

**2. HEZARFEN ULUSLARARASI FEN  
MATEMATİK VE MÜHENDİSLİK  
BİLİMLERİ KONGRESİ**

**25-26 Eylül 2020  
Antalya / Türkiye**



**2nd HEZARFEN International Congress  
of Science, Mathematics and  
Engineering**

**25-26 September 2020  
Antalya / Turkey**



**TAM METİN KİTABI  
PROCEEDING BOOK**

**Editörler / Editors**

**Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim Kurt**

**Asst. Prof. Dr. Tamer Saraçyakupoğlu**

Publishing Director / Yayın Yönetmeni: Muhammet Özcan  
Editors/ Editörler: Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim KURT  
Asst. Prof. Dr. Tamer Saraçyakupoğlu  
Cover Design / Kapak Tasarımı: Emre Uysal

ISBN: 978-625-7813-13-6

**Asos Yayınevi**

1<sup>st</sup> Edition / 1.baskı: October/Ekim 2020

Address / Adres: Çaydaçıra Mah. Hacı Ömer Bilginoğlu Cad. No:  
67/2-4/MERKEZ/ELAZIĞ

E-Mail: asos@asosyayinlari.com

Web: www.asosyayinlari.com

Instagram: <https://www.instagram.com/asosyayinevi/>

Facebook: <https://www.facebook.com/asosyayinevi/>

Twitter: <https://twitter.com/Asosyayinevi>



## **BOARDS / KURULLAR**

### **Kongre Düzenleme Kurulu Başkanları**

Prof. Dr. Murat ODUNCUOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi/Gaziantep Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Halil İbrahim KURT, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye

### **Düzenleme Kurulu**

Prof. Dr. Aleksandar Kadijević Belgrad Üniversitesi, Sırbistan

Dr. Öğr. Üyesi Aziz BAŞYİĞİT, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Engin ERGÜL, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

### **Bilim ve Hakem Kurulu**

Prof. Dr. Aleksandar KADIJEVIĆ Belgrad Üniversitesi, Sırbistan

Prof. Dr. Claudio ROSSİ, Università di Siena, İtalya

Prof. Dr. Diana ILIEVA Kopeva, University of National and World Economy, Bulgaristan

Prof. Dr. Karima BOUAKAZ, Ecole Normale Supérieure – Kouba, Cezayir

Prof. Dr. Murat ODUNCUOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Sıddık KESKİN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Tanja SOLDATOVIĆ, Novi Pazar Devlet Üniversitesi, Sırbistan

Prof. Dr. Yahya BOZKURT, Marmara Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Zana C. DOLICANIN, Novi Pazar Devlet Üniversitesi, Sırbistan

Prof. Dr. Zlatko KARAČ Zagreb Üniversitesi, Hırvatistan

Doç. Dr. Erdal YABALAK, Mersin Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Firudin AGAYEV, Teknoloji Bilimleri Enstitüsü, Azerbaycan

Doc. Dr. Flaminia VENTURA, Università degli Studi di Perugia, İtalya

Doç. Dr. Halil İbrahim KURT, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Nurhan KESKİN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Octavian BARNA, Universitatea Dunarea de Jos, Romanya

Doç. Dr. Osman BİCAN, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Ali YURDDAŞ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Bedri BAKSAN, EskişehirOsmangazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Dhia Hadi HUSSAİN, Mustansiriyah Üniversitesi, Irak

Dr. Öğr. Üyesi Emir TOSUN, İnönü Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Funda Irmak YILMAZ, Ordu Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Gordana ROVČANİN Montenegro Üniversitesi, Karadağ

Dr. Öğr. Üyesi Hanifi DOĞRU, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ, Yalova Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇAM İCİK, Sinop Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Tuncay YILMAZ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

Dr. Erdin İBRAHİM, University of Bristol, U.K.

Dr. Olivier CUISINIER, University of Lorraine, France

Dr. Giacomo RUSSO, University of Napoli Federico II, Italy

Dr. Zuzana KOŠŤÁLOVÁ, Slovak Technical University, Slovakia

Dr. Radhouane KAMMOUN, University of Sfax, Tunus

Dr. Rim HACHİCHA, University of Sfax, Tunus

Dr. Sabrina ELBACHİR, University of Mascara, Cezayir

Dr. Lazaros KARAOGLANOGLU, National Technical University of Athens, Yunanistan

Dr. Geoges BOURAKİS, Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Yunanistan

