes diyagramındaki olası yolların tamamı hesaba katılır. Her mümkün giriş bitleri dizisi kendi yolunu üretir. Her bir yol için, kod çözücü bir çıkış bitleri dizisine karar verir. Karar verilen çıkış bitleri dizisi alınması olası bit dizileriyle karşılaştırılır. Karar verilen çıkış bitleri dizisi olası yollardan birisi ile özdeş ise bu yolun dikkate değer yol olduğu varsayılır. Eğer birbirilerine tam benzerlik yoksa o zaman alınan diziyen karşılaştırıldığında en az bit uyumsuzluğu üreten bir yol, giriş dizisi olarak kabul edilir. Yolların sayısı dizi uzunluğu ile üstel olarak artar (A. J. Viterbi, 1979).

Viterbi algoritmasını açıklamak ve göstermek için Şekil 2.'deki konvolüsyon kodlayıcısı kullanılır. Başlangıçta kodlayıcının boş olduğu kabul edilirse, kodlayıcı Şekil 4'teki "a" durumundadır ( $M1M2 = 00$ ). 5 bitlik bir enformasyon dizisi kodlayıcıda kodlandıktan sonra iletilsin ve iletim sonunda çıkış bitleri ( $v1R, v2R$ ) Denklem 16'daki gibi alınmış olsun (A. J. Viterbi, 1979).

$$V_{1R}, V_{2R} = 10\ 00\ 10\ 00\ 00 \quad (16)$$

Başlangıç durumu "a" olduğundan eğer ilk enformasyon biti "0" olursa alınan ilk bit çifti "00", "1" olursa alınan ilk bit çifti "11" olur. Bu durumda alınmış olan ilk bit çifti "10" olduğundan her iki durumla da uyumsuzdur ve hata oluşmuştur (A. J. Viterbi, 1979).



Şekil 5. Kafes boyunca mümkün yollarının gösterilmesi (A. J. Viterbi, 1979).

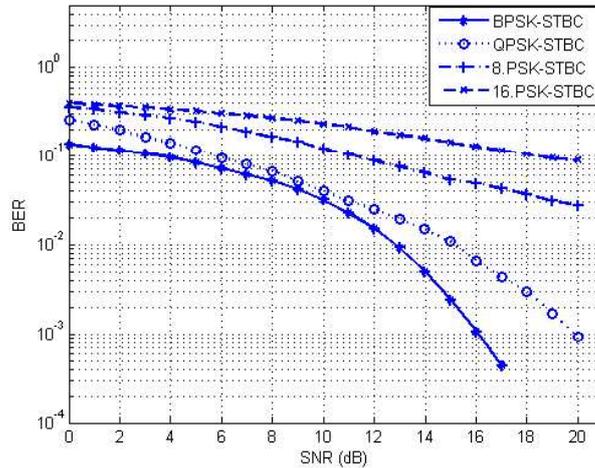
Kodlayıcının kafes diyagramında gösterildiği gibi, mümkün yollardan kodlayıcıya doğru kod çözme algoritmasını izleyelim.  $k=1$  aralığında giriş bitinin "0" olması durumunda, "00" çıkışı üretilir ve kodlayıcı tekrar "a" durumuna döner (kesikli çizgi). Giriş bitinin "1" olması durumunda, "11" çıkışı üretilir ve kodlayıcıyı "c" durumuna gider. Bu yolla kafes diyagramı Şekil 5'te gösterildiği gibi çizilir. Alınan dizinin bitleri kafes diyagramındaki yolları birleştirilen bitler ile karşılaştırılır. Her bir periyoddaki uyumsuzlukların sayısı Şekil 5.'te parantez içinde gösterilmiştir. Gerçek çıkış ile "10" arasındaki uyumsuzluk bitlerinin sayısı aynıdır. Sonraki aralıkta, giriş "0" olunca çıkış tekrardan "00" olmalıdır ve alınan bitlerle karşılaştırıldığında uyumsuzluk yoktur. Sonuç olarak, her bir duruma ulaşıldığında karşılaşılan bit uyumsuzluklarının toplamı çember içinde Şekil 5.'te gösterilmiştir. Viterbi algoritması bu şekilde çizilen kafes diyagramındaki toplam uyumsuzluk sayısı en az olan yolu seçecektir ve kod çözme işlemi gerçekleşecektir (A. J. Viterbi, 1979).

## 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Tablo 1. OFDM sistem parametreleri.

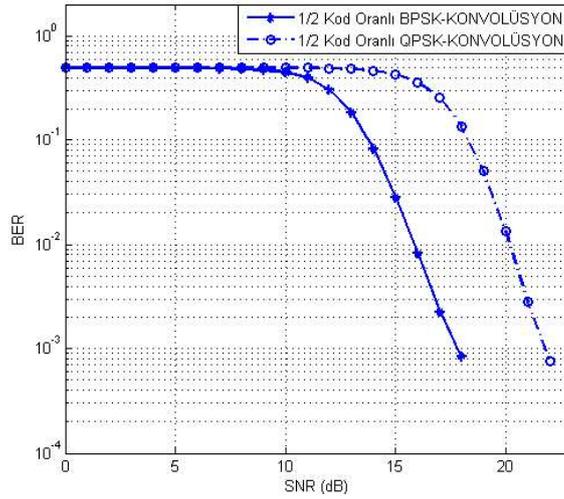
Parametre	Değeri
Örnekleme Frekansı ( $f_s$ )	20 MHz
Alt Taşıyıcı Sayısı	174
FFT Boyutu	256
Alt Taşıyıcı Frekans Boşluğu	$20\text{MHz}/256 = 0.078125 \text{ MHz}$
IFFT/FFT süresi ( $T_{\text{IFFT}}$ )	$12.8 \mu\text{s}$
Koruma Arası Süresi	$T_{\text{IFFT}} / 8 = 1.6 \mu\text{s}$
Kullanılan Modülasyon Tipi	BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, QAM
Kanal Tipi	AWGN

Bu bölümde Tablo 1'de parametreleri verilen çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullamalı sistemler için hata kontrol kodları olarak bilinen düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları, uzay-zaman blok kodları ve konvolüsyon kodları ele alınmıştır. Her üç kod için de BPSK sistemler ile toplamsal beyaz Gauss gürültülü kanal için performans analizleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları, uzay-zaman blok kodları ve konvolüsyon kodlarının ikili faz kaydırmalı anahtarlamalı sistemler üzerindeki bit hata oranı karşılaştırması matlab programıyla simüle edilerek verilmiştir.



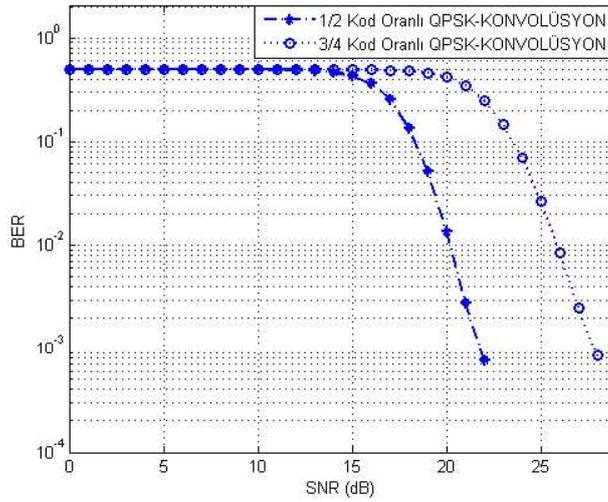
Şekil 6. 2x2 MIMO-OFDM BPSK, QPSK, 8.PSK ve 16.PSK kanal kodlama

Şekil 6.'da 2x2 MIMO-OFDM sisteminde BPSK, QPSK, 8.PSK ve 16.PSK iletim sistemleri uzay-zaman blok kodlar kullanılarak AWGN kanal üzerine uygulanmış ve BER-SNR karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde, STBC hata kontrol kodunun farklı iletim sistemlerinde aynı BER değerinde, farklı SNR oranlarında sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma şartlarına göre BPSK iletimli STBC hata kontrol kodu, QPSK, 8.PSK ve 16.PSK iletimli STBC hata kontrol kodlarına göre daha iyi bir kazanç sağlamaktadır.



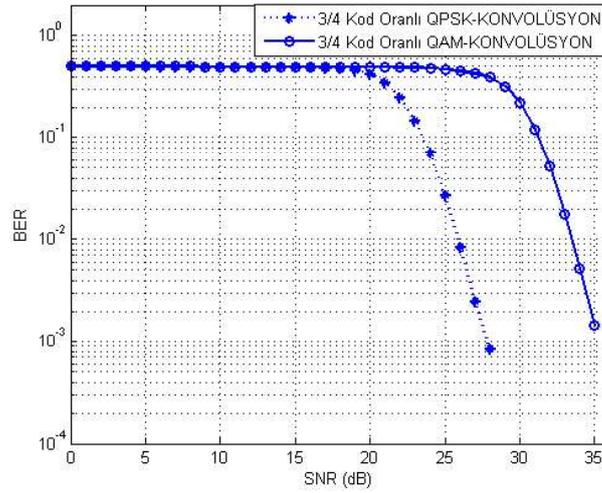
Şekil 7. 2x2 MIMO-OFDM 1/2 kod oranlı BPSK ve 1/2 kod oranlı QPSK

Şekil 7.'de 1/2 kod oranlı BPSK konvolüsyon ve 1/2 kod oranlı QPSK konvolüsyon kodlar AWGN kanal üzerine uygulanmış ve BER-SNR karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. SNR oranının düşük olduğu durumlarda BPSK ve QPSK iletiminde, BER oranında fazla değişiklik olmadığı ancak SNR oranı arttığında işaretler arasındaki öklit uzaklığının QPSK iletiminde BPSK iletimine göre daha az olması sebebi ile BER oranında kayda değer bir değişim olduğu görülmüştür. Buna karşılık aynı iletim ortamında QPSK iletiminde iletim hızı BPSK iletimine göre daha iyidir.



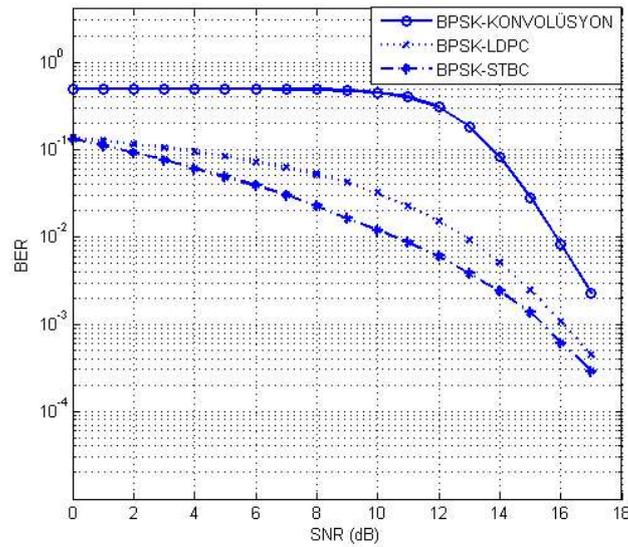
Şekil 8. 2x2 MIMO-OFDM 1/2 kod oranlı QPSK ve 3/4 kod oranlı QPSK

Şekil 8'te 1/2 kod oranlı QPSK konvolüsyon ve 3/4 kod oranlı QPSK konvolüsyon kodlar AWGN kanal üzerine uygulanmış ve BER-SNR karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. İnceleme neticesinde 1/2 kod oranlı QPSK iletiminin 3/4 kod oranlı QPSK iletimine göre aynı BER değerinde farklı işaret/gürültü oranlarında çalıştıkları görülmüştür. Sonuç olarak söylenebilir ki; 1/2 kod oranlı QPSK iletimi, 3/4 kod oranlı QPSK iletimine göre gürültüden daha az etkilenmektedir.



Şekil 9. 2x2 MIMO-OFDM 3/4 kod oranlı QPSK ve 3/4 kod oranlı QAM

Şekil 9’te 3/4 kod oranlı QPSK konvolüsyon ve 3/4 kod oranlı QAM konvolüsyon kodlar AWGN kanal üzerine uygulanmış ve BER-SNR karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. 3/4 kod oranlı QPSK iletiminin 3/4 kod oranlı QAM iletimine göre aynı BER değerinde farklı SNR oranlarında sonuç verdiği görülmektedir. Sonuç olarak söylenebilir ki 3/4 kod oranlı QPSK iletimi, 3/4 kod oranlı QAM iletimine göre gürültüden daha az etkilenmektedir.



Şekil 10. 2x2 MIMO-OFDM konvolüsyon, STBC ve LDPC kanal kodlama

Şekil 10.’de 1/2 kod oranlı BPSK iletimli konvolüsyon, 1/2 kod oranlı BPSK iletimli LDPC ve BPSK iletimli STBC kodlar AWGN kanal üzerine uygulanmış ve BER-SNR karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. İnceleme neticesinde AWGN kanalda, BPSK iletimli STBC hata kontrol kodunun, 1/2 kod oranlı BPSK iletimli konvolüsyon ve 1/2 kod oranlı BPSK iletimli LDPC hata kontrol kodlarına göre BER-SNR karşılaştırmasında daha iyi bir başarımlı sağladığı görülmüştür.

## 5. SONUÇ

Çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullamalı sistemlere, hata kontrol kodlarından birkaçı olan düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları, uzay-zaman blok kodları ve konvolüsyon kodları uygulanarak kanal kodlaması yapılmış ve ayrı ayrı performans analizleri incelenmiştir. Analiz sonucunda toplamsal beyaz Gauss gürültülü kanal ve ikili faz kaydırmalı anahtarlamalı sistemlerde, bit hata oranı-sinyal gürültü oranı karşılaştırmasında, uzay-zaman blok kodların diğer hata kontrol kodları olan düşük yoğunluklu eşlik kontrol kodları ve konvolüsyon kodlarına göre daha iyi performans sağladığı görülmüştür.

## **REFERANSLAR**

- A. F. Molisch, MIMO Systems with Antenna Selection – an Overview, Mitsubishi Research Laboratory, 2003.
- A. J. Viterbi and J. K. Omurga, Principles of Digital Communication and Coding, McGraw-Hill, New York, 1979.
- Barhumi, I., Geert, L., Moonen, M., “Optimal training Design for MIMO OFDM Systems in Mobile Wireless Channels”, IEEE Trans. On Signal Processing, vol. 51, No. 6, pp. 1615- 1624, June 2003.
- C. Di, D. Proietti, I. E. Telatar, T. J. Richardson, and R. L. Urbanke, Finitelength Analysis of Low-Density Parity-Check Codes on The Binary Erasure Channel, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 48, no. 6, pp. 1570-1579, 2002.
- C. E. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, Bell Syst. Tech. J., vol. 27, pp. 379-423, 623-656, 1948.
- C. Yıldız, Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrol Kodları Kullanan BPSK Sistemlerinin AWGN Kanal İçin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2006.
- Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services, European Telecommunications Standart, prETS 300 744, April 1996.
- E. Eryılmaz, Uzay-Zaman Blok Kodlarında Verici Anten Seçimi. Bitirme Çalışması, 2004.
- G. D. Forney, Jr., The Viterbi Algorithm, Proc. IEEE, 61, pp. 268-278, 1973.
- Gordon, L.S, John, R. B., Steve, W. M., Ye, L., Marry, A. I., “Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications”, Proceedings of the IEEE, vol. 92, No. 2, pp. 271-294, February 2004.
- Li, J., Liao, G., Wu, Y., “MIMO-OFDM Channel Estimation in Presence of Carrier Frequency Offset”, Proc. of the IEEE 6th CAS Sym. on Emerging Technologies Mobile and Wireless Comm. pp 685-688, Shangai China, June 2004.
- Liew, T. H. ve Hanzo L., 2002, Space-Time Codes and Concatenated Channel Codes for Wireless Communications, Proceedings Of The IEEE, Vol. 90, No. 2, 187- 219.
- M. G. Luby, M. Mitzenmacher, M. A. Shokrollahi, and D. A. Spielman, Improved Low-Density Parity-Check Codes Using Irregular Graphs, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, no. 2, pp. 585-598, 2001.
- Minn, H., Al-Dhair, N., “Training Signal Design for MIMO OFDM Channel Estimation in Presence of Frequency Offset”, Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2005), pp. 1-6, April 2005.
- Naguib, A., Seshardi, N. ve Calderbank, A. R., 2000, Space-Time Coding and Signal Processing for High Data Rate Wireless Communications, IEEE Signal Processing Magazine, 76- 91.
- Onizawa, T., et all, A Fast Synchronization Scheme of OFDM Signals for High Rate Wireless LAN, IEICE Transactions on Communications, E82-B(2), 455-463, 1999.
- R.W. Chang, Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission, Bell System Technical Journal, vol. 45, pp 1775-1796, December 1966.
- S. M. Alamouti, 1998, A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications, IEEE Journal on Select Areas In Communications, Vol. 16, No. 8., 1451- 1458.
- S. Y. Chung, G. D. Forney, Jr., T. J. Richardson, and R. Urbanke, on the Design of Low-Density Parity-Check Codes Within 0.0045 dB of the Shannon Limit, IEEE Commun. Letters, vol. 5, no. 2, pp. 58-60, 2001.
- S.B. Weinstein, P.M. Ebert, Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform, IEEE Transactions on Communications, vol. 19, no. 5, pp. 628-634, October 1971.
- Sampath, H., Taiwar, S., “A Fourth-Generation MIMO-OFDM Broadband Wireless Systems: Design, Performance, and Field Trial Results”, IEEE Communications Magazine, pp.143-149, September, 2002.
- Sarah J. Johnson, Steven R. Weller, Low-Density Parity-Check Codes: Design and Decoding, Technical Report EE02041, 2002.
- T. J. Richardson, M. A Shokrollahi, and R. L Urbanke, Design of Capacity Approaching Irregular Low-Density Parity-Check Codes, IEEE Trans. On Information Theory, Vol. 47, pp. 619–637, 2001.

Tarokh, V., Seshadri, N. ve Calderbank, A., 1997, Space-Time Codes For High Data Rate Wireless Communications: Code Construction, IEEE Vehicular Technology Conf., 637- 641.

V. Tarokh, N. Seshadri, A.R. Calderbank, (1998), "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction" IEEE Transactions on Information Theory, 44 (2), 744-765.



## Dağıtık Dosya Sistemi Kullanarak Sağlık Alanına Özel Dosya Sistemi Geliştirilmesi

### Developing a Health-Specific File System Using a Distributed File System

Mahmut ÜNVER<sup>1</sup>, Erdal ERDAL<sup>2</sup>, Atilla ERGÜZEN<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>. Kırıkkale Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

<sup>2</sup>. Kırıkkale Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 19/11/2018

Kabul/Accepted: 17/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

İnternet kullanımının artmasıyla birlikte özellikle bilgisayar, telefon ve tablet gibi dijital cihazların kullanımı artmıştır. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti kavramı gelişen teknolojiyle hayatımıza girmeye başladı. Sağlık sektörü, bu teknolojik gelişmelerden en çok etkilenen sektörlerden biridir. Sağlık sektöründe kullanılan dijital ekipmanlar, dünyada üretilen verilerinin %10'una sahiptir. Nesnelerin İnterneti kavramının sağlık alanına girmesi de bu alandaki veri büyüklüğünü hızla arttıran önemli faktör olmuştur. Bu çalışmanın amacı, sağlık sektöründe kullanılacak özel bir dağıtılmış dosya sistemi geliştirmektir. Önerilen yöntem, sağlık alanında veri depolamak için ölçeklenebilir, sağlam ve sunucusuz dağıtılmış bir mimari önermektedir. Sistemde, diğer dağıtık sistemlerden farklı olarak name node veya sunucu gibi çalışan bir makine bulunmaktadır. Güvenlik önceliklidir ve statik IP ve şifreleme yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen sistem, yüksek performans sağlar. Ayrıca, literatürde kullanılan diğer name node mimarisini kullanan sistemlere göre sistemin dayanıklılığı daha iyidir. Deney sonuçlarına göre geliştirilen sistem NoSQL sistemlerine göre% 93, ilişkisel veritabanı yönetim sistemlerine göre% 78 ve işletim sistemlerine göre % 71 daha iyi sonuç vermektedir.

#### Anahtar Kelimeler

Dağıtık Dosya Sistemi, Medikal Büyük Veri, Dosya Sistemi.

#### Abstract

With the increase of Internet usage, the use of digital devices, especially computers, telephones and tablets has increased. Besides, the concept of Internet of Things started to enter our lives with the developing technology. The health sector is one of the sectors most affected by these technological developments. It has 10% of all world data of digital equipment used in health sector. With the introduction of the Internet of Things concept into the field of health, the data size in this area has started to increase very rapidly. The aim of this study is to develop a health-specific distributed file system. The proposed method proposes a scalable, robust and serverless distributed architecture for storing data in the healthcare field. In the system, unlike other distributed systems, there isn't a machine running as name node or server. Security is prioritized, and static IP and encryption methods have been used. The proposed system provides high performance. In addition, the system has better durability compared to other name node architecture systems that is in the literature. According to experimental results, the developed system has a better result than 93% according to NoSQL systems, 78% according to relational database management systems and 71% compared to operating systems.