Dr. Fares HALAHLİH, Institute of Applied Research Galilee Society, Israil

Dr. Felix RABELER, Technical University of Denmark, Danimarka



## İÇİNDEKİLER – CONTENTS

Conditional Volatility Models in Financial Markets and Its Application.....	1
81 İlerdeki 2010-2013 Yıllarına Ait Trafik Cezalarının Karşılaştırılması.....	16
Airyprime İşının Güçlü Türbülantta Yayılması.....	27
The Manufacturing and Qualification Methodology of the Aviation-Grade Parts.....	32
Solutions of Ruban Universe in $f(R,T)$ Gravitation Theory with Cosmological Constant ( $\Lambda$ ).....	37
Kürlenme ve Kurutma Fırını Baca Gazı Atık Isısının Yenilenebilir Enerji Olarak Geri Kazanma Sistemleri.....	46
Ekonomizer Sistemi Kullanılarak Atık Isı Geri Kazanılması.....	52
Saez-Ballester Teoride Domain Wall Bulunan Einstein-Rosen Evreni.....	58
“Uzunmusa” Fındık Çeşidinin Yaprakları Üzerine Bir Araştırma.....	65
Küresel Motor Çeşitleri.....	70
Başlangıç Değer Problemi. Kirchhoff Formülü.....	77
İnşaat Projelerinde Tespit Edilen Proje Risklerinin Proje Süresine Ve Maliyetine Etkisinin İncelenmesi.....	93
Geciken Argümlü Adımlarla Ayrık Optimal Yönetim Olayının Araştırılması.....	106
The Quantum Mechanical Rotation Operators Corresponding to $J_z^2$ and $J^2$ For All Spins.....	110
Makro-Sentetik Fiberli Betonların Mekanik Davranışının İncelenmesi.....	116
Simple Heliostat Design for Central Concentrated Solar Power System.....	128
Artvin İlinin Madencilik Potansiyeli.....	138
Farklı Sektörlere Ait Büyük Verinin Birliktelik Kuralları Yaklaşımıyla İncelenmesi.....	155
The Quantum Mechanical Rotation Operators Corresponding to operators $S_+$ and $S_-$ For Spins $1/2$ to $5/2$ .....	165
Evaluation of Interfacial Maximum Stress Occurred Between Restorative Composite Resin Multilayer and Maxillary Tooth Surfaces By Using FEM.....	171
Compressive Toughness Properties of Fly Ash Mortar Mixtures Containing Glass Powder as a Partial Replacement of Sand.....	176
Determination of Surface Properties of Towel Samples in KES-FB4 Surface Friction & Geometric Roughness Test Measurement Device.....	182
Hidropolitik Açından Türkiye-İrak İlişkileri.....	187
Ultrasonic Assisted Adsorption of Acid Red-1 Using Magnetic Zeolitic Tuff: Experimental Design Methodology.....	205
Early Age Performance And Mechanical Characteristics of Concrete Which is Used in Service Buildings.....	217
Using Frequency Selective Surface as a passive sensor in Structural Health Monitoring.....	227
Lyocell Liflerindeki Fibrilleşmenin Ultrasonik Yöntem Desteği İle Kontrolü.....	233
The Effects of Biodiesels Produced from Edible and Non-Edible Plant Oil-Based Feedstocks on the Combustion Behaviors of Compression-Ignition Engines: A Review.....	245



# Conditional Volatility Models in Financial Markets and Its Application

**Sakina I. BABASHOVA**

*Azerbaijan State University of Economics Turkish World of Economics Faculty, Department of Economics*

E-mail: sbabashova@gmail.com

## Abstract

Sudden and rapid changes in the economy leads to an increase in volatility. The fact that high volatility in financial markets brings along an increase in risk made it necessary to model it. Modeling volatility, which is accepted as a measure of risk, will benefit investors in their attitudes towards risk. The volatility of financial variables such as exchange rates, interest rates, and stock market indices is a measure of how far these variables deviate from their expected values.

ARCH-GARCH models, which are used in order to understand the dynamics of financial markets and to predict the changing volatility over time, have been expanded within the framework of some additional needs. Conditional volatility models are used extensively in modeling financial series. In general, ARCH models are models that relate the variance of error terms to the square of previous period error terms. The main feature of these models is that the variance of the error term in period  $t$  depends on the square of the error term in the period  $(t-1)$ . In GARCH models, the error's variance is not only associated with previous period errors but also with its own variance. The main feature of these models is that they allow varying variance of both autoregressive and moving average components. In order to model the volatility in financial time series, first it is necessary to test whether there is an ARCH effect in the model. If there is no ARCH effect in the model, the OLS estimation method can be used. However, if there is ARCH effect in error terms, the stage of estimating the variance model is started. Since the variance function is not linear, some iterative algorithms are used to maximize the likelihood function.

In this study, conditional volatility models that used in modeling the sudden and rapid changes in financial markets are discussed within the framework of other models that have been introduced in recent years. Then, conditional volatility models are applied on real data and obtained results are discussed.

**Key Words:** Volatility, ARCH-GARCH Models, Financial Markets

## Introduction

In classical linear time series analysis, the variance of estimation errors is assumed constant, but it is seen that economic time series have fluctuation periods in most cases. Recent studies show that estimation with nonlinear time series models is more successful in explaining real life. Developments in nonlinear models day by day contribute to the expansion of application areas in the economics literature.

There are ups and downs in the economic conjuncture, and these dips are downsizing or stagnation, defined as a "recession regime", and downsides are a growth process, referred to as a "growth regime". The important point here is at what point the economy is in growth and contraction processes. Since classical linear time series techniques are not sufficient in this regard, nonlinear time series techniques are used in the analysis of these processes. The analysis tool is the reflection of developments in chaos theory in physics to statistics and economics. Here, the time series having a stochastic process is brought into a deterministic form.

Most of the economic variables consist of data in the form of time series. Time series analysis gives reliable results if many assumptions come true. One of these assumptions is the constant variance assumption. Therefore, it is important to determine and verify whether the error terms have a fixed variance.

If this problem is not solved, the coefficients have standard errors larger than necessary, while the constant variance assumption is not valid for most of the time series.

Choosing the comparative analysis of variance tests used in modeling nonlinear time series data as the subject of the study is important in terms of its currency. The main difference that distinguishes the study from the existing ones in the literature is the classification of variance tests; it is the comparison of five tests selected from different classes with different distributions based on the real data in terms of p value.

The aim of the study is to examine the theoretical structure of nonlinear time series models and to classify the heteroscedasticity tests used in these models. In addition, to determine the strengths and weaknesses of the tests during comparison, and to make interpretations on the usage areas of the tests based on real data.