#### Key Words

Distributed File System, Medical Big Data, File System

## 1. GİRİŞ

Sonyıllarda çeşitli faktörler dünyada üretilen elektronik verinin büyüklüğünü son derece arttırmıştır. Bu faktörlerin en önemlisi kuşkusuz internet kullanımının yaygınlaşmasıdır. İnternet kullanan kişi sayısı, 2000 yılında dünya nüfusunun % 6'sı iken bu oran 2005 yılında %15,8'e, 2010 yılında %29,2'ye ve 2016 yılında %46,2'e yükselmiştir (Anonim, Internet Statics, 2016). Aynı şekilde, 2015 yılındaki anlık yaklaşık 3 milyar günlük ortalama internet kullanıcı sayısı, 1960 yılının dünya nüfusuna erişmiştir (Anonim, Virtualization&Cloud, 2017). 2016 yılında da bu sayı 3,4 milyara ulaşmıştır. Hergün dünya üzerinde 2,5 Exabyte veri üretilmektedir. Ayrıca şu anda dünyadaki verinin 90%'ı son iki yılda üretilmiştir. 2011 yılında dünya da üretilen toplam veri 295 Exabyte iken bu sayının 2023'te 163 Zettabyte'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Anonim, Mearian, 2018). Bu miktardaki büyük veri, farklı sektörler yoluyla ortaya çıkmaktadır. Bunların en önemlileri; sağlık, ticaret, eğitim, sanayi gibi faktörlerdir. Aynı şekilde, sosyal medya kullanımı da veri hacmini arttıran önemli bir faktördür.

Veri miktarı, sağlık sektöründe dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Teşhis için kullanılan elektronik tıbbi aygıtlar bu artışta önemli etkidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, 2011 yılında sağlık sektöründe üretilen veri miktarı 150 Exabyte iken bu sayının 2020 yılında 2,3 Zettabyte'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Dean 2009), (Erguzen ve Erdal, 2017).

Büyük veri hacminin artmasıyla, verinin depolanması ve yönetilmesi sorunu da ortaya çıkmaktadır. Bu problem klasik veri tabanı yönetim sistemleri ile çözülmeye çalışılmış ancak veri hacmi arttıkça veri tabanı yönetim sistemlerinin bu problemi çözemeyeci ortaya çıkmıştır. Bunun devamında da ilişkisel veri tabanlarının yerine dağıtık dosya sistemleri büyük veriyi yönetmek için kullanılmıştır.

Yapılan çalışma, hybrid bir mimarı ortaya çıkartmıştır. Sistem yapısında, işletim sistemi dosya yapısı ve dağıtık dosya mimarisi birlikte kullanılmıştır. Sunucusuz bir mimarı tasarlanmıştır. Dağıtık Dosya sistemlerinde var olan name node kullanılmamıştır. Name node'un görevi replica node tarafından yapılmaktadır. Name node'un çalışmaması nedeniyle ortaya çıkacak olan sistemin tamamının çalışmaması problemi ortadan kaldırılmıştır. Tüm sistemde sadece bir node kalsa bile sistem çalışmasına devam edebilmektedir. Bu da sistemimizin sahip olduğu özelliklerden biridir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Büyük veriyi yönetme ve depolama problemini çözmek için yapılan ilk dağıtık dosya sistemi çalışmaları 1975 yılında başlamıştır (Thomson ve Abadi, 2015). Bu çalışmalardan biri olan ROE mimarisinin amacı, replica tutarlılığı, kolay kurulum, dosyalara güvenli izin yetkilerinin verilmesi ve ağ şeffaflığıdır (Ellis ve Floyd., 1983). Network File System (NFS), 1984 yılında Sun Microsystems tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. UNIX sistemlerde en çok kullanılan DFS'dir. Communication için Remote Procedure Call (RPC) modelini kullanır (Sandberg, Goldberg, Kleiman, Walsh ve Lyon, 1985). Temel tasarım yapısı, klasik Unix dosya sisteminin dağıtık çalıştırılmasıdır. Sanal dosya sistemi, bir ara katman gibi kullanılmıştır. Bu sayede, istemciler farklı dosya sistemleriyle kolayca çalışabilmektedirler. NFS'te hata toleransı yüksektir. Dosyaların durumları ile ilgili bilgi tutulur, istemciden kaynaklanan bir hata durumunda sunucu haberdar edilir. NFS'te dosya replicationu yapılmaz. Tüm sistem replication yapılıdır. Dosyalar önbellekleme sonrası önbellekteki kopya ile serverdaki kopya karşılaştırılır. Zamanları farklı ise dosya değişmiş demektir ve önbellekteki atılır (Coulouris, Dollimore, Kindberg ve Blair., 2011). NFS ile sadece dosya sistemi paylaşılabilir, yazıcı ve modem paylaşılabilir. Paylaşılacak olan nesnelere, bir dizinin(directory) parçası olabileceği gibi bir dosya da olabilir. NFS'de her uygulamanın yerel diske kurulması gerekli değildir. Server üzerinden uygulamalara paylaşım sağlanabilir. Aynı makine hem server hem client olabilir. Bütün bunların sonucunda NFS, veri depolama maliyeti düşük bir sistem olarak ortaya çıkmıştır.

2006 yılında duyurulan, CEPH dosya sistemi, nesne depolama işlemi yapan benzer sistemlerin bir üst katmanında yer alır. Bu katman, data ve metadata yönetimini ayırır. Bunu güvenilir nesne depolama aygıtları (OSDs) için tasarlanmış olan rasgele veri dağıtma fonksiyonu (CRUSH) ile gerçekleştirir. Bu fonksiyonu allocation tablosu yerine koyar. CEPH ile dağıtık veri replikasyonu, hata algılama ve kurtarma işlemleri, yerel dosya sisteminde çalışan nesne depolama aygıtlarına dağıtılır. Bu sayede, sistem performansı güçlendirilmiş olur (Weil, Brandt, Miller, Long ve Maltzahn, 2006).

2007'de Hadoop Dağıtık Dosya Sistemi ile MapReduce paralel hesaplama yönteminden meydana gelen Hadoop tanıtılmıştır. Çok büyük veri (big data) kümelerinin analizi ve dönüştürülmesini sağlayan bir frameworktur. HDFS, büyük veriyi standart sunucular üzerinde bloklara ayırarak dağıtır. Veri güvenliğini sağlamak için, blokları kopyalayarak sunucularda yedekler (Shvachko, Kuang ve Radia, 2010).

2016 yılında, Mohammed S. Al-kahtani ve Lutful Karim ölçeklenebilir bir dağıtık sistem frameworku (Al-Kahtani ve Karim, 2017) sunmuştur. Ölçeklendirmeyi merkezi sunucu üzerinde yapmaktadır. Önerilen framework, veri toplama sonucu verilerin miktarı arttıkça, veri işleme işini sunucu tarafından diğer bilgisayarlar tarafına aktarmaktadır. Diğer bir tabirle, sistem veri miktarı arttığı zaman dağıtık olarak çalışmaktadır.

Ergüzen ve Ünver'in yaptığı çalışmada (Ergüzen ve Ünver, 2018), dağıtık dosya sistemi ile işletim sistemi dosya yapısını kullanan bir mimari tasarlanmıştır. Sistemde, data node ve replica nodelar kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde, 4 adet data node istemci sunucularının isteklerini TCP/IP bağlantısı ile cevaplamaktadır.

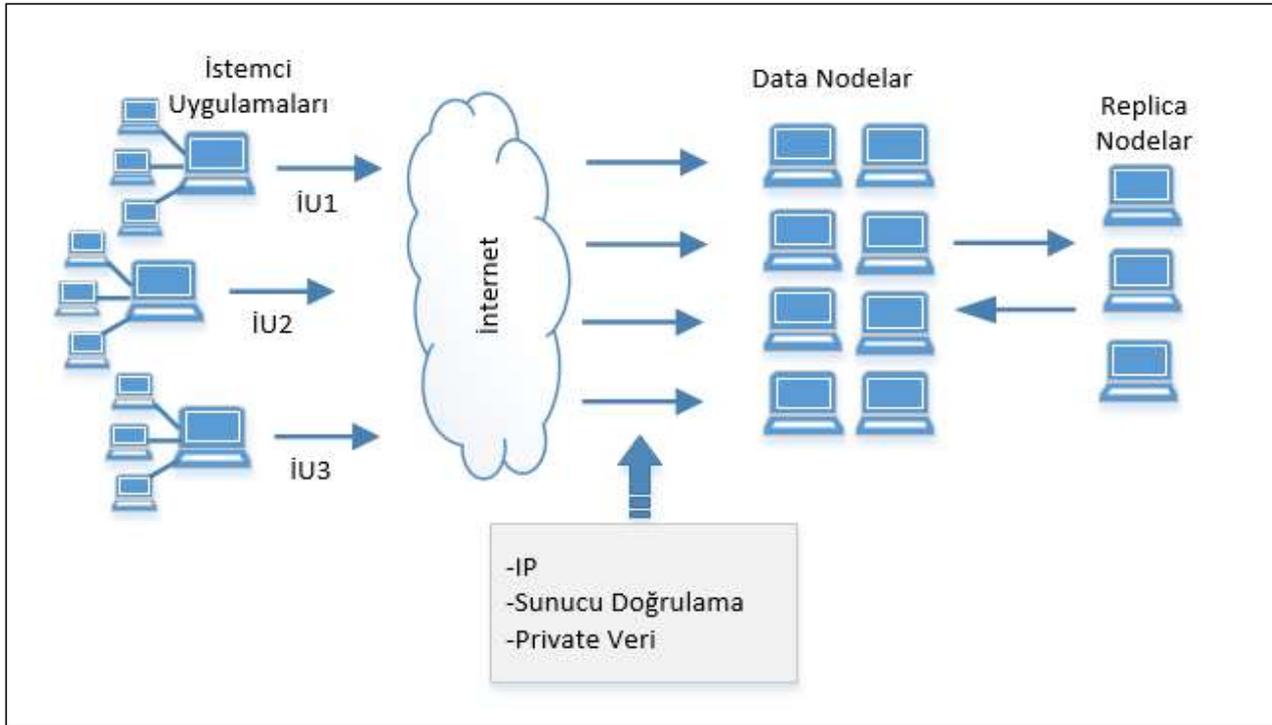
### 3. SİSTEM MIMARISI

Günümüzde dağıtık dosyalama sistemleri 2 ana kategoride ele alınabilir:

- Dosya sistemi ve cluster yönetimi,
- İhtiyaç duyulan verinin node'lar tarafından en kısa sürede ve tutarlı bir şekilde analizinin yapılması (veri madenciliği). Bizim çalışmamızda veri saklama ve nodeların bir bütün olarak çalışmasını sağlayacak bir platform geliştirilmiştir.

Bu çalışmada büyük veri için hızlı, güvenli, sunucusuz, kolay yönetilebilir, ölçeklendirilebilir, sürdürülebilir, güçlü bir dağıtık sistem ortaya çıkmıştır. Sistem orta ölçekli bir sağlık kuruluşunda ortaya çıkan büyük veriyi depolayabilir ve yönetebilir. Bu çalışmanın farklılıkları aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Sistem bileşenleri şunlardır: İstemci uygulamaları, data nodelar, sanal dosya sistemi ve replica nodelardır.



Şekil 1. Sistem Genel Yapısı

#### 3.1. İstemci Uygulamaları

İstemci uygulamaları, sistemden dosyalama hizmeti alan uzaktaki uygulamalardır. Uygulamalar tüm isteklerini TCP/IP üzerinden yapmaktadırlar. Bu yüzden system, platformdan bağımsızdır. Ancak bunların statik bir IP'ye sahip olması gerekmektedir. İstemci uygulamalar, dosyalama ve depolama amaçlı olarak 'write once read many' şeklinde bu sistemi kolaylıkla kullanabilmektedir. Hizmet almak isteyen uygulama, bağlantı için Dynamic Link Library'yi kendi sistemine kurmalıdır. Bu sistemde GetAvailableDatanodeIp, ChangePassword, SaveFile, ReadFile, DeleteFile, UpdateFile, GetFileFromReplica methodları mevcuttur. İstemci uygulaması, kendilerine verilen symmetric cryptography ile gönderilen kullanıcı adı, şifre ve sahip olduğu statik IP ile kendilerine ayrılan data node'a bağlanır. İstemci uygulamaların sayısında herhangi bir sınır yoktur.

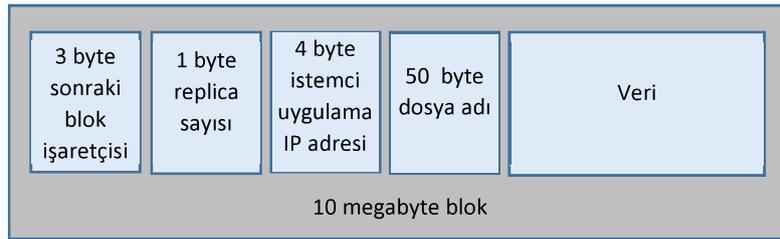
### 3.2. Dügümler

İki tür node kullanılmaktadır. Data node'lar, bilindiği gibi, istemciden gelen dosyaları saklamak ve yönetmek için kullanılmaktadır. Hizmet alan istemci uygulamaları, data node'lar ile TCP/IP ağ servisi aracılığı ile iletişime geçer. Bu çalışmada özellikle data node'ların her biri farklı uygulamalara hizmet veren aynı seviyedeki sunuculardır. Yazılım, system geliştiriciler tarafından geliştirilen dynamic link library ile, data node'lara güvenli bir bağlantı sağlamaktadır. Bu bağlantı Symmetric-key algoritması ile yapılmaktadır. Bununla birlikte uygulama sunucuları, data node'lardan hizmet alan, sabit bir IP adresine sahiptir. Sistemde istemci uygulamaları ile iletişime geçebilecek 8 tane data node kullanılmıştır. Daha büyük kuruluşlarda istemci uygulamaları sayısı daha fazla olacaktır. Bu sayede iletişime geçilebilecek uygulama sayısı artırılmış olmaktadır.

Replica node'lar, data node'ların sakladığı dosyaların kopyasını saklamak için kullanılır. Data node'lar kendisine yüklenen dosyaları asenkron olarak replica node'lara gönderir. Replica node'lar bu dosyaları temel işletim sistemi dosyası içerisinde saklar. Burada sadece işletim sisteminin dosyalama hizmeti kullanılır, özel bir dosya yapısı veya herhangi bir dosya işleme stratejisi kullanılmaz. Bu, replica node'ların bir dosya sunucusu gibi çalıştığı anlamına gelir. Replica node'lar, yalnızca işletim sistemi dizin yapısındaki dosyaları depolamaktan sorumlu olan dosya sunucusu gibi çalışmaktadır.

### 3.3. Sanal Dosya Sistemi

İletilmesi gereken veriyi kendi dosya sisteminde saklayacak şekilde bloklara ayırır. Kendine ait disk dosya listeleme yapısına sahiptir. Sanal Dosya sistemi, diskte işletim sisteminin kullanmadığı kalan alanının tamamını kullanabilmektedir. Bu da ortalama bir diskte %75-85 oranında olmaktadır. Tutulan herbir blok, veriyi oluşturan diğer bloku işaret eder. Verinin kaç bloktan oluştuğu, verinin bloklarını sırası gibi veriler yine sanal dosya sisteminde tutulur. Sanal dosya sistemi 10 megabytelık bloklara ayrılmıştır. Bir blok, şekil 2 de gösterildiği gibi, 3 byte'lık bir sonraki blok işaretçisi, 1 byte replica sayısı, 4 byte istemci uygulama IP adresi, 50 byte dosya adı ve Veri alanlarından oluşmaktadır.



Şekil 2. 10 megabytelık blok yapısı.

### 3.4. Sistemin Özellikleri

1. Sistem sunucusuz çalışmaktadır. Data nodelar sunucu gibi çalışmaktadır.
2. Küçük ve orta ölçekli kuruluşlarda optimum faydayı sağlayacak şekilde blok büyüklüğüne sahiptir.
3. Sanal dosya sistemi, temel işletim sisteminden kolayca üretilmiştir.
4. İstemci uygulamaları başlangıç adresini tutar.
5. 8 adet data node kullanılmıştır.
6. Sistemdeki herhangi bir makine dosya sunucusu olarak çalışabilmektedir.
7. Name node veya server node kullanılmadığından, bunların çalışmaması durumunda sistem çökmesi problemi, name node kullanılmadığı için ortadan kalkmıştır.
8. 128-bit simetrik kriptoloji kullanılarak bağlantı güvenli hale getirilmiştir.
9. Hybrid mimariden dolayı okuma yazma performansı iyidir.

### 3.5. Sistem Performansı

Kullanılan Hadoop konfigürasyonu, bir name node ve üç data node'a sahiptir. Her bir node'ta Redhat Enterprise Linux Server 6.0 çalışmaktadır. Ayrıca, herbir node'ta Java-1.6.0, MongoDB-3.4.2 ve Hadoop-2.7.2 kurulmuştur. CouchBaseDB ise, bucketlar, 20 megabyte'lık clusterlardan meydana gelmektedir. Sistemin 6 gigabyte RAM ve 200 gigabyte disk alanı mevcuttur. Veri tabanı sunucusu olarak Microsoft SQL Server 2014 kullanılmıştır.

Tasarlanan sistem diğer dosya sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sürecinde aynı donanım ve yazılım kullanılmaya çalışılmıştır. Test sonuçlarına göre, tasarlanan sistemin performansının NoSQL sisteminden %93, RDBMS'den (İlişkisel Veritabanı

Yönetim Sistemi) %78 ve İşletim Sisteminden %71 daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, 4 data node kullanılan sistemler ile performansında farklılık olmadığını göstermiştir. Özellikle Hadoop'un 64 megabyte boyutundaki blok büyüklüğünün yerine tasarlanan sistemdeki 10 megabyte blok büyüklüğü, 64 megabyte'tan daha küçük dosyalar üreten sistemler için optimum çalışma ortamı sağlamaktadır. Bu sayede küçük boyutlu veri bloklarına sahip kuruluşlar için depolama alanı kazanımı sağlanmış olacaktır. Sanal Dosya sistemini yönetebilmek için işletim sistemi altında çalışan kolay bir sistem geliştirilmiştir. Hem bitmap hemde bağlı liste yapısı kullanılarak ortaya çıkarılan hybrid sistem, 10 megabyte'lık sabit büyüklükteki blokları yönetmek için kullanılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, özellikle küçük ve orta büyüklükteki big data setleri için hızlı, güvenli, sunucusuz, güçlü, sağlam, yönetilebilir, ölçeklendirilebilir dağıtık dosya sistemi geliştirilmiştir. Sistem, çoğu dağıtık sistemlerde olmayan platformdan bağımsız bir sistem ortaya koymaktadır. TCP/IP protokolünü kullanır. Server node, head node veya name node kullanılmamaktadır. Sistem sunucusuzdur. Bu sayede sistemin sürekliliği sağlanmış olur. Bir data node sistemde düzgün çalışmadığında, diğer node'lar istekleri cevaplayabilir ve sistemin çalışması devam eder. Gerekirse, sadece windows servis yordamı node'a yüklenerek sisteme sınırsız sayıda data node kolaylıkla eklenebilir. Bu sistemin diğer sistemlere göre üstünlüğüdür.

Sistem güvenliği, diğer dağıtık dosya sistemlerinde olduğu gibi kabul edilebilir bir düzeye sahiptir. Güvenlik iki yolla sağlanmaktadır. Birincisi, data node'tan hizmet veren istemci makinelerin IP'ler kontrol edilerek, ikincisi ise, uygulama yazılımının data node'lara gönderdiği verileri şifrelemektir.

Replica işlemi, işletim sisteminin dosya işlemleri sistem çağrılarını kullanır (Windows'da API'ler). Data node'lar, kendilerine eş zamansız olarak yüklenen dosyaları replica node'lara gönderir. Sistemin kolay yönetilebilir olmasını sağlamış ve hata toleransını arttırmıştır.

Bu çalışma ile, veri güvenliği sağlanmış, performansı diğer dağıtık sistemlere göre daha iyi, sunucusuz bir sistem ortaya çıkmıştır. Sistem küçük ve orta ölçekli kuruluşların büyük veri depolama problemlerini için optimum maliyet ile çözebilecek bir sistem olmuştur. Data node sayısının artırılması sistem performansını etkilememiştir.

#### REFERANSLAR

Al-Kahtani M. S., Karim L. (2017). An Efficient Distributed Algorithm for Big Data Processing, Arabian Journal for Science and Engineering, 42 (8): 3149-3157.

Anonim, Internet Statistics (2016). <http://www.internetlivestats.com/internet-users/#trend> (Erişim Tarihi:16.07.2016)

Anonim, Virtualization&Cloud (2017). <http://www.vcloudnews.com/every-day-big-data-statistics-2-5-quintillion-bytes-of-data-created-daily/> (Erişim Tarihi:17.02.2017).