## Literature

Although the history of autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH) models is relatively short, the relevant literature has developed at a remarkable pace in this short history. Engle's original ARCH model (1982) and various extensions of this model have been applied to the economic and financial time series of many countries. Despite the awareness of the variance problem before the ARCH models were found, the problem was tried to be overcome by using processes not based on a specific model. Mandelbrot (1963) wanted to talk about the repeated estimates of variance over time, while Klien (1977) wanted to talk about the variance problem by using the five-period moving variances of the ten-period moving sample mean.

Financial time series have some general features. It has been observed that financial asset prices are generally not stable, asset returns are stable and do not show autocorrelation. Financial asset returns tend to be leptokurtic. The said return distributions are flatter than the normal distribution and have wider tails. This situation indicates that financial time series are more likely to change significantly than normal distribution. Another phenomenon frequently seen in financial asset returns is volatility clustering. It is seen that big changes follow big changes; small changes follow small changes in yield series. Essentially, the cases of thick tail and volatility clustering are interrelated. Finally, in the financial markets, market participants act differently against good and bad news. Bad news creates more volatility than good news. Hence, the direction of change in financial asset prices has an asymmetrical effect on volatility.

The ARCH model, proposed by Engle (1982), took its place in history as the first formal model to take into account the empirical findings in financial asset returns. The ARCH model is valuable not only because it takes into account some of the empirical findings in financial asset returns, but also because it finds application in different and multiple areas. For example, as used in asset pricing, it has also been used in measuring the maturity structure of interest rates, pricing options and modeling the risk premium. In the field of macroeconomics, the ARCH model has been successfully applied in forming the debt portfolios of developing countries, measuring inflation uncertainty, examining the relationship between exchange rate uncertainty and trade, investigating the effects of central bank interventions, and defining the relationship between macroeconomics and the stock market.

Bollerslev (1986) presented the Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH) model by modeling conditional variance as an autoregressive moving average (ARMA) process unlike the ARCH model. The GARCH model is preferred over the ARCH model in terms of parameter conservation. Analyzing financial and economic time series data with ARCH and GARCH models has become widely used. Some of the studies on ARCH and GARCH models have been done by Bollerslev, Chai and Kroner (1992), Bollerslev, Engle and Nelson (1994), Bera and Hings (1993), Fountas, Karanasos and Mendoza (2004).

Engle et al. (1987) developed the Autoregressive Conditional Heteroscedasticity on Mean (ARCH-M) model by including conditional variance as an explanatory variable in the mean equation. The ARCH-M model is important in testing the relationship between uncertainty and return, which has an important place in finance theory.

Andersen (1996) developed the Mixture of Distribution Hypothesis and created a model by combining a stochastic volatility process with the GARCH method. He states that his model is useful in analyzing the economic factors behind the volatility cluster observed in financial returns.

Nelson (1991) developed the Exponential GARCH (EGARCH) model to explain the asymmetric volatility structure observed in financial markets. In this model, the conditional variance may vary depending

not only on the magnitude of the shock, but also on its sign. Another important model that takes into account the asymmetric volatility structure is the Threshold ARCH (TARCH) model proposed by Zakoian (1994).

The univariate ARCH / GARCH approach is criticized as it does not take into account the time dependence between conditional variance and covariance between various markets and assets. To explain the time dependence in question, Bollerslev et al. (1988) extended univariate ARCH / GARCH models to multivariate models under the name of VEC parameterization. The VEC-GARCH model has problems in terms of applicability since it requires a large number of parameter estimates and the positive definition of the covariance matrix cannot always be achieved.

The VEC-GARCH model can be transformed into a model in which the positive definition of the covariance matrix is provided. This transformed model is known as the BEKK-GARCH model as defined in Engle and Kroner (1995).

Engle et al. (1990) put forward the Factor GARCH (F-GARCH) model in which the conditional correlation matrix is generated by fundamental factors. Bollerslev (1990) proposed the Constant Conditional Correlation GARCH (CCC-GARCH) model in which the number of parameters to be predicted is considerably reduced and the estimation process is quite simplified when conditional correlations are constant.

Whether or not conditional correlations are constant is not always a satisfactory condition as it is a purely empirical problem. For cases where conditional correlations are not constant, Tse and Tsui (2000) and Engle (2001) created two separate dynamic conditional correlations (DCC) parameterizations. In addition, Tse (2000) and Engle and Sheppard (2001) developed two separate fixed conditional correlation tests to test whether the conditional correlations are constant.

Threshold Autoregressive (TAR) models have become common in econometrics literature in the last two decades. TAR models were first presented in the studies of Tong (1978), Tong and Lim (1980) and Tong (1983). The main reason for the popularity of models is the ease of application of these techniques and the interpretation of their results, and the prediction is relatively simple. Another important feature of TAR models is that even in the presence of a small number of regimes, a nonlinear cascade dependent structure can be explained by the threshold pipeline dependency.

The GARCH model and its various variations have been very useful in measuring the volatility in time series. However, when there are one or more breaks in the variance of the series, it has been revealed that the volatility measured by ARCH-GARCH models is higher than it is. Lamoureux and Lastrapes (1990) raised the question of whether the calculated volatility will be greater due to deterministic structural breaks in the series. For this purpose, considering the 30 exchange rate series, they revealed that when regime shifts are directly included in the ARCH / GARCH model, the variance persistence obtained in the GARCH model significantly decreases. Since there was no method to find the breakpoints in variance, they divided the sampling period into equally spaced, non-overlapping intervals as a solution, and tested how sudden changes in variance affect the parameters of the predicted models.