Anonim, L. Mearian (2018). Scientists calculate total data stored to date: 295+ exabytes, <https://www.computerworld.com/article/2513110/data-center/scientists-calculate-total-data-stored-to-date--295--exabytes.html> (Erişim Tarihi: 30.03.2018)

Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G. (2011). Distributed Systems: Concepts and Design 5th, USA: Addison-Wesley Publishing Company.

Dean B. B. (2009). Use of Electronic Medical Records for Health Outcomes Research, Medical Care Research and Review, 66 (6), 611-638.

Ellis A., Floyd R. A. (1983). The ROE File System, 3rd Symposium on Reliability in Distributed Software and Database Systems, Clearwater Beach, FL, USA.

Erguzen A., Erdal E. (2017). "Medical Image Archiving System Implementation with Lossless Region of Interest and Optical Character Recognition," Journal of Medical Imaging and Health Informatics, 7, 1-7.

Ergüzen A., Ünver M. (2018). Developing a File System Structure to Solve Healthy Big Data Storage and Archiving Problems Using a Distributed File System, *Appl. Sci.*, 8(6), 913.

Sandberg R., A., Goldberg D., Kleiman S., Walsh D., Lyon B. L. (1985). Design and Implementation of The Sun Network File System, *USENIX Conference and Exhibition*, Portland, Oregon, USA.

Shvachko K., Kuang H., Radia S. (2010). The Hadoop Distributed File System, *Mass Storage Systems and Technologies (MSST)*, 2010 IEEE 26th Symposium on, Incline Village, NV, USA.

Thomson A., Abadi D. J (2015). CalvinFS: Consistent WAN Replication and Scalable Metadata Management for Distributed File Systems, *13th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST '15)*, Santa Clara, CA, USA.

Weil S. A., Brandt S. A., Miller E. L., Long D. D. E., Maltzahn C. (2006). Ceph: A Scalable, High-Performance Distributed File System, *OSDI '06 7th Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, Seattle, Washington, USA.



## Yardımcı Sistem Olarak BCI ve EEG Sinyallerinin BCI Sistemlerde Kullanım Şekilleri

### Using of BCI as an Assistant System and EEG Signals in BCI Systems

Kadir HALTAŞ <sup>\*1</sup>, Atilla ERGÜZEN <sup>2</sup>, Erdal ERDAL<sup>2</sup>, Murat LÜY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>2000 Eyler Mah. F.Yılmaz Çakıroğlu Sok. No:6/7 Merkez , 50000 Nevşehir

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

<sup>3</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 26/11/2018

Kabul/Accepted: 22/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Günümüzde halen insan anatomisi ve buna bağlı olarak hastalıkların incelenmesi süregelmektedir. İnsanoğlunun en çok ilgisini çeken anatomik kısımlardan bir tanesi de şüphesiz ki beyindir. Günümüz çalışmaları beyin sinirsel faaliyetlerini izleyerek çeşitli alanlarda ilerlemeler göstermektedir. Beyin sinyallerinin izlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri EEG (Elektroensefalogram) olarak bilinmektedir. Günümüzde EEG tıbbi alanda tanı ve tedaviye yardımcı olarak kullanıldığı gibi aynı zamanda disiplinler arası olarak bilgisayar bilimlerinde BCI (Beyin Bilgisayar Arayüzü) sistemlerinde kullanılmaktadır. Beyin Bilgisayar Arayüzü (Brain Computer Interface (BCI) ) sistemlerinin temelinde birey beyin sinyallerinin toplanarak bireyin dış dünyayla iletişime geçmesi için uygun şekilde kullanımı söz konusudur. BCI sistemlerinin kullanım alanları; kısmi motor hareket kayıpları, ağır felçli bireyler, ağır konuşma güçlükleri vb. olarak sıralanabilir. Bu çalışmada günümüzde BCI sistem tasarımlarında gelinen nokta hakkında derleme yapılmıştır. Bu sayede BCI sistemi çalışmalarının durumu izlenebilecek ve BCI alanında gelişmelerin doğrultusu görülebilecektir.

#### Anahtar Kelimeler

“EEG, BCI, Beyin, Kontrol, Sistem”

#### Abstract

Currently, human anatomy and related diseases are still under investigation. One of the most interesting anatomical parts of human beings is undoubtedly the brain. Today's studies show progress in various areas by monitoring the neural activity of the brain. One of the most common methods for monitoring brain signals is known as EEG (Electroencephalogram). Today, EEG is used as an adjunct to medical diagnosis and treatment, and is also used in interdisciplinary computer science systems in BCI (Brain Computer Interface) systems. Brain Computer Interface (BCI) systems are based on the use of individual brain signals and the proper use of the individual to communicate with the outside world. Usage areas of BCI systems; partial motor movement loss, severe paralyzed individuals, severe speech difficulties and so on. can be listed as. In this study, the current point of BCI system design is compiled. In this way, the status of BCI system studies can be monitored and the direction of developments in the BCI field can be seen.

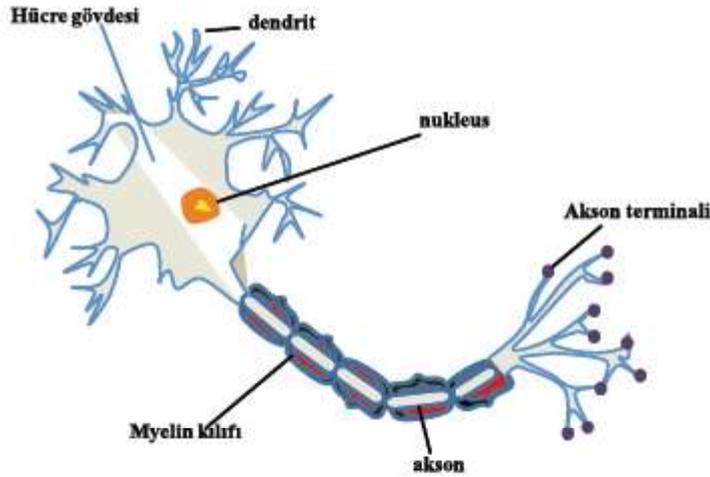
#### Key Words

“EEG, BCI, Brain, Control, System”

## 1. GİRİŞ

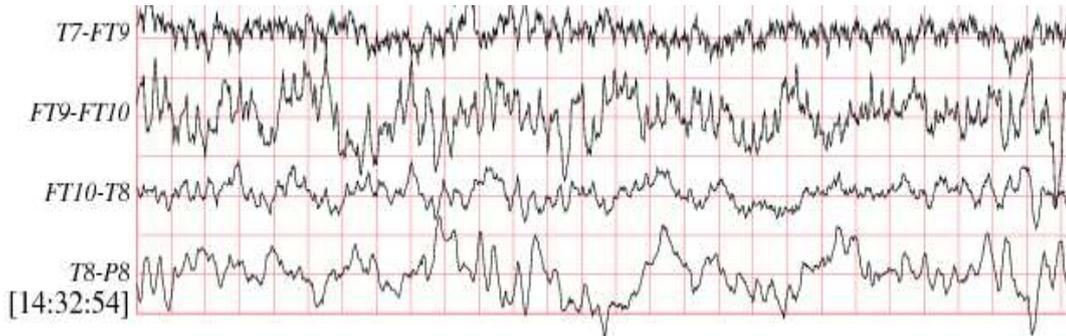
İnsan anatomisi geçmişten günümüze her zaman araştırma konusu olarak bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Günümüzde halen insan anatomisi ve buna bağlı olarak hastalıkların incelenmesi süregelmektedir. İnsanoğlunun en çok ilgisini çeken anatomik kısımlardan bir tanesi de şüphesiz ki beyindir.

Bilindiği üzere beyin vücudumuzu yönetmekle sorumlu organımız olup bu yönetsel faaliyeti sinir sistemimiz aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Beyin ve sinir sistemi nöronlardan oluşmaktadır. Şekil 1’ de temel nöron yapısı gösterilmektedir. Yetişkin bir insan beyninden yaklaşık 100 milyar adet sinir hücresi ve  $10^{11}$  adet sinir hücreleri arası bağ bulunmaktadır (Bora & Yeni, 2012). Oluşturulmuş bu muazzam yapıda sinir hücreleri kendiler aralarından düşük şiddetli elektrik potansiyelleri üreterek haberleşmektedirler (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Söz konusu haberleşme faaliyetleri gerek istemsiz beyin faaliyetleri gerekse de bilinçli olarak yapılan düşünme, çözümlenme gibi karmaşık zihinsel beyin faaliyetler olarak karşımıza çıkar. Bu elektriksel faaliyetlerin incelenmesi sinir sistemi, beyin hastalıkları ve bunları bağlı anatomik hastalıkların teşhisi, tedavisi veya etkisinin azaltılması konusunda yardımcı olmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016).



Şekil 1 : Nöron yapısı (Bora & Yeni, 2012).

Sinir sisteminde var olan hastalık ve işlev bozukluklarının tanı, teşhis ve tedavisi aşamalarında EEG (Elektroensefalogram) sıklıkla kullanılan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). EEG beyin korteksinde yer alan nöronların elektrik potansiyellerinde oluşan değişimlerin kayıt edilmesi olarak söylenebilir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002). Teknolojik ilerlemelerin yardımıyla EEG sinyalleri çeşitli cihazlarla farklı şekillerde izlenebilmekte ve kayıt altına alınabilmektedir. Bu durum EEG sinyallerinin disiplinler arası farklı çalışmalarda kullanılabilmesinin önünü açmıştır (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Lotte, Congedo, Lécuyer, Lamarche, & Arnaldi, 2007).



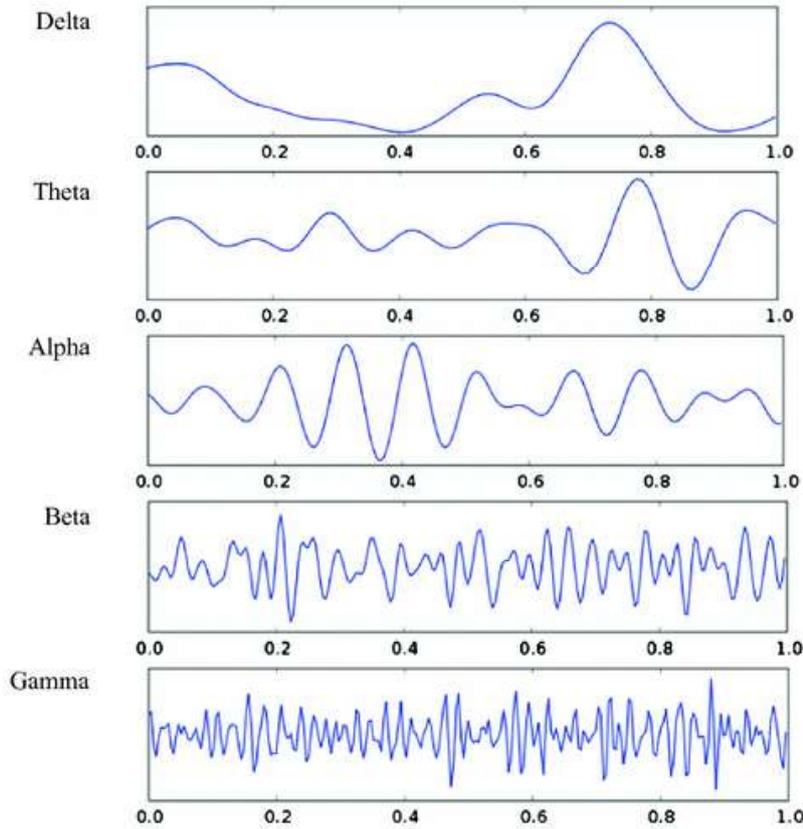
Şekil 2 : Örnek EEG kaydından alınmış bir kısım - CHB-MIT Scalp EEG Database

### 1.1. EEG Sinyalleri ve Temel Kavramları

Elektroensefalografi 20.yüzyılda Hans BERGER isimli bilim insanı tarafından bulunmuştur. Klinik uygulamalarında kullanımı ise 1929 yılında bir hastanın EEG sinyallerinin kaydı ile gerçekleşmiştir. Bu adımla beraber EEG üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Sonrasında Albert GRASS tarafından Harvard Tıp Okulu laboratuvarı için 3 kanallı bir EEG cihazı geliştirilmiştir. Bu çalışmaların ardından EEG sinyallerinin hem tıbbi hem de araştırma amaçlı kullanımı, özellikle 2.Dünya savaşıdan sonra olmak üzere, yoğun

bir artış göstermiştir. Öyle ki, nörofizyolojinin yanında farklı alanlarda da kullanımı üzerine çalışılmıştır. Klinik olarak EEG uygulamaları ülkemizde 1940'lı yıllarda başlamıştır (Bora & Yeni, 2012).

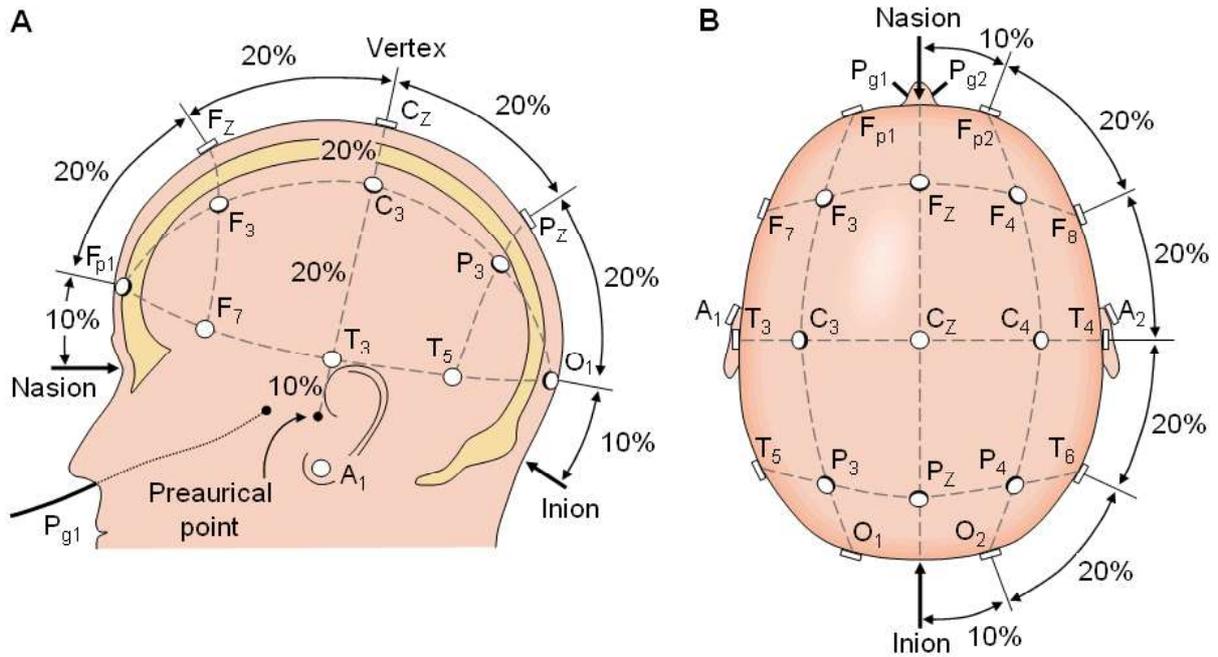
EEG kayıtlarında temel olarak gözlemlenen olgular, beyin sinirsel faaliyetleri sırasında gözlemlenen Şekil 3' de görüldüğü gibi 5 temel dalgadır. Bu tipik 5 adet dalga birbirlerinden frekanslarına göre ayrılmaktadırlar (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Öyle ki; dalga frekansları delta( $\delta$ ) : 0,5 - 4 Hz., teta( $\theta$ ): 4 – 8 Hz., alfa( $\alpha$ ): 8 - 13 Hz., beta( $\beta$ ): 13 - 30 Hz., gama( $\gamma$ ): >30 Hz. olarak karşımıza çıkmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016).



Şekil 3 : 5 temel EEG sinyal tipinin frekans gösterimleri (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

EEG kayıtlarında gözlemlenen bu farklı dalga formları EEG kaydının ait olduğu bireyin klinik durumu ve bilişsel faaliyetleri hakkında bilgiler vermektedir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Delta dalgaları öncelikli olarak derin uyku durumuyla olmak üzere beyin bozuklukları ve uyanma durumuyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002). Teta dalgalarının genlikleri genellikle 20  $\mu$ V değerinden daha büyüktür. Teta dalgaları duygusal durumlarla ilişkilidir. Özellikle hayal kırıklığı olmak üzere duygusal stres, ilham ve derin meditasyon durumlarıyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Alfa dalgalarının genlikleri ise 30 – 50  $\mu$ V arasında değişmektedir. Alfa dalgalarının temel sebebi bireyin gözlerinin kapalı olması ve rahatlama durumunda bulunmasıdır. Genel olarak yoğun beyin faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Alfa dalgaları ayrıca literatürde “mu” aktivitesi(etkinliği) olarak da geçmektedir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Beta dalgaları düşük genlikte oluşmaktadır, bireyin beyninin uyanıklık durumu ve aktif zihinsel faaliyetlerin sırasında gözlemlenir. Beta dalgaları genellikle odaklanma, aktif dikkat ve problemlere konsantre olma durumlarıyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Gama dalgaları genellikle 30 Hz. üstünde frekansa sahiptirler, bazı durumlarda bu frekans bandı en yüksek seviye olan 80-100 arasına ulaşabilmektedir. Gama dalgasının çok çeşitli bilişsel beyin faaliyetleriyle ilgisi bulunmaktadır (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

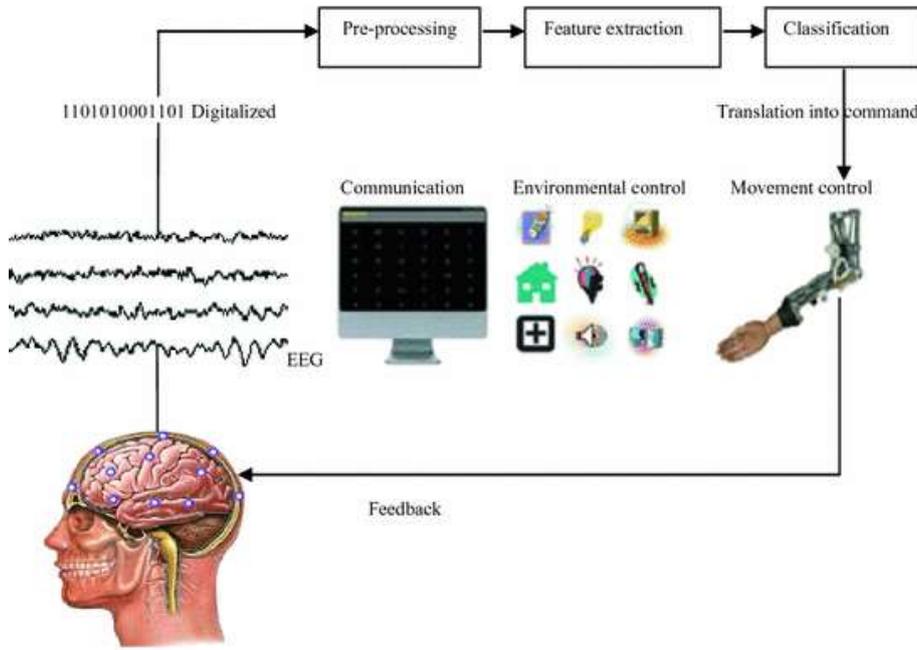
EEG sinyallerinin temininin doğru yapılabilmesi için EEG cihazının elektrotlarının skalp(kafa derisi) üzerine montaj şekillerinin de önemi büyüktür. Genel olarak klinik vakalarda ve bilimsel araştırmalarda 10-20 ve 10-10 montaj sistemleri tercih edilmektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017). 10-10 elektrot yerleşimi göreceli olarak daha çok kullanılan 10-20 sisteminin elektrot yerleşim düzenim daha sıklaştırılarak dağıldığı yapıdır. 10-20 elektrot diziliminin örneği Şekil 4 'de görülmektedir. Sözü geçen bu montaj sistemlerinde temel alınan nokta beynin serebral korteks tabakasının genelinden EEG sinyallerinin elde edilmesini sağlamaktır. Ancak EEG sinyallerinin elde edilmesi ve kayıt edilmesi için bu sistemlerin kullanılması mecburi bir durum değildir. Üzerinden çalışılan proje veya klinik duruma göre özgün elektrot montaj şekilleri uygulanabilmektedir.



Şekil 4 : Uluslararası kabul gören 10-20 elektrot yerleşimi.