Aggarwal (1999) used the ICSS (Iterative Cumulative Sum of Squares) algorithm to detect volatility changes in stock returns and found that if these breaks are ignored, volatility persistence will be higher than it is. Fernandez (2005), in order to reveal the impact of the Asian crisis and September 11 attacks on international financial markets, using the ICSS algorithm, determined the variance breaking and compared the results with the Wavelets method. He revealed that the breaks he found with both methods caused decreases in volatility when taken into consideration.

Since ARCH (GARCH) models are an iterative estimation process, it can be decided by testing whether the model includes autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH) effect or not. The special test developed to determine whether ARCH effects exist in time series was developed by Engle (1982). This test, also known as the ARCH LM test, is a Lagrange Multiplier (LM) test that investigates whether the model has ARCH effects in error terms. The reason for the investigation of ARCH effects, which is a special form of heteroscedasticity, is that the current error term, which is observed in many financial time series and, if neglected, reduces the effectiveness of the estimates, and the fact that the recent error terms are more closely related than the error terms of the previous periods should be taken into account .

There are many other statistical methods used in determining the variance problem in the literature: White general variance test (1995), Park test (1964), Glejser test (1969), Goldfeld-Quandt test (1972), Spearman

rank correlation test (1904), Breusch -Pagan-Godfrey test (1979), Ramsey's Reset test (1969), BDS linearity test developed by Brock, Dechert and Scheinkman (1987), Bartlett's Equal Variance test (1937).

## Methodology

### Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (ARCH) Model

Although the heteroscedasticity problem is generally known as a problem that occurs in cross-section data, it has been observed that the error variance can change over time in econometric models that aim to predict financial time series such as exchange rate, interest rate and stock price. In general, it is assumed that the error variance in time series models does not change over time. Therefore, it is important to determine and verify whether the error terms have a fixed variance. If this problem exists and cannot be solved, the coefficients will have standard errors larger than necessary (Enders, 2004: 82-84).

The econometric approach assumes that autocorrelation is a time series and variance is a cross-sectional data problem. In this case, according to traditional techniques, it is accepted that the variance of the error term is constant, that is, it does not change over time. However, it is seen that the time series of many macroeconomic and financial variables generally exhibit wide variability, and in time series of such macroeconomic variables, the assumption that the variance of errors is constant over periods is not appropriate. In fact, in such cases, some kind of autocorrelation is encountered in predictive variances. However, in the traditional econometric approach, it is mentioned that changing variance will occur mostly in models using cross-sectional data, while time series data are used in models with constant variance (Brockwell, Davis, 1991: 103).

With Engle's article published in 1982 using UK inflation data, an important step was taken in estimating conditionally heteroscedasticity models. Engle determined this conditional variance as a function of the squares of the error terms in cases where the conditional variance is time dependent while the unconditional variance is constant (Engle, 1982: 994). In order to stabilize the series in which the variance is not constant, the most popular nonlinear models that can be applied without transforming them with exponential transformation techniques such as Box-Cox transformation are ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) models in the literature.

Contrary to the common assumption in the literature, it has been proved by Engle that the variance of error terms in time series models is not constant by analyzing some macroeconomic data. Engle found that large and small estimation errors occur in clusters in inflation models, and as a result showed that the variance of estimation errors depends on the size of the previous period's error terms. He pointed out that autocorrelation, which is encountered in time series data and shows itself especially in predictions, should be modeled with a technique called ARCH (Engle, 1982: 987-1006).

The ARCH model leaves the constant variance assumption in traditional time series models, allowing the variance of the error term to change as a function of the squares of the previous period error terms. As one of the ways of modeling the volatility observed in time series, defining an independent variable related to volatility and estimating the volatility through this variable comes to the fore. As a simple example reflecting the case in which volatility is modeled by defining it as an independent variable,

$$y_{t+1} = \varepsilon_{t+1}x_t \quad (1)$$

In this equation,  $x_t$  is defined as an independent variable, while  $\varepsilon_{t+1}$  is a pure error term with  $\sigma^2$  variance. If  $x$  takes a constant value regardless of time, the  $\{y_t\}$  series becomes a white noise process with constant variance. However, the conditional variance of  $y_{t+1}$ ,

$$\text{Var}(y_{t+1}|x_t) = x_t^2 \sigma^2 \quad (2)$$

is not independent of the actual value of  $x_t$ . In this case, the larger the  $x_t$ , the greater the conditional variance of  $y_{t+1}$ . If the consecutive values of the  $\{x_t\}$  series are positively intrinsically correlated, the  $\{y_t\}$  series will also be positively intrinsically correlated. In this way, the  $\{x_t\}$  series will help explain the volatility in the  $\{y_t\}$  series. However, one drawback of this approach is that it assumes a specific cause for the variance. It is not always possible to choose one among many candidates that seem reasonable and to relate the volatility in the relevant variable only to the preferred independent variable.

Engle (1982) showed that it is possible to model the mean and variance of any series simultaneously in order to eliminate this drawback. To reach the ARCH model, a stationary autoregressive model is predicted as

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

In this case, the conditional estimate of  $y_{t+1}$ ,

$$E_t(y_{t+1}) = \alpha_0 + \alpha_1 y_t \quad (4)$$

If we use this conditional mean to estimate  $y_{t+1}$ , the prediction error variance is,

$$E_t \left[ (y_{t+1} - \alpha_0 - \alpha_1 y_t)^2 \right] = E_t (\varepsilon_{t+1}^2) = \sigma^2 \quad (5)$$

On the other hand, the unconditional estimation and variance of  $y_{t+1}$  are, respectively,

$$E(y_{t+1}) = \alpha_0 / (1 - \alpha_1) \quad (6)$$

$$E \left\{ [y_{t+1} - \alpha_0 / (1 - \alpha_1)]^2 \right\} = E \left[ (\varepsilon_{t+1} \alpha_1 \varepsilon_t + \alpha_1^2 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots)^2 \right] = \sigma^2 / (1 - \alpha_1^2) \quad (7)$$

As you can see, unconditional estimation has a greater variance than conditional estimation. Therefore, conditional estimation has smaller variance and becomes preferable in this context, since it takes into account past realizations known with the current period.

Similarly, if the variance of the  $\{\varepsilon_t\}$  series is not constant, ARMA model can be used to estimate the continuous movement in a certain direction in the variance. As an example of this situation, assuming that  $\{\widehat{\varepsilon}_t\}$  is a residual series of the model

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (8)$$

so the conditional variance of  $y_{t+1}$  is

$$Var(y_{t+1} | y_t) = E_t \left[ (y_{t+1} - \alpha_0 - \alpha_1 y_t)^2 \right] = E_t \varepsilon_{t+1}^2 \quad (9)$$

At this point, it is necessary to establish a structure where the conditional variance in equation (9) is not constant and changes over time. Modeling the conditional variance as an AR(q) process using the squares of estimated residuals is shown below. The model is the squared of estimated residuals, where  $v_t$  is a white noise process,

$$\widehat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \widehat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \alpha_2 \widehat{\varepsilon}_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \widehat{\varepsilon}_{t-q}^2 + v_t. \quad (10)$$

If the parameters other than the constant value in the model were zero, the estimated variance would be equal to the constant value  $\alpha_0$ . In other cases, the conditional variance of  $y_t$  will be determined within the framework of the autoregressive process in equation (1.10). In this framework, the conditional variance one term next is estimated using the autoregressive process,

$$E_t \widehat{\varepsilon}_{t+1}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \widehat{\varepsilon}_t^2 + \alpha_2 \widehat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \widehat{\varepsilon}_{t+1-q}^2 \quad (11)$$

For this reason, equation (10) is called the ARCH (q) model.

Defining  $v_t$  as a multiplicative error term instead of linear definition in Equation (10) creates a structure that can be examined more easily. Engle (1982) proposed the simple model as an example of multiplicative conditionally variance type models,

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2} \quad (12)$$

Here,  $v_t$  is defined as a white noise process whose variance is equal to one, and  $v_t$  and  $\varepsilon_{t-1}$  are independent of each other. In addition, they take constant values of  $\alpha_0$  and  $\alpha_1$  under the constraints of  $\alpha_0 > 0$  and  $0 < \alpha_1 < 1$ .

When the properties of the  $\{\varepsilon_t\}$  series are examined, it is not difficult to show that each of the elements in the  $\{\varepsilon_t\}$  series has a zero mean and is intrinsically unrelated, since  $v_t$  is a pure error term and is independent of  $\varepsilon_{t-1}$ .

Since  $E v_t = 0$ , unconditional expectation of  $\varepsilon_t$  is,

$$E \varepsilon_t = E \left[ v_t (\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2)^{1/2} \right] = E v_t E (\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2)^{1/2} = 0 \quad (13)$$

Similarly, the unconditional variance of  $\varepsilon_t$  is calculated as

$$E \varepsilon_t^2 = E \left[ v_t^2 (\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2) \right] = E v_t^2 E (\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2) \quad (14)$$

Here, since the variance of  $v_t$  is equal to one and the unconditional variance of  $\varepsilon_t$  is the same as the unconditional variance of  $\varepsilon_{t-1}$ , the unconditional variance is calculated as,

$$E \varepsilon_t^2 = \alpha_0 / (1 - \alpha_1) \quad (15)$$

Therefore, the error process does not affect the unconditional mean and variance and they take constant values.

The conditional variance of  $\varepsilon_t$  ceases to be a fixed value and becomes dependent on its value that was realized a period ago. Since the variance of  $v_t$  is equal to one, the conditional variance of  $\varepsilon_t$  is calculated as

$$h(t) = E(\varepsilon_t^2 | \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (16)$$

The conditional variance in Equation (16) is a first order autoregressive process. In order to prevent conditional variance from taking negative values, it is necessary to limit the coefficients  $\alpha_0$  and  $\alpha_1$ . Accordingly, the coefficients  $\alpha_0$  and  $\alpha_1$  must be positive. In addition, in order to ensure the stability of the autoregressive process, it is necessary to limit the  $\alpha_1$  coefficient to ensure inequality  $0 < \alpha_1 < 1$ .

As a result, there is an error structure in the ARCH model in which the conditional and unconditional mean equals zero. In addition, although the series  $\{\varepsilon_t\}$  is not intrinsically related, the error terms are not independent from each other because they are related through their second moments. Conditional variance itself is an autoregressive process that consists of conditional heteroscedastic errors. The greater the error term occurred a period ago from zero as the absolute value, the greater the conditional variance of  $\varepsilon_t$ .

### Weaknesses of the ARCH Model

Although the ARCH model captures some empirical findings seen in asset returns and proposes a parametric structure for estimating volatility in this framework, it also has some important weaknesses (Tsay, 1986: 112). These weaknesses are listed as follows:

1. Since the shocks of the previous period are included in the model by being squared, it is assumed that positive and negative shocks have the same effect on volatility. However, it is known that financial asset prices can respond asymmetrically to negative and positive shocks in real life.
2. The coefficients in the ARCH model are subject to very strict constraints.
3. The ARCH model does not make any new contribution to understanding the source of changes in financial time series; it only suggests a mechanical way to determine how conditional variance behaves.
4. Since ARCH models react slowly to large shocks to financial returns, they can predict the volatility of financial time series more than they are.