## 2. BCI SİSTEMLERİ

Beyin Bilgisayar Arayüzü (Brain Computer Interface (BCI) ) sistemlerinin temelinde birey beyin sinyallerinin toplanarak bireyin dış dünyayla iletişime geçmesi için uygun şekilde kullanımı söz konusudur (AIQattan & Sepulveda, 2017) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015). BCI sistemlerinin kullanım alanları; kısmi motor hareket kayıpları, ağır felçli bireyler, ağır konuşma güçlükleri v.b olarak sıralanabilir (AIQattan & Sepulveda, 2017) (Anupama, N.K., & Lingaraju, 2014) (Camacho & Manian, 2016) (Tatum, 2017) (Ernest, Smitha, & Vinod, 2015) (Jadav, Batistić, Vlahinić, & Vrankić, 2017) (Katona, Ujbanyi, Sziladi, & Kovari, 2016). Genel bir BCI sisteminin şeması Şekil 5’de görülmektedir. BCI sistemlerinin standart bir amacı olmayıp gerçekleştirilen projeye göre analiz edilen sinyaller ve çıktıları farklılık gösterebilir (Smitha , Vinod, & K, 2016) (Liu, Chen, Lee, Pei, & Mill’an, 2017) (Chan & Dascalu, 2017). Bir uygulamada tekerlekli sandalyeyi yönetmek amaçlı kullanılırken başka bir uygulamada konuşma güçlüklerinin üstesinden gelmek için işe koşulmuş olabilir (Katona, Ujbanyi, Sziladi, & Kovari, 2016). Temel bir BCI sistemi genel olarak bulunan katmanlar şu şekilde sıralanabilir; beyin faaliyetlerinin ölçülmesi (EEG sinyallerinin ölçülmesi), ön işleme, özellik çıkarımı, sınıflandırma, elde edilen sonucun hedef doğrultuda komuta dönüştürülmesi ve sonra olarak geri besleme (Liu, Chen, Lee, Pei, & Mill’an, 2017). BCI sistemlerinin temeli neredeyse standart olmasına karşın iki farklı uygulama şekli mevcuttur; invazif ve invazif olmayan (Siuly, Li, & Zhang, 2016). İnvazif sistemlerde BCI sistemine sinyal aktarımı sağlayan elektrotlar kafatası içerisine cerrahi müdahaleyle yerleştirilirler. Bu bakımdan invazif BCI sistemlerinin riskli ve maliyetli bir yapısı vardır (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017). İnvazif olmayan BCI sistemlerinde EEG sinyallerinin elde edilmesini sağlayan elektrotlar bir başlık içine yerleştirilir ve bu sayede kafa derisine sabitlenmiş olur. Bu yöntem genel olarak invazif yöntemle göre daha az maliyetli olduğu için daha çok yaygın kullanıma sahiptir.



Şekil 5 : Genel BCI sistem şeması (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

BCI sistemlerinde; Ön işleme (pre-processing) işleminde EEG sinyallerinde bulunan artefaktlar giderilerek ve sinyaller güçlendirilerek özellik çıkarımı için uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Özellik çıkarımı (Future Extraction) aşamasında üzerinde çalışılan proje bağlamında ve kullanılacak sınıflandırma yöntemleri de göz önünde bulundurularak özellik çıkarımı yapılır. Sınıflandırmada (Classification) özellik çıkarımında elde edilen özellikler üzerinde amaca uygun komut dönüşümünün gerçekleşmesi için sistemde kullanılması kararlaştırılan teknik ve algoritmalar işe koşulur. Sınıflandırma işleminden sonra komut dönüşümü gerçekleşir ve kullanıcının bir sistemi, donanımı veya ir uygulamayı kullanması/yönetmesi sağlanmış olur. Geri besleme (Feedback) sayesinde sistem çalışma kararlılığıyla ilgili veri toplayarak kendini eğitebilmektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Smitha, Vinod, & K, 2016) (Chan & Dascalu, 2017).

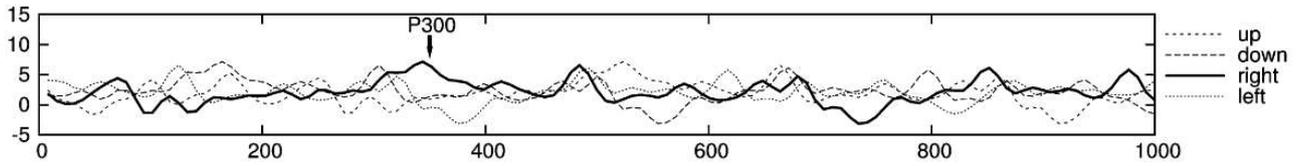
## 2.1. BCI sistemlerinde ön işleme (Pre-processing)

Temel olarak ön işleme işi sinyallerin asıl amaç için kullanılmasından önce sinyal/gürültü oranını arttırmak ve EEG sinyalleri özelinde göz kırpması, kalp atışı gibi artefaktları elemine etmek için kullanılmaktadır. Literatürde ön işleme için birçok teknik kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Common Average Reference (CAR), Laplacian filtreleri, Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA) olarak sıralanabilir (Dogru, King, & Chuanbg, 2017).

Bunlardan örnek olarak PCA incelendiğinde; matematiksel işlemler sonucunda sinyal değerlik vektörleri arasında var olan korelasyonu gözlemleyerek birbirleriyle ilişkisi olmayan “esas bileşenler (principal component)” olarak isimlendirilebilecek vektörler elde edilmesini hedeflemektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015). Bu sayede üzerinde işlem yapılacak özellik vektörlerinin azaltılması mümkün olabilecektir (Dogru, King, & Chuanbg, 2017).

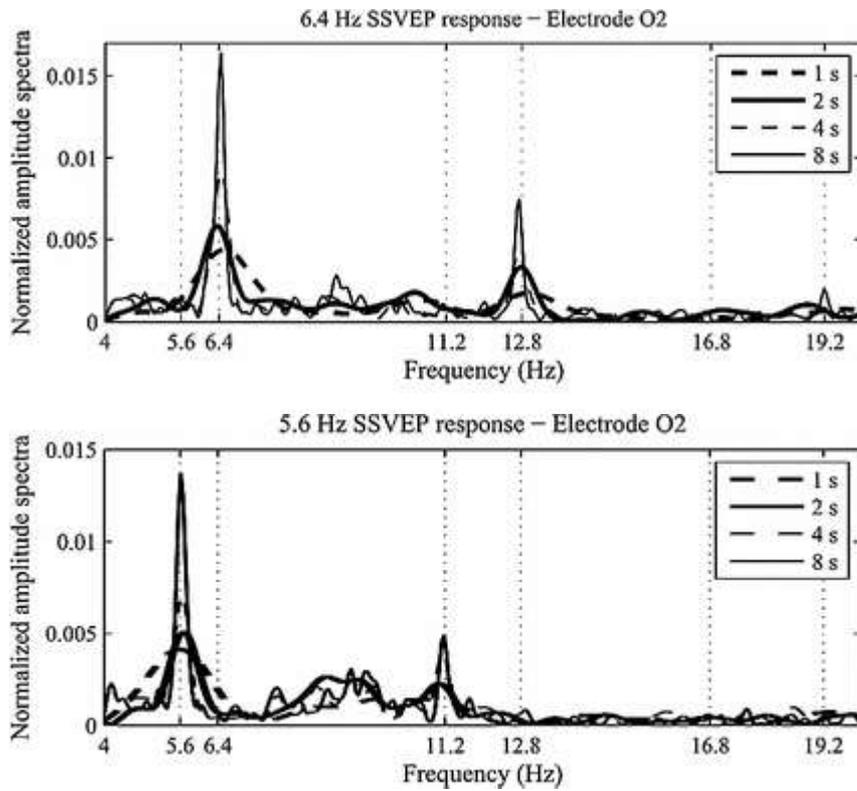
## 2.2. Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımı aşamasında öncelikli olarak EEG sinyallerinde inceleme işleminde kullanılacak metod seçilmelidir. Bu metodlar P300 potansiyelleri, SSVEP (Steady State Visual Evoked Potentials), Sensorimotor ritimleri, yavaş kortikal potansiyeller (SCP) olarak sıralanabilir. Bu metodların işe koşulmasında her biri EEG sinyallerini farklı açılardan işlemektedir. P300 potansiyeli; EEG sinyallerinde kişinin arzuladığı seçimin görsel olarak gösteriminden 300ms sonra meydana gelen pozitif potansiyel gözlemlenmeye çalışılmaktadır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). P300 potansiyelleri gözlenmesine dayalı birçok uygulama mevcuttur. Genel olarak P300 metodu metin yazdırma veya basit yönlendirme komutları için kullanılmaktadır. Sözü geçen bu tip çalışmalara örnek olarak Curtin ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışma gösterilebilir (Curtin, Ayaz, Liu, Shewokis, & Onaral, 2012). Şekil 6 ‘da Cuti ve arkadaşlarının “P300-Based BCI Mouse With Genetically-Optimized Analogue Control” isimli çalışmalarında elde ettiği örnek bir P300 sinyal gösterimi yer almaktadır. Guger ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları “How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)?” isimli çalışmaya göre deneye katılan insanlar %72 oranında P300 sinyal formu tabanlı harf kodlayıcı uygulamayı %100 oranında kullanmayı almışlardır (Guger, ve diğerleri, 2009) (Cotrina, 2017).



Şekil 6 : Örnek bir P300 sinyal gösterimi (Citi, Poli, Cinel, & Sepulveda, 2008).

P300 sinyallerinin kullanımına benzer başka bir metot olan SSVEP (Steady State Visual Evoked Potentials – Kararlı Hal Görsel Uyarılmış Postansiyelleri); sıklıkla görsel uyarının kullanılacağı BCI sistemlerinde tercih edilmektedir (Cotrina, 2017) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Şekil 7’de örnek bir SSVEP sinyal formu yer almaktadır. SSVEP sinyal inceleme metodunda genel olarak tepki süresi kısa olan N70 e P100 gibi dala formları gözlemlenmeye çalışılmaktadır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Bu sinyaller isimlerini; görsel uyarının fark edilmesinden ardından sırasıyla 70 ve 100ms sonra ortaya çıkmaları nedeniyle almışlardır. SSVEP sinyal inceleme metoduna görsel uyarınlar ardı ardına birkaç kez gösterilmeli ve böylece sinyal oluşumunda kararlı hal elde edilmeye çalışılmalıdır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Allison ve arkadaşları 2010 yılında nüfus istatistiklerini temel olarak gerçekleştirdikleri SSVEP tabanlı BCI sistem kullanım başarımlarını %95 olarak elde etmişlerdir (Allison, ve diğerleri, 2010) (Cotrina, 2017).



Şekil 7: Örnek SSVEP sinyal formları (Cotrina, 2017).

Üzerinden çalışılacak sinyal formları belirlendikten sonra özellik çıkarımı için genel olarak PCA, DWT (Discrete Wavelet Transform), ICA, PSD (Power Spectral Density) veya FFT (Fast Fourier Transform) tekniklerinin kullanıldığı söylenebilir.

### 2.3. Sınıflandırma

BCI sistemlerinde EEG sinyalleri kullanılırken önemli olan aşamalardan biri de sınıflandırma yapmak için kullanılacak yöntem veya yöntemlerin belirlenmesidir. Sınıflandırma aşaması BCI sistemlerinde komut anlamlandırılması anlamına geldiği için sistem çalışması adına hayati önem taşımaktadır. Pek çok BCI sisteminde, sistemin başarımlarını sınıflandırma işleminin başarımlarıyla belirlenmektedir (Cotrina, 2017). Literatüre bakıldığında sınıflandırma için birçok algoritma kullanılabilir. Bunlardan birkaçı; LDA (Linear Discriminant Analysis), MLP (Multi Layer Perceptron), SVM (Support Vector Machine), YSA (Yapay Sinir Ağları), Karar Ağaçları gibi sıralanabilir ( Abdel-Hadi , El-Khoribi, Shoman, & Refaey, 2015) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Todorean & Chiuchisan, 2017) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Elbette kullanılacak yöntemler bunlarla sınırlı değildir.

Literatürde EEG sinyal sınıflandırmasında kullanılan kimi algoritmalarının karşılaştırmaları hakkında çalışmalar mevcuttur (Ilyas, Saad, Ahmad, & Ghani, 2016) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). (Xing, McCardle, & Xie, 2012)

çalışmasında araştırmacılar sınıflandırma algoritmalarını doğrusal, doğrusal olmayan ve karışık sınıflandırıcılar olmak üzere 3 temel sınıfa ayırmışlardır. Ayrıca yine (Xing, McCardle, & Xie, 2012)' de sınıflandırma işleminde makine öğrenmesi kullanılarak iyileştirme çalışmaları yapılabileceği ifade edilmiştir.

Başka bir EEG sinyal sınıflandırması performans karşılaştırma çalışması olan "Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interface Applications: Performance Comparison (Ilyas, Saad, Ahmad, & Ghani, 2016)" isimli çalışmada araştırmacılar; EEG sinyallerini sınıflandırmak için SVM(Support Vector Machine ), k-NN(k-Nearest Neighbour), MLP-ANN(Muti Layer Percptron Artificial Neural Network ) ve Lojistik Regresyon algoritmalarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Uluslararası 4. BCI sistemleri yarışması veri kümesi 1 üzerinde gerçekleştirilen başarımların karşılaştırmasında LR ve SVM algoritmaları sırasıyla 73.03% ve 68.97% başarımla elde etmişlerdir.

### 3. BCI ALANINDA YAPILMIŞ BAZI ÇALIŞMALAR

Söz konusu çalışma alanında Anupama.H.S ve arkadaşları "Real-time EEG based Object Recognition System Using Brain Computer Interface" isimi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında karar ağaçlarını kullanarak %82 doğruluk oranıyla gerçek zamanlı nesne tanımlama yapmışlardır (Anupama, N.K., & Lingaraju, 2014). Başka bir çalışmada Masoud Maleki ve arkadaşları "A Novel Brain -Computer Interface based on the Gaze Rotating Vane Independent EEG" ismini verdikleri makalelerinde sanal ortamda oluşturulmuş bir pervaneyi döndürmek için EEG sinyallerini kullanmışlardır (Maleki, Manshouri, & Kayıkçıoğlu, 2015). EEG sinyallerinden özellik çıkarımını yapmak için PCA tekniğini, sınıflandırma gerçekleştirmek için k-En Yakın Komşu algoritmasını kullanmışlardır (Maleki, Manshouri, & Kayıkçıoğlu, 2015). Jiahui Pan ve arkadaşları gerçekleştirdikleri "An EEG-Based Brain-Computer Interface for Emotion Recognition" isimli çalışmalarında bireyin duygusal durumunu mutlu veya üzgün olarak sınıflandırmayı amaçlamışlardır (Pan, Li, & Wang, 2016). Gerçekleştirdikleri bu çalışmada kişiye özel EEG frekans bantlarının seçimi üzerine çalışılmışlardır. Duaa AIQattan ve Francisco Sepulveda yayınladıkları "Towards Sign Language Recognition Using EEG-Based Motor Imagery Brain Computer Interface" isimli çalışmada felçli hastaların Amerikan İşaret Dili 'nde kullanılan tek elle yapılabilen 6 adet temel işareti kullanabilmeleri üzerine çalışmışlardır (Pan, Li, & Wang, 2016). Bu çalışmada doğrusal olmayan Destek Vektör Makineleri(SVM) ve doğrusal diskriminant analizi (LDA) kullanmıştır. K. L. Hsieh ve arkadaşları gerçekleştirdikleri "Home Care by Auditory Brain Computer Interface for the Blind with Severe Physical Disabilities" çalışmada kısmi fiziksel engelli ve aynı zamanda ama olan bireyler için akıllı ev sistemlerinin temel yönetim işlemlerini gerçekleştirmek üzere ses temelli BCI sistemi geliştirmişlerdir (Hsieh, Sun, Yeh, & Pan, 2017).

Bu çalışmalardan da anlaşılabilceği gibi EEG sinyallerinin analizi ve işlenmesi sayesinde teşhis/tanı, mental aktivite sınıflandırması, duygu durumu, teçhizat/alet kullanımı ve karmaşık sistem yönetimi gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (AIQattan & Sepulveda, 2017). Ancak bu işlemlerin yapılabilmesi için insan beyninden elde edilen EEG sinyallerinin doğru ve tutarlı bir şekilde analiz edilmesi ve işlenmesi gerekir.

### 4. SONUÇ

Bu çalışmada EEG sinyalleri hakkında temel bilgilere ve EEG sinyallerinin BCI sistemlerinde kullanılış şekilleri hakkında bilgilere ve örneklere yer verilmiştir. Bazı BCI sistemlerinde EEG sinyallerinin bir türevi olan ERP de kullanılmaktadır. Bu konu başka bir çalışmada incelenecektir.

EEG sinyalleri klinik olarak bazı vakalarda kullanılabilir ancak BCI sistemlerinin henüz kararlı hale gelmemiş olması nedeniyle klinik olarak kullanımı yaygınlaşmamıştır. Ancak özellikle ağır motor kaybı yaşayan kişiler ve ağır felçli insanlar düşünüldüğünde BCI sistemlerinin gelecek için önemli olduğu açık bir şekilde gözlemlenebilir.

Bu alanda yapılan akademik çalışmalara daha birçok örnek gösterilebilir (Camacho & Manian, 2016) (Ernest, Smitha, & Vinod, 2015) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Jadav, Batistić, Vlahinić, & Vrankić, 2017). Bununla birlikte EEG sinyallerinin teknoloji sanayisinde de kullanımı son yıllarda artmıştır. NeuroSky ve EMOTIV gibi biyosensörler ve bunlara bağlı teknolojik ürünler üzerinde çalışmalar yapan birçok şirket mevcuttur. Sözü geçen bu iki firma piyasada kişisel kullanım için hazırlanmış EEG temelli başlıklar pazarlamaktadır. Bu başlıklar ile birey kendi EEG sinyallerini izleyebilmektedir.

### REFERANSLAR

AIQattan, D., & Sepulveda, F. (2017). Towards Sign Language Recognition Using EEG-Based Motor Imagery Brain Computer Interface. *2017 5th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*. Sabuk.

Anupama, H., N.K., C., & Lingaraju, G. (2014). Real-time EEG based Object Recognition System Using Brain Computer Interface. *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. Mysore.

- Bora, İ., & Yeni, S. (2012). *EEG ATLASI*. NOBEL TIP KİTABEVLERİ.
- Camacho, J., & Manian, V. (2016). Real-Time Single Channel EEG Motor Imagery based Brain Computer Interface. *2016 World Automation Congress (WAC)*. Rio Grande.
- Chan, A., & Dascalu, S. (2017). Using Brain Computer Interface Technology in Connection with Google Street View. *2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*. Bucharest.
- Citi, L., Poli, R., Cinel, C., & Sepulveda, F. (2008). P300-Based BCI Mouse With Genetically-Optimized Analogue Control. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, 16(1), 51-61.
- Cotrina, A. (2017). *Toward Brain-Computer Interaction in Paralysis*. Springer International Publishing.
- Curtin, A., Ayaz, H., Liu, Y., Shewokis, P., & Onaral, B. (2012). A P300-based EEG-BCI for Spatial Navigation Control. *34th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, (s. 3841-3844). San Diego.
- Dogrui, W., King, J.-T., & Chuanbg. (2017). Spatial Filtering for EEG-Based Regression Problems in Brain-Computer Interface (BCI). *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(2), 771-781. doi:10.1109/TFUZZ.2017.2688423
- Ernest, T., Smitha, K., & Vinod, A. (2015). Detection of Familiar and Unfamiliar Images using EEG-based Brain-Computer Interface. *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Kowloon.
- Guger, C., Daban, S., Sellers, E., Holzner, C., Krausz, G., Carablon, R., . . . Edlinger, G. (2009). How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)? *Neuroscience Letters*, 462(1), 94-98.
- Hsieh, K., Sun, K., Yeh, J., & Pan, Y. (2017). Home Care by Auditory Brain Computer Interface for the Blind with Severe Physical Disabilities. *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. Sapporo.
- Ilyas, M. Z., Saad, P., & Ahmad, M. I. (2015). A Survey of Analysis and Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interfaces. *2nd International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*. Penang.
- Jadav, G. M., Batistić, L., Vlahinić, S., & Vrankić, M. (2017). Brain Computer Interface Communicator : A Response to Auditory Stimuli Experiment. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. Opatija.
- Katona, J., Ujbanyi, T., Sziladi, G., & Kovari, A. (2016). Speed control of Festo Robotino mobile robot using NeuroSky MindWave EEG headset based Brain-Computer Interface. *7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2016)*. Wrocław.
- Liu, D., Chen, W., Lee, K., Pei, Z., & Mill'an, J. (2017). An EEG-based brain-computer interface for gait training. *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*. Chongqing.
- Lotte, F., Congedo, M., Lécuyer, A., Lamarche, F., & Arnaldi, B. (2007). A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*(4).
- Maleki, M., Manshouri, N., & Kayıkçıoğlu, T. (2015). A Novel Brain -Computer Interface based on the Gaze Rotating Vane Independent EEG. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Malatya.
- Maracine, M., Radu, A., Ciobanu, V., & Popescu, N. (2017). Brain Computer Interface Architectures and Classification Approaches. *21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 217-222.
- Pan, J., Li, Y., & Wang, J. (2016). An EEG-Based Brain-Computer Interface for Emotion Recognition. *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. Vancouver.
- Siuly, S., Li, Y., & Zhang, Y. (2016). *EEG Signal Analysis and Classification Techniques and Applications*. Springer International Publishing.
- Smitha, K., Vinod, A., & K, M. (2016). Voice Familiarity Detection using EEG-based Brain-Computer Interface. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Budapest.
- Tatum, W. (2017). *AMBULATORY EEG MONITORING*. New York: demosMEDICAL.
- Teplan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW*, 2(2).
- Xing, S., McCardle, R., & Xie, S. (2012). Reading the Mind: the Potential of Electroencephalography in Brain Computer Interfaces. *19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, (s. 275-280). Auckland.