### Definition of Heteroscedasticity Problem

One of the most important assumptions of the Least Squares (OLS) technique in Classical Linear Model Analysis is the constant variance assumption. The OLS technique assumes that the variance



of the unit values of the dependent variable will remain constant while the unit values of the independent variables change, and this assumption is called homoscedasticity in the statistics literature (Gujarati, 1995: 73; Orhunbilge, 2000: 69; Tarı, 2006: 101). In other words, the error term variance is not affected by the changes in the independent variables and remains the same. The homoscedasticity assumption can be represented as follows:

$$\begin{aligned} \text{Var}(u_i|X_i) &= \text{Var}(u_i) = E(u_i^2) = \sigma^2 \quad i=1,2,\dots, N \\ E(uu') &= \sigma^2 I = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}_{N \times N} = \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma^2 \end{pmatrix}_{N \times N} \end{aligned} \quad (17)$$

The assumption that the variance of the error term  $u_i$  is equal for each explanatory variable  $X_i$  is expressed as follows:

$$\text{Var}(u_i|X_i) = E[u_i - E(u_i)]^2 \quad (18)$$

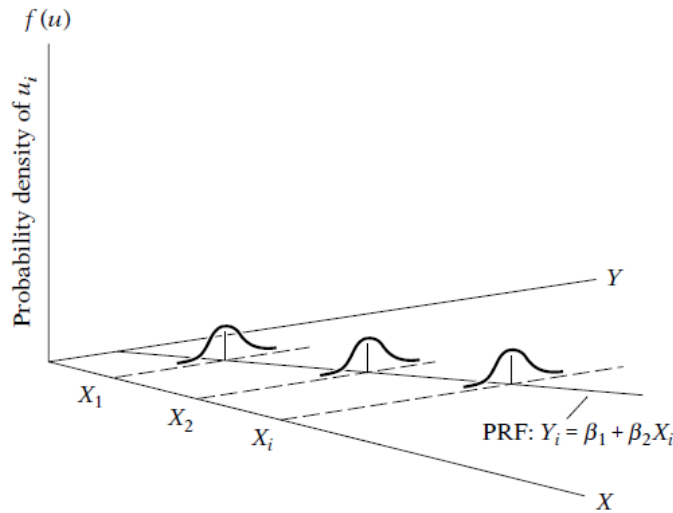
Since

$$E(u_i) = 0 \quad (19)$$

$$\text{Var}(u_i|X_i) = E(u_i^2) = \sigma^2 \quad (20)$$

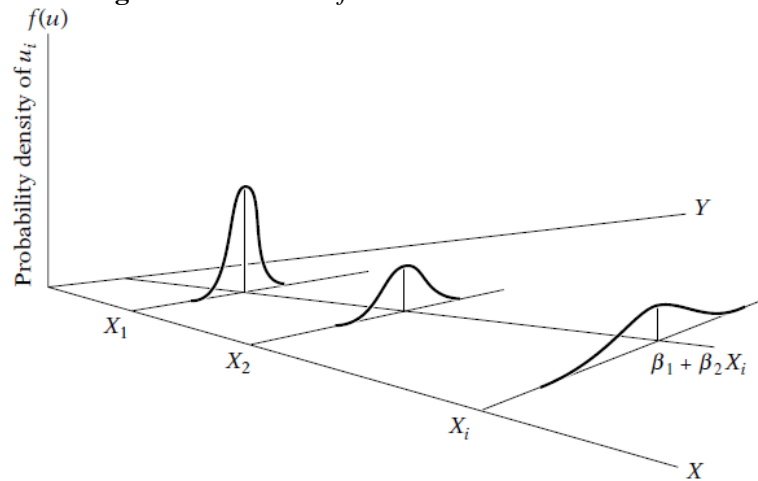
It is also  $\text{Var}(u_i) = \text{Var}Y_i = \sigma^2$ . The meaning of this assumption is as follows: For each value of  $X_i$ , the conditional variance of the error term  $u_i$  is a certain constant and is equal to  $\sigma^2$ . On the other hand  $\text{Var}(Y_i|X_i) = \sigma^2$ . Homoscedasticity is shown in Figure 1 below. In this way, it is seen that the conditional variance of  $Y$  is constant for the simple linear regression model with two variables.

**Figure 1.** The Case of Homoscedastic Error Term



Source: Gujarati, 1999:68

Despite the afore mentioned facts, in Figure 2 the values of  $X$  increase from left to right ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) and it is observed that mass variance of  $Y$  increase and curves are gradually spread and disperse in a wider area. This situation is called heteroscedasticity.

**Figure 2.** *The Case of Heteroscedastic Error Term*

Source: Gujarati, 1999:69

The difference in the variance of the error term indicates the undesired situation in regression analysis. In this case, the variance of the errors of the regression model is not constant, but may change by showing an increasing, decreasing or both increasing and decreasing distribution:

$$\text{Var}(u_i|X_i) = \text{Var}(u_i) = E(u_i^2) = \sigma_i^2 \cdot f(X_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

The heteroscedasticity problem can be represented by matrix as follows:

$$E(uu') = \delta^2 \Omega \quad \text{ve } \Omega \neq 1 \quad (22)$$

$\Omega$  is the matrix, the non-diagonal elements are zero, but the variances on the diagonal are different.

### The Results of Heteroscedasticity

In cases where there is heteroscedasticity, the estimation results obtained by the OLS method preserve their non-deviating, consistent and linear properties, but they lose the feature of being efficient and the best estimator, that is, being the least variance to the class of estimators without linear deviation. In case of heteroscedasticity, parameter estimates are no longer the best and their variances are not minimal. In this case, standard errors calculated for model parameters do not give correct results. Therefore, test's results and confidence intervals are misleading. If the variance of the error terms is gradually increasing, the estimates found by the OLS method may cause a lower variance and standard error than necessary. Therefore, t statistics will be higher than they should be, and confidence intervals will be narrower. As a result, it will be seen that there is more reliance on the forecast results than it should be. Conversely, if the variance of the error terms is gradually decreasing, the parameter estimates obtained by the OLS method may cause a larger variance and standard error than necessary.

Inaccurate estimation of the variances of the parameter estimators leads to inaccurate range estimates, t and F tests. After all, the statistics obtained will be less reliable than necessary.

### How to Detect Heteroscedasticity?

Since heteroscedasticity can be a serious problem, the researcher has to know whether it exists or not. How we can answer the questions about whether there is heteroscedasticity in a particular situation or whether it exists is explained below.

As with multicollinearity, there are no precise rules for understanding the existence of heteroscedasticity, there are some finger calculation rules. Nevertheless, this situation is unavoidable, because  $\sigma_i^2$  can only be known if we know the entire  $Y$  population corresponding to the selected  $X$ 's. But in most economic studies, such data are the exception rather than the rule. In economics research, there is often a single sample value  $Y$  for a given value of  $X$ . It is impossible to know  $\sigma_i^2$  from a single  $Y$  observation.

With the above warning in mind, a few formal and non-formal methods used in detecting heteroscedasticity are mentioned below. Most of these methods are based on examining the error terms of the model.

### Tests for Determining ARCH and GARCH Effects

Tests to determine the effects of ARCH and GARCH are based on the assumption that the residuals' own past values lead to heteroscedasticity. This means the sequential dependence (autocorrelation) in the variance of the error term. Autocorrelation is a problem mostly encountered in time series and heteroscedasticity is

mostly encountered in cross-section data. However, forecasting errors in financial time series such as stock prices, exchange rates, inflation rates can be small in some periods and large in some periods, which shows that the variance of the error term is not constant but varies from period to period.

Before applying the ARCH method, it is necessary to test whether the ARCH effect is present or not for the series related to a variable. When the ARCH effect is ignored in time series, the effectiveness of estimates decreases (Engle, 1995: 201).

The error terms are not correlated in the series in which the ARCH structure is observed. However, the variance depends on past values. Therefore, meaningful DW statistics resulting from the ARCH effect are obtained. Durbin-h test is used in a first order autoregressive structure. It is appropriate to use the Lagrange Multiplier (LM) test, which is a more general test in higher order autoregressive structures (Maddala, 1992: 152).

The two most important tests suggested in the literature to test the presence of ARCH effect are Engle's (1982) ARCH LM test (Engle, 1982: 987-1006) and McLeod and Li's (1983) Q test (McLeod, Li, 1983: 269-273). The ARCH LM test is the most preferred test in detecting the ARCH effect because it is easy to derive and gives good results. The purpose of ARCH LM testing on residuals is to test the presence of heteroscedastic errors in the model. Standard errors will be downwardly deviated along with the parameters in the model (Cromwell, Labys, Terraza, 1994: 73).

#### **The Comparison of Heteroscedasticity Tests Based On Real Data**

In this section of the study, numerous international A typed numerical data were used in the period before 30.12.2010 taking into consideration the increase in the net assets. While analyzing these funds, special attention was given to developing countries from America, Europe, Asia and other continents and among them, 11 A type stock funds were given attention in the study. Selected international funds are listed in Table 1.

Selected 11 funds consist of five different categories. Three of them are Diversified Emerging Markets whereas five are from Latin America. One of these 11 funds is from Pacific-Asia countries outside Japan. The next two are from Turkey market and Europe.

**Table 1: International A typed Mutual Funds**

	<b>FUND CODE</b>	<b>FUND NAME</b>	<b>FUND CATEGORIES</b>
1	DPC AX	Dreyfus Greater China A	Pacific-Asia countries outside Japan
2	FAF	Finansbank A.Ş. A	Turkey
3	FLA TX	Fidelity Latin America	Latin America
4	FLT AX	Fidelity Advisor Latin America A	Latin America
5	GTD DX	Invesco Developing Markets A	Diversified Emerging Markets
6	LET RX	ING Russia A	Europe
7	MDL TX	BlackRock Latin America A	Latin America
8	PRL AX	T.Rowe Price Latin America	Latin America
9	PTE MX	Forward Emerging Markets Instl	Diversified Emerging Markets
10	QFF OX	Quant Emerging Markets Ord	Diversified Emerging Markets
11	SLA FX	DWS Latin Amerika Equity S	Latin America

#### **Descriptive Statistics and Stability Tests of Mutual Funds**

For the international funds that have been mentioned in the study, 1510 observations covering the period between 01.01.2004 – 01.01.2010 were used. 1510 observation values are the price funds announce daily. The International funds' series are shown in Figure 3.

With the purpose of getting the chance for the return series, first degree logarithmic differences of the prices of the funds announced daily between 01.01.2004-01.01.2010 were taken<sup>1</sup>. Descriptive statistics of 11 international A typed stock funds and the results of normality tests are shown in Table 2.