## Otomatik Araçlar İçin Radyofar Temelli Yön Bulma

### Beacon Based Navigation for Automized Vehicles

Mert SUBAŞIAY<sup>1\*</sup>, Tuğba Selcen NAVRUZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gazi University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey

Başvuru/Received: 10/11/2018

Kabul/Accepted: 13/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Bu makalede günümüzde yaygın bir çalışma alanı olan insansız veya otomatik araçlar için geliştirilmiş bir yön bulma sistemi sunulmuştur. Amaç, GPS(Global Positioning System) sisteminin çalışmadığı veya hatalı çalıştığı noktalarda yön bulmayı sağlamaktır. Sunulan sistem temel olarak yol boyunca arka arkaya dizilmiş radyofarlardan aldığı açı bilgisi ile yön bulma üzerine kuruludur. Otomatik araçlarda, şehir içinde veya şehirlerarası yön bulmada, GPS'e destek olma potansiyeline sahiptir. Sistemin avantajları ise; hızlı bir şekilde araç otomasyonu sağlayabilmesi ve ortam koşullarından oldukça az etkilenmesidir. Kullanıldığı mesafeye göre, GPS'den daha ucuza daha hassas otomasyon sağlayabilmektedir. Yapılan MATLAB benzetimlerinin sonuçları sistemin uygulanabilir ve geliştirilebilir olduğunu kanıtlar niteliktedir. Benzetimlerde hem düz yolda hem de virajlı yollarda; bu sistemle, yüksek hassasiyetle aracın şeridini korunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Navigasyon, Yön bulma, İnsansız araçlar, Otomize araçlar, Radyofar”

#### Abstract

This paper is about a navigation system for unmanned or automized vehicles which is one of the important issues nowadays. We propose a system that solves the issue about navigating where GPS system does not work or cannot reach to enough accuracy. Proposed system basically consists of setting beacons alongside the road and navigate according to bearing angles of those beacons. The system can assist vehicles that are navigated with GPS, in cities or between cities. The advantages of the proposed system are, providing quick automation and being less sensitive to environmental conditions. Proposed system can provide much cheaper maintenance and more sensitive automation than GPS when it is assisted by a map in its data base. The MATLAB simulations of the system prove that system is practicable and developable. In simulations it is verified that; with this system, vehicle can keep its line with high precision.

#### Key Words

“Navigation, Direction finding, Unmanned vehicles, Automized vehicles, Beacon”

## 1. INTRODUCTION

Nowadays big companies such as Mercedes, Tesla and Google are working on automatized vehicles. Each of these companies has their own unique systems but they are using similar hardware and GPS (Global Positioning System) technology. However there is no commercially full automatic car due to lack of system reliability. Companies integrate these systems to their cars but none of them guarantee a safe drive. So it is advised that even when using auto pilot, driver must not let go of steering wheel.

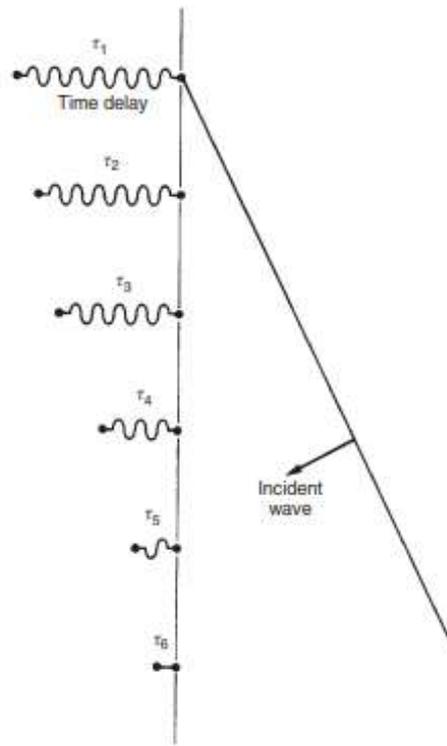
Intuitively, RFID-ANS (Radio Frequency Identification Assisted Navigation System) complements to the current GPS navigation system when GPS signals are not available (such as in tunnels) or when the GPS position is ambiguous to a vehicle (such as at cloverleaf intersections). But in practice, GPS does not provide sufficient information for navigation due to its low positioning accuracy (5 to 7 meters). Moreover, even combined with map-matching technologies, GPS still cannot achieve lane level positioning and cannot provide information regarding the traffic direction in the current lane. Nevertheless, these information are necessary to prevent vehicles from entering a wrong way when roads are under construction or lanes are temporarily borrowed by the traffic along a different direction (Cheng vd., 2012: 1).

When first GPS system worked operationally it had 100 meter of tolerance. After receiver adjustments, this tolerance reduced to 20 meters. DGPS (Differential GPS) has much lower tolerance and high accuracy. However the ideal conditions of DGPS depend on several important variables such as ionosphere effects, satellite positions and time differences. In most of the navigation systems those use GPS, system malfunction becomes due to non-homogeneity of environment and unknown object encounter while transferring data. For example GPS cannot be used for underground works and inside the mines, moreover some buildings block the GPS signals. The applications including RFID are mostly designed for indoor navigation. In RFID systems, indoor navigation is achieved by using methods of range finding, object defining and mapping. Due to nature of RFID all of these systems include data transmission. But this makes it dependent to a number of environmental factors. Besides these systems cannot be adapted to outdoor applications (Chris Tralie; Tsukiyama, 2011: 2)

In the long range navigation applications with RFID for cars and trucks, tags are placed under road and used not only for navigation but also for providing information about road. The disadvantage of this system are, the requirement of tags to be placed while road is being built and it requires huge number of tags (Jing vd., 2016: 2). In 2016, Apple proposed a beacon based navigation in one of its patent but this system also transmits data so it depends on environmental variables too (Varoglu, 2016). Proposed navigation system in this paper basically consists of marking road with beacons. Vehicle finds its path by measuring angles of beacons while taking its current heading direction as reference. While vehicle progresses through road it updates beacon in interest. Also with some extra beacons vehicle can be informed about changes in road (For example number of lanes or width of the road). A phased array antenna can be utilized to find the angles of beacons.

An antenna converts bound circuit fields into propagating electromagnetic waves and, by reciprocity, collects power from passing electromagnetic waves. Maxwell's equations predict that any time-varying electric or magnetic field produces the opposite field and forms an electromagnetic wave. The wave has two fields oriented orthogonally, and it propagates in the direction normal to the plane defined by the perpendicular electric and magnetic fields. The electric field, the magnetic field, and the direction of propagation form a right-handed coordinate system. The propagating wave field intensity decreases by  $1/R$  away from the source, whereas a static field drops off by  $1/R^2$ . Any circuit with time-varying fields has the capability of radiating to some extent. We consider only time-harmonic fields and use phasor notation with time dependence  $e^{j\omega t}$ . An outward-propagating wave is given by  $e^{-j(kR - \omega t)}$ , where  $k$ , the wave number, is given by  $2\pi/\lambda$ .  $\lambda$  is the wavelength of the wave given by  $c/f$ , where  $c$  is the velocity of light ( $3 \times 10^8$  m/s in free space) and  $f$  is the frequency. Increasing the distance from the source decreases the phase of the wave (Milligan, 2005: 1).

Suppose that a wave approaches with an angle to the axis of an array located on the  $z$  axis (Figure 1). The wave reaches the top element first and progresses down the array in succession. If the signals are added directly, they will cancel each other to some extent because they have a progression of phases.



**Figure 1:** Linear array scanned with time-delay networks

Figure 1 shows the results of adding a series of time delays to equalize the path lengths in the lines where the position  $z_i$  along the axis determines the time delay  $\tau_i$  for incident angle  $\theta_0$ :

$$\tau_i = z_i / c \cos (\theta_0 + \tau_0) \tag{1}$$

and velocity of light  $c$ . We add an arbitrary time delay  $\tau_0$  to keep all time delays,  $\tau_i$ , positive. This feed network is frequency independent, as we vary the progression of time delays to scan the beam. Phase shifters replace the time-delay networks in phased arrays. They provide equivalent beam scanning at a single frequency. To scan to an angle  $\theta_0$ , the required phase shift is

$$(-2\pi/\lambda) z \cos(\theta_0) \text{ modulo } 2\pi \text{ (rad)} \tag{2}$$

$$(-360^\circ/\lambda) z \cos(\theta_0) \text{ modulo } 360^\circ \text{ (deg)} \tag{3}$$

for elements located on the  $z$ -axis. The phase factor on each element of a general space array is

$$e^{(-jk_0 \cdot r)} \tag{4}$$

where

$$k_0 = 2\pi/\lambda (\sin \theta_0 \cos \phi_0 \hat{x} + \sin \theta_0 \sin \phi_0 \hat{y} + \cos \theta_0 \hat{z}) \tag{5}$$

is the vector propagation constant in the direction of the beam and  $r$  is the element location (Milligan, 2005: 117).

An array sensor system has multiple sensors distributed in space. This array configuration provides spatial samplings of the single sensor in signal reception and parameter estimation. Its superior spatial resolution provides a means to estimate the direction of arrival (DOA) of multiple signals. A sensor array also has applications in interference rejection, electronic steering, multi-beam forming, etc. This technology is now widely used in communications, radar, sonar, seismology, radio astronomy and so on (Grice vd., 2007).

DOA of wideband signals can be effectively estimated by using Space Time Adaptive Processor (STAP). STAP is the combination of space and time processing, thus it demands a higher processing power. Best performance of STAP is by choosing the reference signal as the center data of the FIR filter from the sensor at the origin (Grice vd., 2007: 1-2).

One of the big advantages of proposed system is that it does not require transferring data. The other big advantage of the system is that it does not depend on the amount of power of the incoming signal. Vehicle can receive the incoming electromagnetic wave from beacons with a phased array antenna and calculate angles of beacons. Therefore the proposed system is independent of most of the environmental factors since phased array antenna finds angle by phase difference. Beacons can be passive RFID tags and they can be energized by a transmitter on the vehicle. This will save us from energizing beacons by wire.

## 2. PROPOSED SYSTEM

The aim of designed system is to create an alternative to GPS system when GPS signal is not available or when it cannot provide enough accuracy. For example, RFID navigation can be used to transfer ores from a mine automatically or to navigate on Mars where GPS signal is unavailable. Also sand storms may cause a malfunction on GPS navigation since signals coming from outer atmosphere. Proposed system can assist in these kinds of cases. The principle of proposed system is navigating without an operator, using beacons alongside the road.

Here are important details:

- Beacons must be placed at the edge of the road as seen in Fig.2
- If road is curved, the line between beacon pairs, must intersect on the center of curve as seen from Fig.3.
- When road width changes, vehicle must be informed.

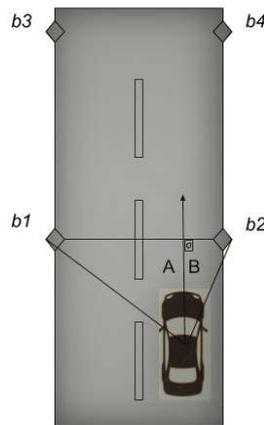


Figure 2: Straight road navigation

Placed beacons transmit electromagnetic wave omnidirectionally and none of them transfer data. A phased array antenna on vehicle can calculate angles of beacons. If beacon frequencies are different from each other, they can be identified easily. On the other hand beacons can broadcast with same frequency but they must not be placed inside their ranges.

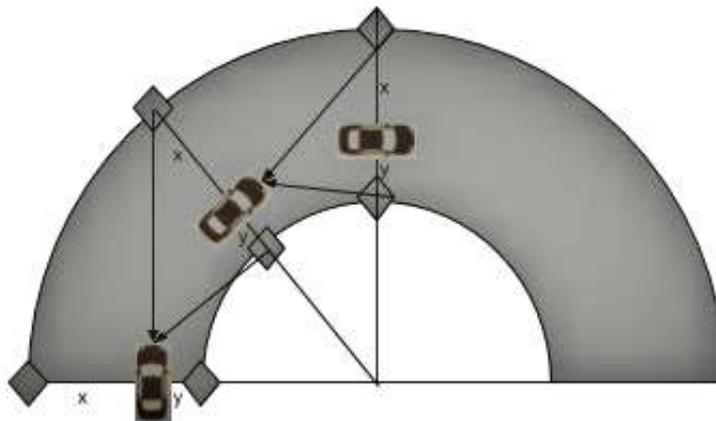


Figure 3: System implemented to a curved road

After calculation of beacon angles, system calculates angle of curve. If road is straight it can be identified with this calculation. Here the reference angle is the direction of vehicle. For example in Figure 2 A and B are angles of incidence. One of the system input is the ratio between the right side and left side of road widths (basically which line is used on road). If this information is satisfied to proposed system, vehicle can navigate on straight and curved roads without losing track of its line, Vehicle must be informed if road width changes since the input is the ratio of widths. This can be satisfied with different kinds of sensors or a beacon can be placed that transmits road width. The output of the system is angle of curved road and distance to the center of curve. These values are enough to navigate through a curved or straight road without losing line. When sum of both beacon

angles is equal to 180 degrees following beacon signals are taken into account and continues until no signal is received. System calculates several arithmetical and trigonometric equations at background.

Assume that beacon angles are 'b' and 'a' as seen in Figure 4.

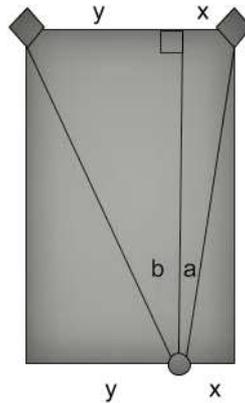


Figure 4: Angles of beacons on straight road

Also assume that line ratio is 'x / y' and the vehicles distance to line between beacons is 'h'.

In this case:

$$\tan(a) = x / h \tag{6}$$

$$y / \tan(b) = h \tag{7}$$

If h replaced in Eq. (6) as in Eq. (7)

$$\tan(a) = \tan(b) * x / y \tag{8}$$

From Eq. (8) the result is obtained as zero:

$$\tan(a) - \tan(b) * x / y = 0 \tag{9}$$

If the above equation is not equal to zero it means that vehicle is losing its line. On a straight road this equation shall stay equal to zero. If it's not then it means road ahead is curved. In this case following algorithm works:

Width ratio 'B / C' is given as input and distance to center of road from the edge of road is 'A'. Here beacon angles are 'b' and 'a' similar to straight road. So it means that complementary angles of 'b' and 'a' are 't' and 'g' respectively, when vehicle direction is taken as reference. In this case if we use triangle angle rules and sine theorem:

$$\sin(t) / (A+B+C) = \sin(t-m) / (B+A) \tag{10}$$

$$\sin(g) / A = \sin(g + m) / (B+A) \tag{11}$$

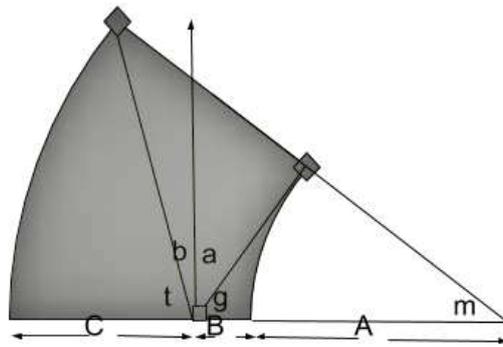
'A' is obtained as below from Eq. (11):

$$A = (B*\sin(g)) / (\sin(g + m) - \sin(g)) \tag{11}$$

If Eq. (10) is adjusted as this:

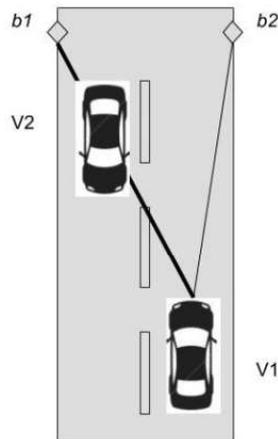
$$\sin(t) / \sin (t-m) = 1 + (C / (B+A)) \tag{12}$$

In Eq. (12) 'A' can be replaced as in the Eq. (11). After 'A' is replaced and trigonometric conversion formulas are used, a quartic equation is derived that depends on cosine (m). With this equation 'm' can be derived which is curve of road. After curve is found, with Eq. 11, 'A' also can be derived which is distance to center of curve.



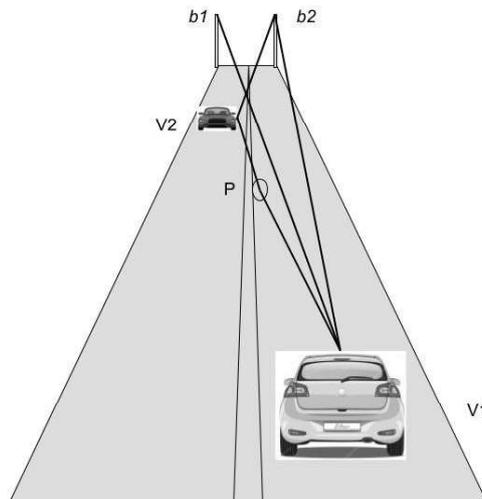
**Figure 5:** Angles on curved road

As seen in Figure 6 vehicle 'V2' can block signal broadcasting from 'b1' and cause malfunction for vehicle 'V2' navigation. To prevent other vehicles from blocking the signal, beacons can be placed higher than height of a truck. Height of the beacon only effects range of broadcast. Navigation algorithm does not depends on the height of the beacon since phased array antenna can be design as it can only detect horizontal incoming signal angle.



**Figure 6:** Signal blocked by other vehicle

Broadcasting signal can be reflected by ground and other vehicles as seen in Figure 7 and Figure 8. The main difference between reflected signal and broadcasting signal is amplitude and direction.



**Figure 7:** Signal reflection from other vehicle

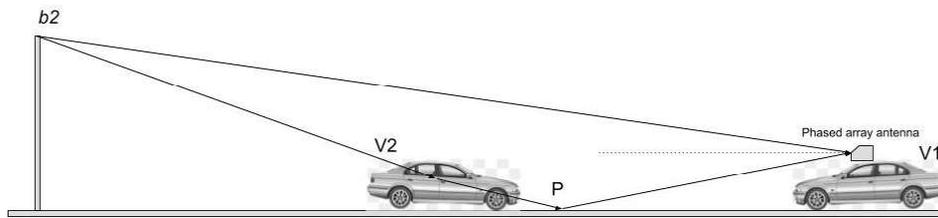


Figure 8: Signal reflection from other vehicle

Reflected signal may not reach phased array antenna due to attenuation or frequency distortions but in case, antenna can be designed as it will not receive signals coming from bottom of the antenna. Reflected signal will be coming from bottom of the vehicle since beacon transmits signal from a higher attitude. So broadcasting signal can be differentiated from reflected signal. To eliminate signals coming from bottom, a metal sheet can be placed under the antenna or antenna can be placed at the back of the vehicle (as seen in Figure 9) since most of the vehicles top is covered with metal.

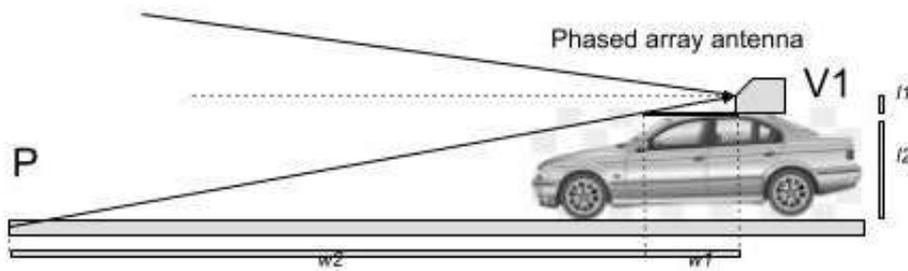


Figure 9: Phased array antenna design

If we calculate how far reflected signal can be blocked by cars top metal sheet:

$$(l1 + l2) / l1 = (w1 + w2) / w1 \tag{13}$$

In Eq. 13 we are looking for  $(w1 + w2)$  which is how far reflected signal should be coming from to reach the antenna. If we assume average height of the vehicle as 1.5 meters, height of antenna as 0.1 meters and top sheet length as 3 meters we find:

$$(0.1 + 1.5) / 0.1 = (w1 + w2) / 3 \tag{14}$$

$$(w1 + w2) = 48 \text{ meters} \tag{15}$$

### 3. SIMULATION AND DISCUSSION

The system was simulated with MATLAB. In simulations, the direction that the vehicle traveled was assumed as the reference angle, and the angle to the point where the beacons were located was given as input to the system. These inputs correspond to the 't' and 'g' angles shown in Figure 5. Another input is the ratio of 'C' and 'B' distances.

After determining the inputs, the system is programmed to track the direction of the vehicle to be updated depending on the angle of the beacons. As shown in Figure 10, Figure 11, Figure 12, the vehicle can keep its route without leaving the line, according to the angle information taken from the beacons located at the sides of the road respectively.

An important problem that should be solved in the system is the location of the beacons. The arrangement of the beacon locations depends on the broadcasting frequency of the beacons. They may broadcast at the same frequency or at different frequencies. When the same frequency broadcasting is considered, there is a possibility that the vehicle will confuse from which beacon the signals is taken. So it is necessary to make a selection according to the arrival angle (a and b angles in Figure 5) of the signals. It is highly likely that the algorithm in the vehicle will mix the places of the beacons where the intersection of broadcast fields of radio stations is intense (for example, in bends and intersections). Therefore, the distance of the beacons should be selected considering the intersection of the broadcast areas.

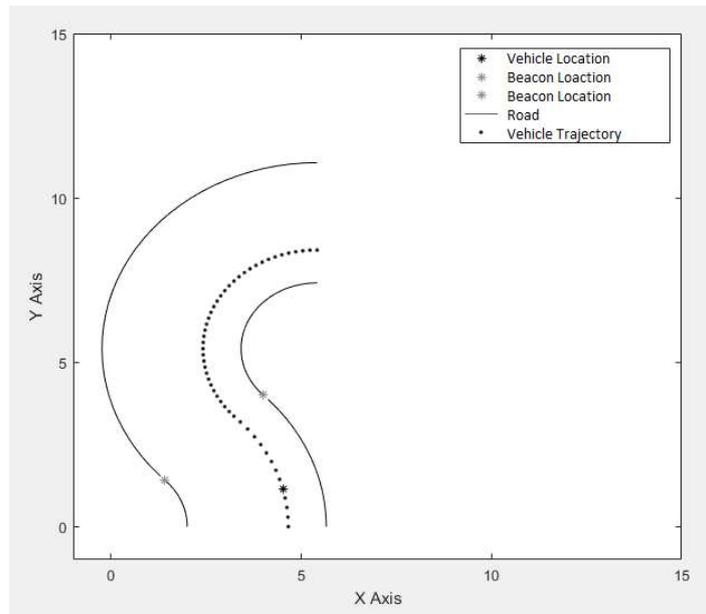


Figure 10: Vehicle status on T = 1 instance

On the other hand, if we consider the design of a different frequency broadcast radio, the intersection of the broadcast ranges of the beacons is not a problem. If at least 3 different frequencies are selected and are assigned periodically along the way to the beacons in pairs, the intersection of the beacons are blocked on the straight path. However, more frequencies may be needed during bends and intersections. If a design is to be selected in such a manner in the beacons, the phased array antenna(s) on the vehicle must be considered in accordance with this design.

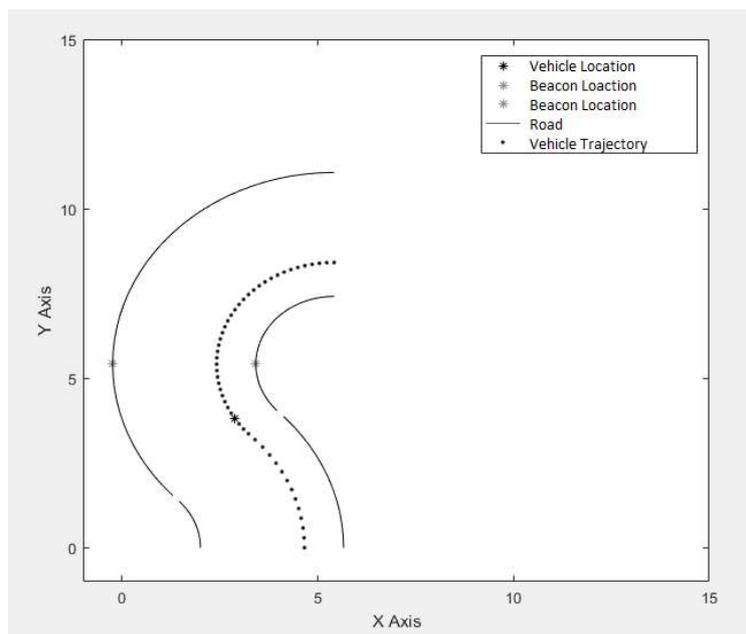
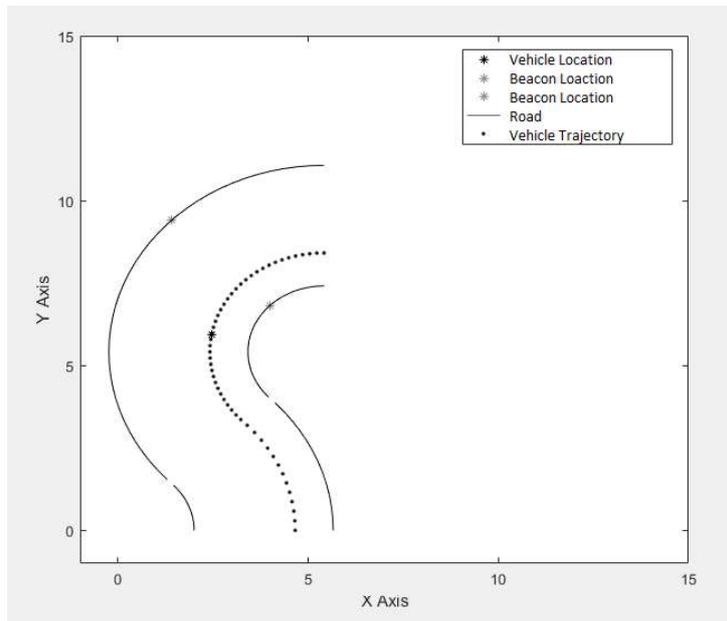


Figure 11: Vehicle status on T = 2 instance

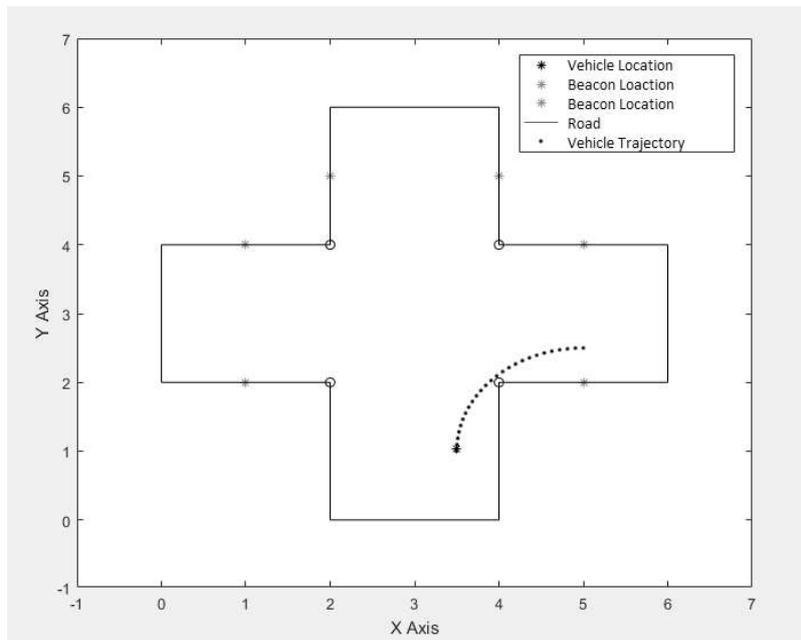
An advantage of the different frequency broadcast beacon design is that if one of the beacon pairs fails, the vehicle may notice that it is malfunctioning and the path can be estimated with another algorithm. In this way the design is more advantageous, but it has a wider area in the frequency band. At the same time, phased array antenna(s) make the design more challenging.

Two different simulations have been made, one for curved road and other one for an intersection. Intersection results can be seen in Figure 13, Figure 14, Figure 15 and Figure 16. To eliminate confusion of beacons in intersection simulation, additional beacons has been placed to the corners. In the implementation; beacons were placed at the bends at intervals of 45 degrees in curved road simulation. According to the results of the simulation, when it is accepted as (0,0) point and 0 degree as references, vehicle arrived the place where supposed to have arrived with a faulty of 0,00074% and reached to 1,4694 degrees fault in direction.



**Figure 12:** Vehicle status on T = 3 instance

The reason for the resulting error is due to the fact that sinus and cosine functions are used while the locations of the beacons are being written. Also some of the numbers are rounded.



**Figure 13:** Vehicle status on T = 1 instance in intersection

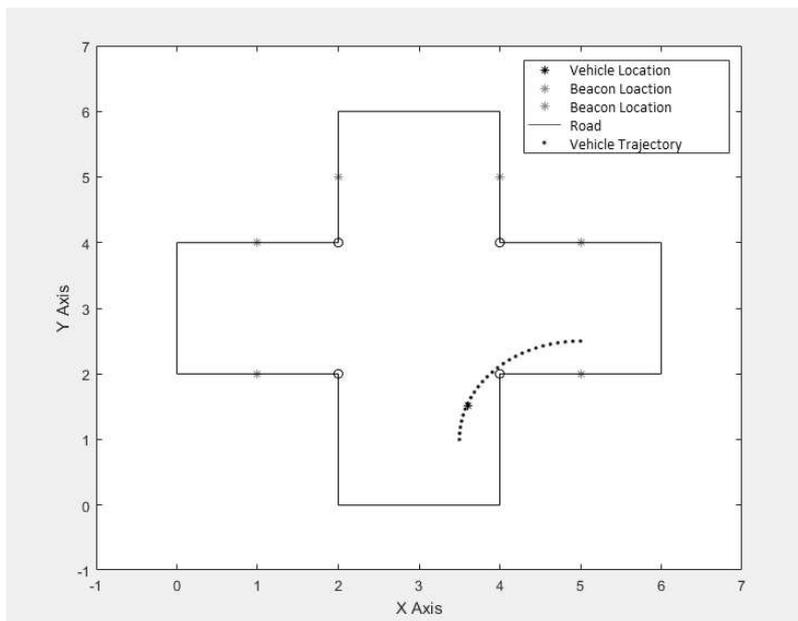


Figure 14: Vehicle status on T = 2 instance in intersection

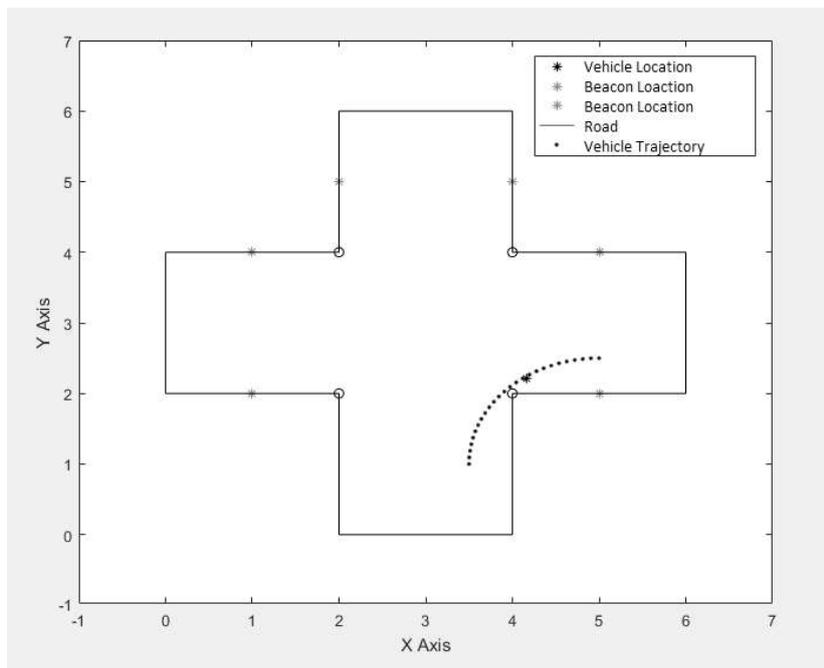


Figure 15: Vehicle status on T = 3 instance in intersection

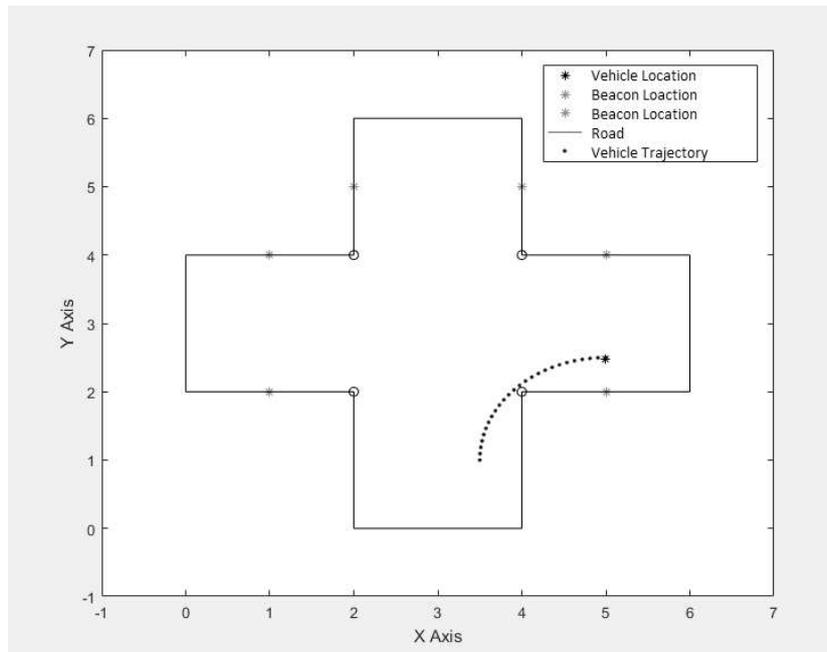


Figure 16: Vehicle status on T = 4 instance on intersection

#### 4. CONCLUSION

Simulations made with MATLAB are evidence of the correctness of the algorithm and indicate that the system can be further improved. Electromagnetic transmission and antenna models also will be analyzed and added to simulation in future researches.

The disadvantage of the system is; along the road, the width of the road must be determined and reported to the system on the vehicle. This can be done with many different sensors, or with another beacon that indicates that the width of the road has changed. Also other vehicles and buildings may reflect the broadcasting signal and cause malfunction in navigation.

If we compare this to a satellite-based system (GPS, Galileo ...), the cost of constructing a satellite starts at \$ 100 million, and its orbit placement cost ranges from \$ 10 million to \$ 400 million (Brown and Harris, 2000: 11). A glitch that can occur during launch can cause the rocket to explode and cause these operations to be repeated (constructing and launching the satellite). Moreover, any electronic or software failure that may occur in the satellite after it has been placed in the orbit, may cause it to construct and launch again in a similar way. If you consider that satellite-based systems do not use a single satellite, the risk of cost, malfunction and error increases. In the proposed system, in case of any malfunction, the whole system does not collapse and the defective part can be repaired alone.

The weakness of the proposed system compared to the satellite-based systems is that the system needs to be laid separately on all roads. If the system is developed on its own, it can provide direction finding or it can be combined with GPS to increase the accuracy rate of GPS. In the future researches combining system with a local map will be carried out. Simulating with a map would be more accurate and realistic.

#### REFERENCES

- Brown, G., Harris, W., (2000), *How Satellites Work*, retrieved from <https://science.howstuffworks.com/satellite.htm> on 4<sup>th</sup> July 2018.
- Cheng, W., Cheng, X., Song, M., Chen, B., Zhao, W., (2012), On the Design and Deployment of RFID Assisted Navigation Systems for VANETs, *IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS*, 23(7), 1-1.
- Grice, M., Rodenkirch, J., Yakovle, A., Hwang, H., Aliyazicioglu, Z., Lee, A., (2007), Direction of Arrival Estimation using Advanced Signal Processing, *California State Polytechnic University, Pomona*, 1-2
- Jing, T., Wei, X., Cheng, W., Guan, M., Ma, L., Huo, Y., and Cheng, X., (2016), An Efficient Scheme for Tag Information Update in RFID Systems on Roads, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 65(4), 1-2.
- Milligan, T., (2005) *Modern Antenna Design, Second Edition* (p. 1-117), New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..

Tralie, C., Robotic Navigation with RFID Waypoints, *Duke University, Electrical and Computer Engineering.*

Tsukiyama, T., (2011), RFID Based Navigation System for Indoor Mobile Robots, *Proceedings of the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control Milano (Italy)*, 1-2.

Varoglu D., (2016), System with wireless messages to enhance location accuracy, *U.S. Patent and Trademark Office, Apple's U.S. Patent No. 9,344,989.*



## Relationship Between Undrained Shear Strength with Atterberg Limits of Kaolinite/Bentonite – Quartz Mixtures

### Kil Zeminlerin Drenajsız Kayma Dayanımı ile Atterberg Limitleri Arasındaki İlişki

Eyyüb KARAKAN\*<sup>1</sup>, Süleyman DEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kilis

Başvuru/Received: 7/11/2018

Kabul/Accepted: 17/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

#### Öz

Bu çalışmanın temel amacı, kum kil karışımlarının drenajsız kayma dayanımı ile Atterberg limitleri arasındaki ilişkinin, hem düşen koni deneyi hem de Casagrande yöntemi kullanılarak incelenmesiydi. Casagrande yöntemiyle elde edilen değere yakın likit limiti belirleyen düşen koninin penetrasyon derinliği, kil içeriği ile değiştirilmiştir. Aynı kil tipinin, daha yüksek bir kum içeriğine sahip karışımlarda daha az drenajsız kayma dayanımı değerleri elde edildiğini gösterilmiştir. Drenajsız kayma dayanımı küçük miktarlardaki kum değerleri için düşükken; kil miktarı arttıkça, drenajsız kayma dayanımı artmıştır. Sonuç olarak, kum kil karışımlarının Atterberg limitini belirlemek için kullanılan düşen koni deneyi için bir denklem, drenajsız kayma dayanımı ve başlangıç su içeriğine bağlı olarak önerilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Kaolin, bentonit, kuvars, drenajsız kayma dayanımı, Atterberg limit,”

#### Abstract

The main purpose of this study was to investigate the relationship between the undrained shear strength and the Atterberg limits of quartz clay mixtures using the falling cone test and the Casagrande method. As a result, the penetration depth obtained from fall cone test, which determines the liquid limit close to the value obtained by the Casagrande method, was changed by the presence or absence of fine grained soils. It was shown that same clay type with a much higher quartz content concluded smaller undrained shear strength values. The undrained shear strength value with a small amount of quartz was the lowest; increasing with the increase in fines content. The relationship between the undrained shear strength and the Atterberg limits for all the samples depend on three parameters: (1) quartz / clay (kaolinite or bentonite) mixtures ratio, (2) type of clay (plasticity; high - low plasticity), and (3) plastic limit value. Finally, an equation for the fall cone test used to determine the Atterberg limit of quartz clay mixtures, was proposed based on the undrained shear strength and initial water content.

#### Key Words

“Kaolinite, Bentonite, Quartz, Undrained Shear Strength, Atterberg Limits”

## 1. INTRODUCTION

The fall cone test firstly was developed as a method for estimating the strength of remoulded cohesive soils. Then, it was widely used as a standard method for determining the liquid limit of clays in many countries. In the past, several empirical estimates have been made of the strength at the liquid limit.

The liquid and plastic limits, as called Atterberg limits (liquid limit,  $w_L$ ; plastic limit,  $w_P$ ), which represent the consistency characteristics of soils, are the important indices among the physical properties of soils. All over the world, the Casagrande cup and thread rolling methods have been used to determine the liquid limit and plastic limit of clay soils. On the other hand, the fall cone method has been used to find the liquid limit of clay soils in many countries. Also, the fall cone method is also used to calculate the undrained shear strength ( $S_u$ ) of soils. Recently, in 2004, fall cone method was provided as the ISO/TS Standards for determining the liquid limit and the undrained shear strength of soils. In general, the shear strength of a soil can be considered to have three components qualitatively: cohesion, friction, and dilatancy (Lambe, 1960). Cohesion, in general, is considered as a part of the shear strength that can be mobilized due to forces arising at the particle level and is independent of the effective stress (Lambe, 1960), and hence is regarded as a physico-chemical component of the shear strength. Yong and Warkentin (1966) feel that cohesion of clays is so dependent on the interaction characteristics of the clay–water system that a definitive description as to what constitutes cohesion becomes virtually impossible. The main objective of this paper is to show experimental verification of the relationship of these limits in terms of undrained shear strength by means of a fall cone method. This paper describes the reappraisal of the fall cone method and Casagrande cup for determining simultaneously both liquid and plastic limits of quartz-kaolinite/bentonite mixture soils. The fall cone tests for determining the liquid limit of soils are mainly standardized. The cone type with mass and apex angle is 30°, 80 g cone. The former is always called ‘BS cone’ implying the British Standard type.

The fall cone apparatus includes a specimen cup, 55 mm in diameter and 40 mm in height. In BS 1377, test 2(A), the test procedure for determination of the liquid limit includes the following: “The re-mixed soil shall be pushed into the cup with a palette knife, taking care not to trap air.” This implies that the process of placing the soil in the specimen cup is influenced by individual judgment and is probably the most difficult step in the fall cone test.

A total of 112 soil samples including 52 kaolinite-quartz and 60 bentonite–quartz mixtures, were tested during this investigation. The bentonite and kaolin samples were prepared by thoroughly mixing the powder with distilled water and curing the mixture for at least 24 hours before testing. 52 kaolinite-quartz and 60 bentonite–quartz mixtures were tested using both the fall cone apparatus and the Casagrande percussion device to determine their liquid limits. The samples of 52 kaolinite-quartz and 60 bentonite–quartz mixtures were tested to determine their liquid limits and plastic limits from their linear  $\log d - \log w$  relationships. For this purpose, the number of fall cone tests was increased to obtain more data points with depths of penetration falling between 3 and 39 mm to better define the relationship for each soil.

## 2. RELATIONSHIP BETWEEN $S_u$ with $W_L$ & $W_P$ of QUARTZ –KAOLINITE/BENTONITE MIXTURES

Hansbo (1957) proposed the relationship between cone penetration  $d$  and undrained shear strength ( $S_u$ ) based on the fall cone and shear tests of soils as;

$$S_u = k \frac{mg}{d^2} \text{ (kPa)} \quad (1)$$

where  $m$  is a mass of cone (gram),  $k$  is a cone factor,  $g$  is a gravity acceleration ( $=9.8 \text{ m}^2/\text{s}$ ).  $k$  value, mainly depends on the apex angle of cone and in the BS cone is  $k=0.85$  (Wood, 1985). In this paper, equation (1) is used to compute the  $S_u$  of 52 kaolinite-quartz mixtures and 60 bentonite-quartz mixtures soils. For the British cone (30°/0.785 N), the depth of penetration corresponding to the liquid limit is 20 mm (BS 1377). It may be noted that, using a penetration of 20 mm and  $k$  value of 1 (Wood, 1983) or 0.85 (Wood, 1985), the undrained shear strength computed from equation (1) is 1.96 or 1.67 kPa, respectively.

Equation (1) shows that the undrained shear strength is inversely proportional to the square of the depth of penetration. Data from Skempton and Northey (1953) show that the undrained shear strength at the plastic limit is about 100 times that at the liquid limit. Thus, it can be computed from equation (1) that the cone penetration at the plastic limit is 2 mm for the British cone. The British fall cone apparatus (BS 1377, British Standards Institution 1990), with a 30° cone and weighing 0.785 N, and the Casagrande percussion device were used during this investigation.

The linear  $\log d - \log w$  model is expressed as follows:

$$\log w = \log c + m * \log d \quad (2)$$

where  $w$  is the water content,  $c$  is the water content at  $d=1$  mm,  $m$  is the slope of the flow curve, and  $d$  is the depth of cone penetration. For computing the cone liquid limit ( $w_{LC}$ ), equation (3) is rewritten as;

$$w_{LC} = c * (20)^m \tag{3}$$

The data points and the  $\log d - \log w$  relationships (flow curves) of quartz- kaolinite for 52 mixtures are shown in Figure 1. The data points and the  $\log d - \log w$  flow curves obtained from quartz- bentonite for 60 mixtures are shown in Figure 2. Both the  $m$  values and the  $c$  values of these flow curves are determined from linear regression analyses on the data points, and the corresponding values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) range from 0.932 to 1. For kaolinite-quartz mixtures, the  $c$  constant was ranging from 26.681 to 4. 856 and the average value of  $c$  is 14.765. These indicate a strong linearity of the  $\log d - \log w$  relationship. When the kaolinite content increases, the constant value of  $c$  decreases. Also, the slope of the flow curve,  $m$ , was calculated 0.366 as an average value (Figure 1).

The same result was shown for quartz- bentonite mixtures (Figure 2). For bentonite-quartz mixtures, the  $c$  constant was ranging from 50.22 to 6.20 and the average value of  $c$  is 26.629. When the kaolinite content increases, the constant value of  $c$  decreases. Also, the slope of the flow curve,  $m$ , was calculated 0.4011 as an average value. The results show that, bentonite- quartz mixtures have higher water content than kaolinite-quartz mixtures, because of the  $c$  constant and  $m$  slope of the flow curve is bigger.

Shimobe (1999; 2000) proposed the regression equation of  $d$ - $S_u$  relationship ( $R=0.964$ ) based on a large number of his BS cone and shear test data of soils as;

$$S_u \text{ or } S_{ur} = \frac{224.468}{d^{1.576}} \text{ (kPa)} \tag{4}$$

where  $S_u$  is undrained shear strength of the undisturbed soil or remoulded soil, respectively. Similarly, Federico (1983) also indicated this relationship of remoulded soils using the BS cone as;

$$S_{ur} = \frac{263.082}{d^{1.571}} \text{ (kPa)} \tag{5}$$

In this study, two different equations were obtained. The first equation was obtained by using Kaolinite quartz mixtures and the second equation was obtained bentonite quartz mixtures (Figure 3).

$$S_u = \frac{25.82}{d^{0.5}} \text{ (kPa)} \tag{6}$$

Equation 6 was obtained by using kaolinite quartz mixtures. In equation (6), the slope of the flow curve is smaller than the bentonite quartz mixtures. Equation 7 was obtained by using bentonite quartz mixtures (Figure 3).

$$S_u = \frac{667.08}{d^2} \text{ (kPa)} \tag{7}$$

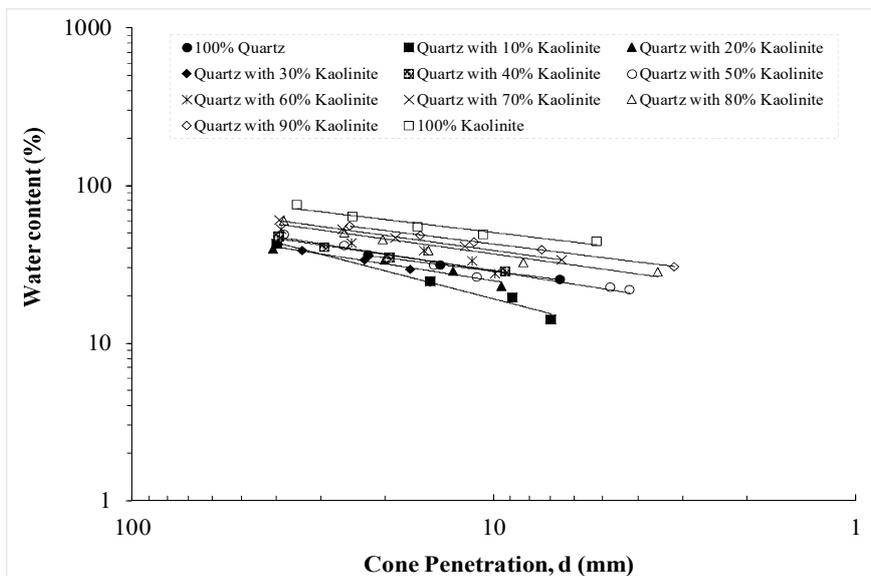


Figure 1: Logarithmic penetration depth versus logarithmic water content relationships for the kaolinite-quartz mixtures.

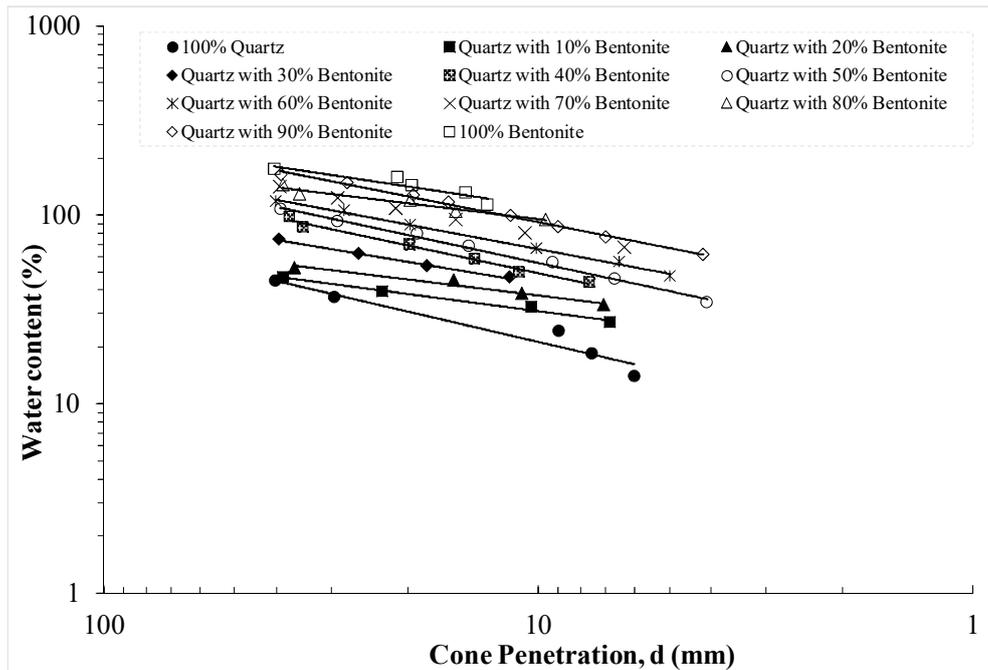


Figure 2: Logarithmic penetration depth versus logarithmic water content relationships for the Bentonite-quartz mixtures.

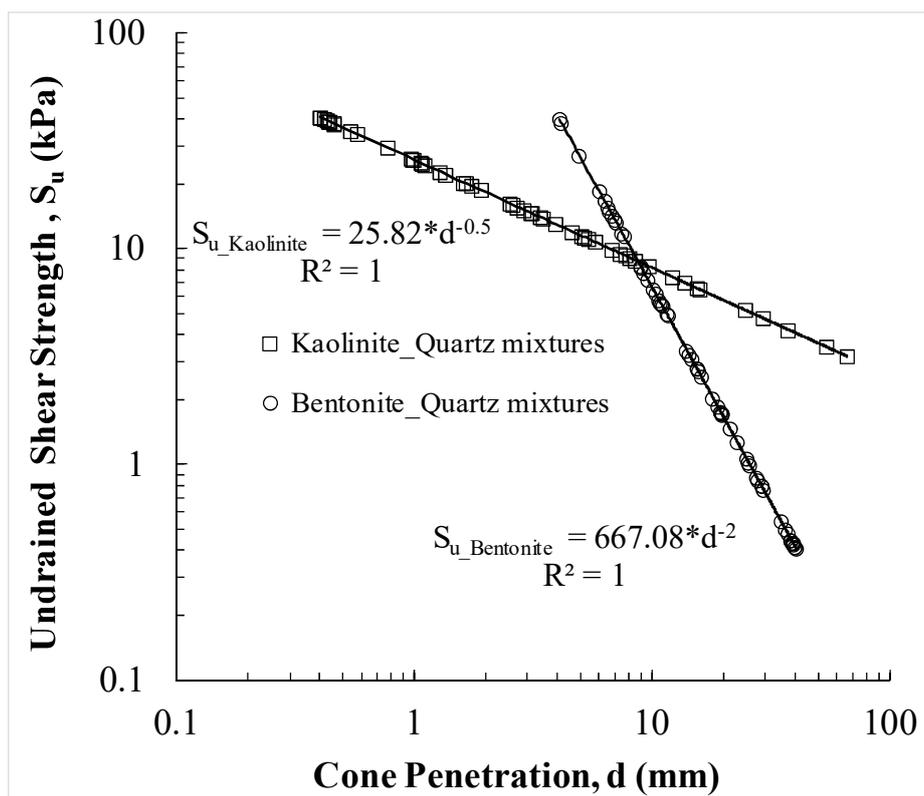


Figure 3: Relationship between undrained shear strength and cone penetration of Bentonite-quartz and Kaolinite-quartz mixtures.

The soils used in this investigation include mixtures of commercially available bentonite/kaolinite with quartz. The soils indicate that bentonite is dominantly composed of montmorillonite while kaolinite is composed of kaolinitic soils. The variation of undrained strength of soil with water content has been known in literature (Lee 2004; Trauner et al. 2005; Hong, et al. 2006). The various forms of relationship of undrained strength with ratio of water content to liquid limit (Lee 2004; Berilgen et al. 2007); undrained strength (either  $C_u$  or  $S_u$ ) with liquidity index (Yilmaz 2000; Koumoto and Houlsby 2001; Berilgen et al. 2007);  $C_u$  with

water content (Berilgen et al. 2007);  $C_u$  with consistency index (Berilgen et al. 2007) as reported by various researchers has been formulated.

Casagrande (1939) proposed an average shear strength of soil at the liquid limit as  $2.65 \text{ kN/m}^2$ . Norman (1958) reported that the shear strength at the liquid limit determined by using an apparatus conforming to the British standard ranged from  $0.8$  to  $1.6 \text{ kN/m}^2$  whereas using an apparatus of ASTM standards, the strength ranged from  $1.1$  to  $2.3 \text{ kN/m}^2$ . Youssef et al. (1965) found that the values of shear strength of clay at the liquid limit of a large number of soils shows a mean value of  $1.7 \text{ kN/m}^2$ . According to Federico (1983), the shear strength at the liquid limit of soils, falls within limits of  $1.7$  and  $2.8 \text{ kN/m}^2$ . Wood (1985) showed a mean value of shear strength at the liquid limit as  $1.7 \text{ kN/m}^2$ . Wroth and Wood (1978) adopted a mean value of  $1.7 \text{ kN/m}^2$  as the best estimate of undrained shear strength of a remolded soil at its liquid limit. In the present work, the liquid limit has been determined by the fall cone method. This study provides a mean value of  $2.55 \text{ kN/m}^2$  as the shear strength at the liquid limit. This result is also consistent with the literature.

From the results of Skempton and Northey (1953), Wroth and Wood (1978) assumed that the shear strength at the plastic limit is one hundred times the shear strength at the liquid limit. From the same results, Nagaraj et al. (1994) and Belvisco et al. (1985) defined plasticity index as the range of water content producing a 100-fold variation in shear strength. This 100-fold variation of shear strength is based only on the results obtained by Skempton and Northey (1953). This finding is then used to derive a simple relationship between undrained shear strength and the liquid limit and the plastic limit of soil. Undrained shear strength of soil at the plastic limit is  $170 \text{ kN/m}^2$ .

Table 1 shows the  $A$ ,  $\beta$  and  $R^2$  values obtained from figure 1 for 52 quartz – kaolinite mixtures with using equation 1. The undrained shear strengths were determined for 22 clay (kaolinite/bentonite) – quartz soil samples by the fall cone test, the liquid limit of which varied from 24.69 to 60.79%. When water content was plotted against shear strength on a log-normal scale an exponential line for each soil sample was obtained. Figure 4 shows typical results for quartz – kaolinite mixtures the 52 samples tested. The relationship was obtained for water contents greater than the liquid limit to less than the plastic limit of the soil. Table 2 shows the  $A$ ,  $\beta$  and  $R^2$  values obtained from figure 5 for 60 quartz – bentonite mixtures with using equation 1. The exponential behavior between undrained shear strength and water content was also observed for data of quartz–bentonite mixtures. The result is shown in Figure 5 and Table 2.

The undrained shear strength-water content relationship has been found to be exponential in a log-normal plot. This relationship has been found to be valid for a range of water contents beginning from lower than the plastic limit to much greater than the liquid limit for a wide variety of soils with liquid limits ranging from 24 to 61%. This linearity in relationship has been used for formulation of an expression that gives the undrained shear strength of a quartz clay mixtures at any water content based solely on its plastic and liquid limits. Undrained shear strength results at different water contents obtained from fall cone tests are also incorporated in Figures 4 and 5. Figures 4 and 5 show good agreement of the  $S_u$  with those of water content. This example is typical of all such results obtained.

**Table 1.** Kaolinite quartz mixtures calculations

Test Sample	Kaolinite (%)	Quartz (%)	A	$\beta$	$R^2$
1	100	0	2E+12	-6.803	0.937
2	90	10	2E+12	-7.005	0.999
3	80	20	1E+10	-5.974	0.950
4	70	30	6E+10	-6.265	0.999
5	60	40	2E+7	-4.467	0.952
6	50	50	4E+8	-5.342	0.944
7	40	60	2E+9	-5.76	0.977
8	30	70	4.89E+5	-3.652	0.92
9	20	80	1E+8	-5.256	0.935
10	10	90	9.82E+4	-3.183	0.866
11	0	100	7E+10	-6.898	0.996

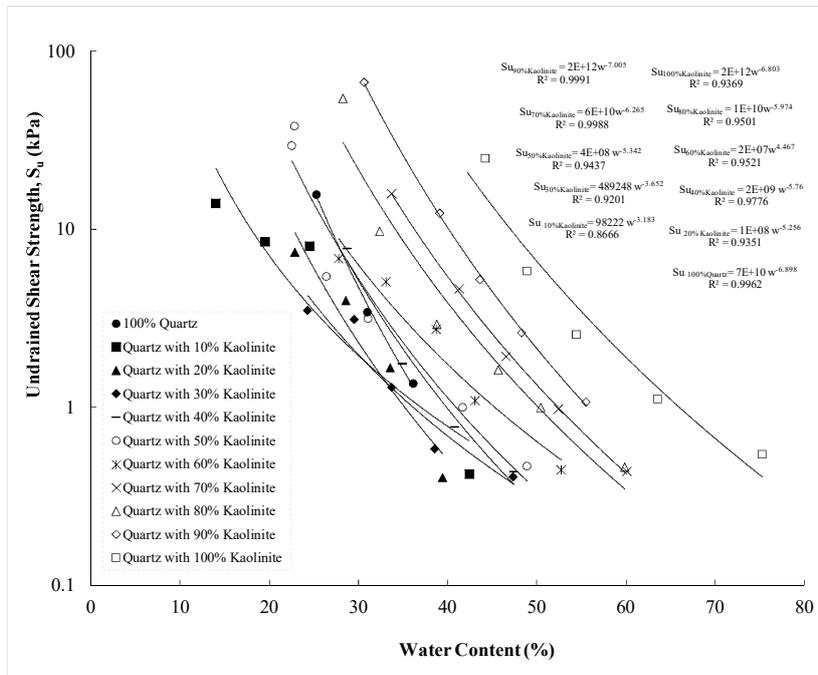


Figure 4: Relationship between undrained shear strength results as obtained from fall cone test and water content for quartz - kaolinite mixtures

Table 2. Bentonite quartz mixtures calculations

Test Sample	Bentonite (%)	Quartz (%)	A	$\beta$	R <sup>2</sup>
1	100	0	9E+12	-5.921	0.967
2	90	10	2E+9	-4.37	0.995
3	80	20	1E+13	-6.177	0.977
4	70	30	9E+9	-4.821	0.996
5	60	40	2E+9	-4.599	0.995
6	50	50	7E+7	-4.029	0.994
7	40	60	4E+7	-4.032	0.987
8	30	70	2E+9	-5.194	0.993
9	20	80	4E+11	-6.831	0.962
10	10	90	3E+10	-6.49	0.985
11	0	100	283395	3.499	0.936

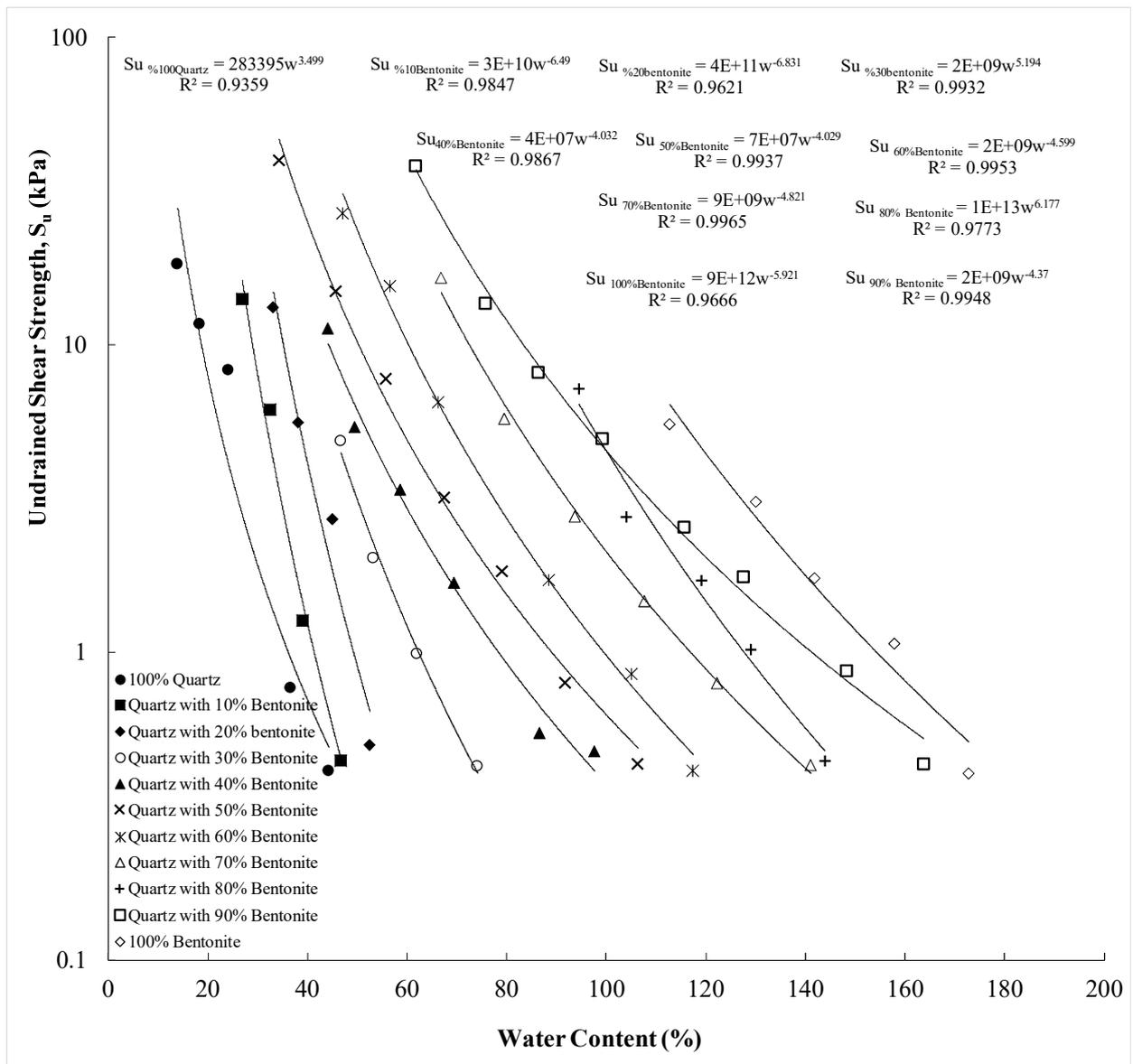


Figure 5: Relationship between undrained shear strength results as obtained from fall cone test and water content for quartz - bentonite mixtures

According to figure 4 and 5, the relationship between water content  $w$  (abscissa) and undrained shear strength  $S_u$  (ordinate) is given in terms of a power trend line function transformed to  $w$ -log ( $S_u$ ) graph plot as;

$$S_u = A * w^\beta \tag{8}$$

where  $A$  is the constant and  $\beta$  is the slope of the best fit exponential line to the data points, respectively. The  $A$  constant value ranging from 28.3395 with  $2E+12$  and  $\beta$  value ranging from  $-3.183$  with  $-7.005$ . Regression analysis of the results comparing undrained shear strength and water content is shown in figure 4 and 5. As seen in Table 1 and 2; a good correlation is indicated ( $R^2 > 0.94$ ).

The undrained shear strengths at both liquid and plastic limits in Casagrande and fall cone methods are shown in figure 6. Furthermore, these values indicated by the previous researchers also are presented together in this figure. As a result, the undrained shear strength at liquid limit ( $S_{uWL}$ ) is approximately 2.55 kPa irrespective of the difference of test methods and liquid limit values (Figure 6). However, though the undrained shear strength at plastic limit ( $S_{uPL}$ ) has a wide range in comparison with liquid limit [ $(S_{uPL}) = 71-460$  kPa], as its recommended value,  $(S_{uPL}) = 170.52$  kPa proposed by researchers seems to explain the measured values on average. While figure 6 indicates a general trend which clearly will be useful for some workers where the Atterberg limits are available, the liquid and plastic limits are a physical property while the undrained shear strength is a mechanical property of the soils and hence empirical methods to obtain the shear strength should always be treated with caution.

It can be observed that the undrained shear strength values at liquid limit water content is quite variable and are both test dependent and on the soil type. The variation of the shear strength with soil type being important from as low as 0.8 kPa to as high as 10 kPa. Many of the researchers (Wroth and Wood, (1978), Stone and Phan (1995)) developed an instrumented cone penetrometer to establish the moisture content of soil with strength 100 times that of the liquid limit which could be defined as the plastic limit. But the method has not got universal acceptance. In this study, we found that undrained shear strength ratio at plastic limit to liquid limit is nearly 80.

In this study, plot of ratio of undrained shear strength at plastic limit to liquid limit versus liquid limit by both Casagrande’s method and Fallcone method are presented in Figure 7. From this figure, it can be seen that the undrained shear strength ratio at plastic limit to that of liquid limit is quite variable, being as low as 13 to as high as 360. It can also be observed that the strength ratio has an increasing trend with the liquid limit.

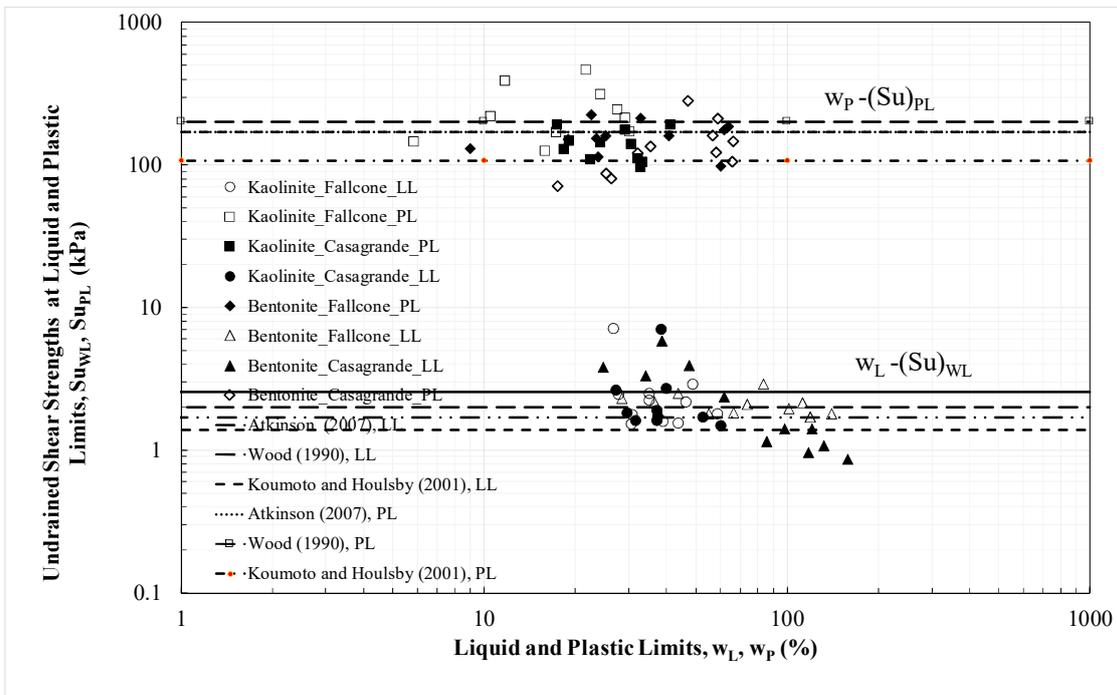


Figure 6: Undrained shear strengths at liquid and plastic limits in Casagrande and Fall cone methods results as obtained for quartz – (kaolinite /bentonite) mixtures

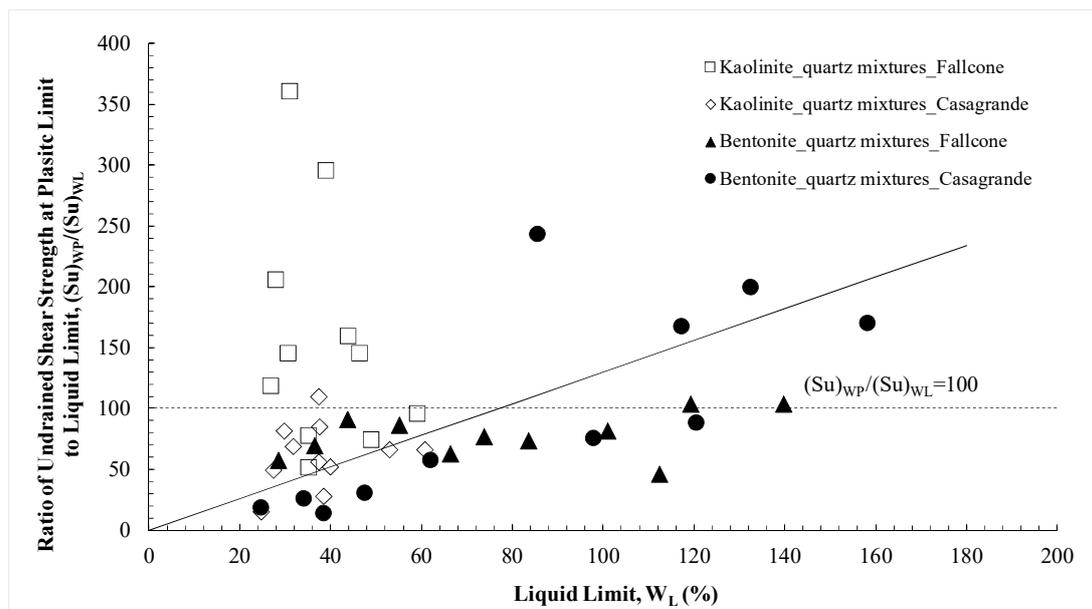


Figure 7: Undrained shear strengths ratio at plastic limit to liquid limit versus liquid limit Casagrande and Fall cone methods results as obtained for quartz – (kaolinite /bentonite) mixtures

Figure 8 is a plot of the same strength ratio versus plastic limit, which is observed to have a decreasing trend with the plastic limit. From Figures. 7 and 8, it is further evident that undrained strength is having a functional dependency of water content. To further verify this fact, the strength ratio is plotted versus the ratio of liquid limit to plastic limit, as shown in Figure 9. From these figure the strength ratio is found to increase with the ratio of liquid limit to plastic limit. The correlation of strength ratio is better with the ratio of liquid limit to plastic limit. With the above discussion, it can be understood that shear strength is not unique both at liquid limit and plastic limit. It was seen that though the value of undrained shear strength at the liquid limit water content is less, the variation was observed to be nearly sixty-seven times and that at plastic limit to be as high as eighteen times. The ratio of undrained strength at plastic limit to liquid limit could vary significantly.

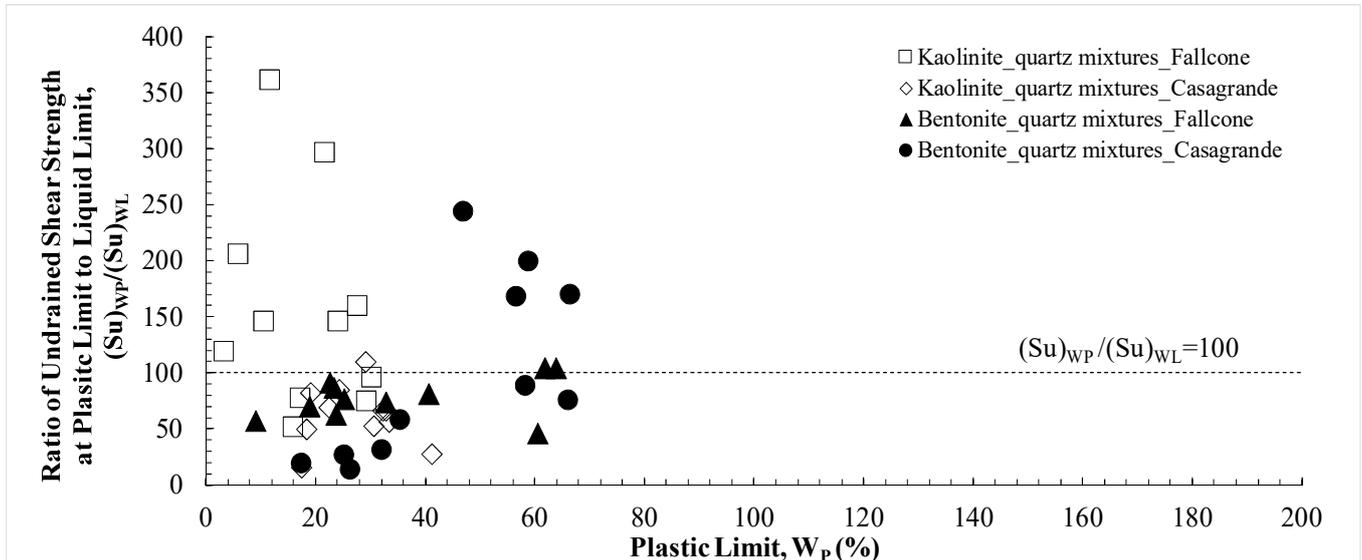


Figure 8: Undrained shear strengths ratio at plastic limit to liquid limit versus plastic limit Casagrande and Fall cone methods results as obtained for quartz – (kaolinite /bentonite) mixtures

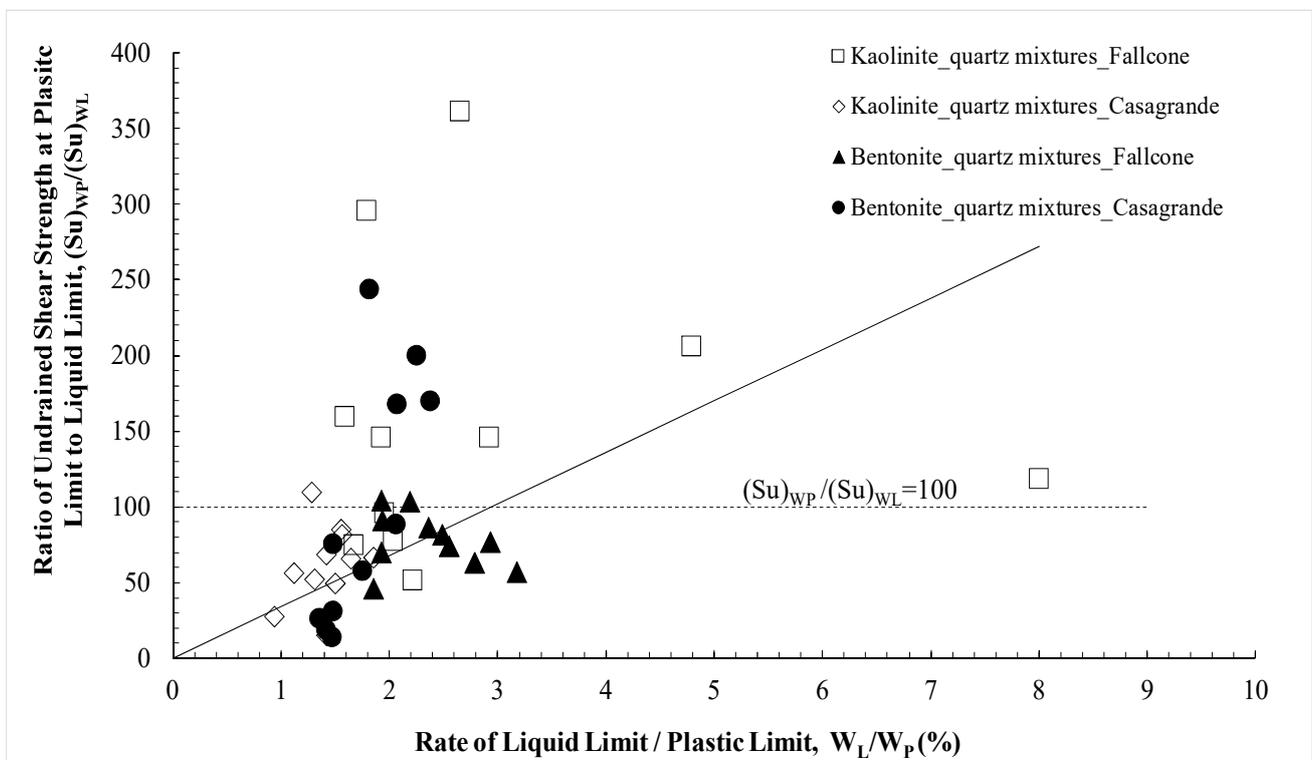


Figure 9: Undrained shear strengths ratio at plastic limit to liquid limit versus ratio of liquid limit to plastic limit Casagrande and Fall cone methods results as obtained for quartz – (kaolinite/bentonite) mixtures

### 3. CONCLUSIONS

The fall cone method can be used for determination of the liquid limit of the sand clay mixtures. It would be useful if the plastic limit could also be determined using the fall cone apparatus. The log d–log w relationships of 22 sand clay mixtures, with penetration depths ranging from 3 to 39 mm and percussion liquid limits ranging from 26 to 180%, are nearly linear, as determined from regression analysis. It is concluded that the fall cone method provides an alternative for a simple approach to determine both the liquid limit and the plastic limit. In addition, the fall cone test can also be used to determine the undrained shear strength of soils in terms of the cone penetration.

From the analysis of literature, undrained shear strength at the liquid limit has been found to have an average value of around 2.55 kN/m<sup>2</sup>. The assumption Wroth and Wood (1978) that shear strength at the plastic limit can be taken as 100 times that at the liquid limit (170.5 kN/m<sup>2</sup>) has not been experimentally verified and found to be valid. In this study shear strength at the plastic limit can be taken as nearly 80 times that at the liquid limit. The undrained shear strength–water content relationship has been found to be linear in a log–log plot. This relationship has been found to be valid for a range of water contents beginning from lower than the plastic limit to much greater than the liquid limit for a wide variety of quartz clay mixtures with liquid limits ranging from 24 to 61%. This exponential relationship has been used for formulation of an expression that gives the undrained shear strength of a quartz clay mixtures at any water content based solely on its plastic and liquid limits. It is concluded that that soils cannot have a unique value of strength at different values of water contents.

### THANKS

This study was supported by Kilis 7 Aralik University as BAP project No:10971.

### REFERENCES

- Berilgen SA, Kılıç, H, Ozaydın K. (2007) Determination of undrained shear strength for dredged golden horn marine clay with laboratory tests. Proceedings of the Sri Lankan geotechnical society's first international conference on soil & rock engineering, August 5–11, Colombo, Sri Lanka
- Belvisco, R., Clampoli, S., Cotecchia, V., and Federico, A. (1985). "Use of cone penetrometer to determine consistency limits." *Ground Eng.*, 18–5, 21–22.
- British Standards Institution. 1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes (BS 1377). British Standards Institution, London.
- Casagrande A (1932) Research on the atterberg limits of soils. *Public Roads* 13(3):121–130 (136)
- Federico A (1983) Relationships (Cu–w) and (Cu–s) for remolded clayey soils at high water content. *Riv Ital Geotech* 17(1):38–41
- Hansbo, S. 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. Royal Swedish
- Hong Z, Liuz S, Shen S, Negami T (2006) Comparison in Undrained Shear Strength between Undisturbed and Remolded Ariake Clays. *J Geotech Geoenv Eng* 132(2):272–275
- Koumoto T, Houlsby GT (2001) Theory and practice of the fall cone test. *Geotechnique* 51(8):701–712
- Lambe, T.W. (1960). A mechanistic picture of shear strength in clay. In Proceedings of the Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colo., pp. 555–580.
- Lee LT (2004) Predicting geotechnical parameters for dredged materials using the slump test method and index property correlations. DOER Technical Notes collection (ERDC TNDOER- D-1), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi. <http://www.wes.army.mil/el/dots/doer>
- Nagaraj, T. S., Srinivasa Murthy, B. R., and Vatsala A. (1994). Analysis and prediction of soil behaviour, Wiley Eastern Limited, India.
- Norman LEJ (1958) A comparison of values of liquid limit determined with apparatus having bases of different hardness. *Geotechnique* 8(2):79–83
- Trauner L, Dolinar B, Mišić M (2005) Relationship between the undrained shear strength, water content, and mineralogical properties of fine-grained soils. *Int J Geomech* 5(4):350–355

- Shimobe, S. (1999). Simultaneous determination of liquid and plastic limits of soils by extended BS fall cone method and its engineering application. Proc. Of the 44th Symp. On Geotech. Engrg.. JGS, Now. 18-19, Osaka, Japan:7-12.
- Shimobe, S. (2000). Correlations among liquidity index, undrained shear strength and fall cone penetration of fine grained soils. Proc. Of the Int. Symp. On Coastal Geotech. Engrg. In Practice Sept. 20-22, Yokohama, Vol 1: 141-146.
- Skempton, A. W., and Northey, R. D. (1953). "The sensitivity of clays." *Geotechnique*, 3, 30-53.
- Stone KJL, Phan KD (1995) Cone penetration tests near the plastic limit. *Geotechnique* 45(1):155-158
- Yilmaz I, (2000) Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index. *Bull Eng. Geol. Env.* 59(3):227-229
- Youseff MS, El Ramli AH, El Demery M (1965) Relationships between shear strength, consolidation, liquid limit, and plastic limit for remoulded clays. In *Proceedings 6th international conference on soil mechanics and foundation engineering*, vol 1. Montreal, pp. 126-129.
- Yong, R.N., and Warkentin, B.P. 1966. *Introduction to soil behaviour*. The MacMillan Company, New York.
- Wood DM, Wroth CP (1978) The use of the cone penetrometer to determine the plastic limit of soils. *Ground Eng* 11(3):37.
- Wood DM, (1985) Some Fallcone tests. *Geotech* 35(1):64-68.
- Wood, D.M. (1983) Cone penetrometer and liquid limit: Discussion. *Géotechnique*, 33(1): 76-80.



e-issn: 1308-5514