**Figure 3. Series for International Funds. (2004-2009)**



**Table 2: Descriptive Statistics and Stability Test Results of Mutual Funds**

Fund Code	Ave.	Med.	Max	Min	S.D.	Skewness	Kurtosis	Asymptotic Test	N
<b>RDPCAX</b>	0,0006	0,001	0,09	-0,136	0,018	-0,662	10,12	3279,48	705
<b>RFLATX</b>	0,0009	0,002	0,208	-0,176	0,023	-0,249	13,63	7084,90	548
<b>RFLTAX</b>	0,0009	0,002	0,206	-0,176	0,023	-0,260	13,67	7127,82	547
<b>RGTDDX</b>	0,0006	0,001	0,096	-0,095	0,014	-0,581	9,28	2552,63	60
<b>RLETRX</b>	0,0004	0,002	<b>0,188</b>	<b>-0,319</b>	<b>0,027</b>	<b>-1,671</b>	<b>24,89</b>	30627,8	1668
<b>RMDLTX</b>	0,001	0,002	<b>0,225</b>	<b>-0,189</b>	0,024	-0,376	15,46	9740,39	821
<b>RPRLAX</b>	0,0008	0,002	0,220	-0,163	0,023	-0,249	14,32	8019,08	788
<b>RPTEMX</b>	0,0003	0,002	0,132	-0,127	0,018	0, -0,666	13,36	682	557
<b>RQFFOX</b>	0,0005	0,002	0,114	-0,106	0,016	0, -0,538	2,01	1,60	514
<b>RSLAFX</b>	0,0006	0,0023	0,213	-0,184	0,024	0, -0,550	14,21	7931,59	096,4
<b>RFAF</b>	0,001	0,0008	0,095	-0,098	0,015	-0,132	4,80	1459	574,3

The critical value with 2 degree of freedom of  $\chi^2$  table on the 5% confidence plane is 5.99

Summaries about the descriptive statistics on the base of Table 2 are as following;

1) LETRX fund has high volatility level among the international funds. (S.D.=0,027).

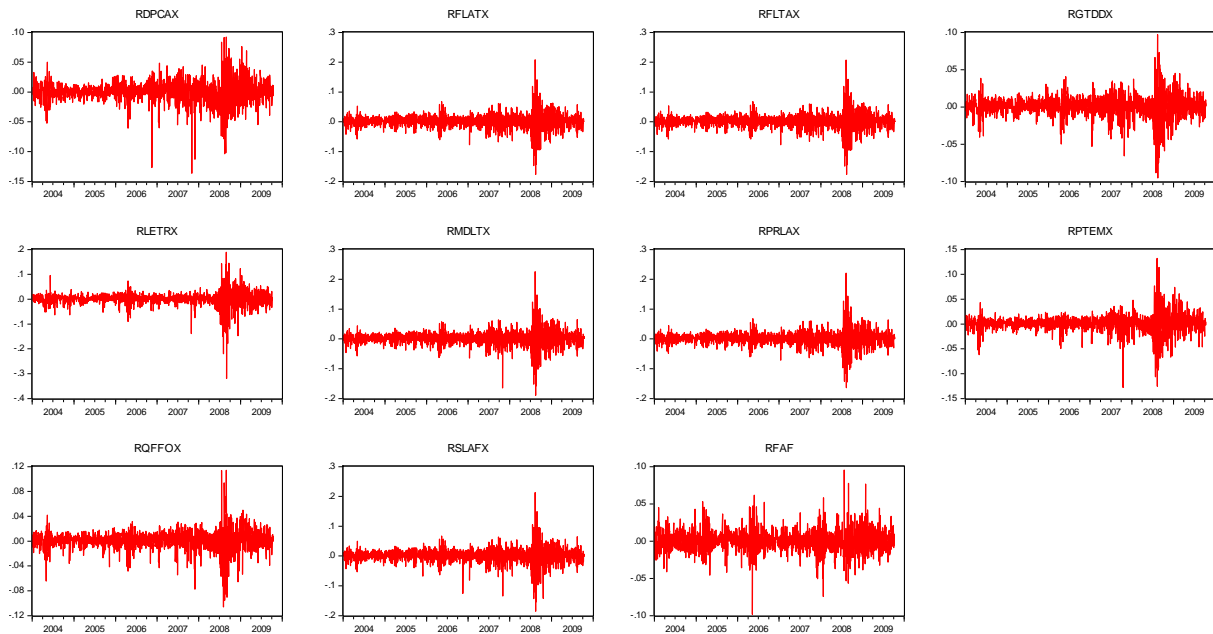
$$^1 \left( r_t = \ln \left( \frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \right)$$

2) On the basis of the differences between the Maximum and Minimum values, LETRX and MDLTX funds are the funds with the highest volatility.

3) In terms of the Skewness, all international funds have negative values. This values indicate that fund return series are skewed to the left. LETRX fund has the highest asymmetric structure.

4) When Kurtosis values are investigated it is observed that all international funds return series have fat tail structure. LETRX has the highest kurtosis value. When asymptotic test results are compared with value with 2 degree of freedom of  $\chi^2$  table on the 5% confidence (5.99) it became clear that as all international funds have the value higher than 5.99, they are not normally distributed. This asymmetric structure of the international funds is revealed with clustering of volatility and extreme fluctuations in several periods. Return series for international funds are shown in Figure 4.

**Figure 4. International Funds Return Series (2004-2010)**



As it is clear from Figure 4, in all international funds there was increase in volatility in the 2008s. The increases were for short term in 2006 but in 2008 they were for a long period. Especially in 2004-2010 period, the wild fluctuation was observed in FAF fund being different from other funds.

#### **The Application of Heteroscedasticity Tests on Real Data**

The results of stationary test show that return series of international funds are not stationary and they comprise asymmetric effects. As the financial asset return series lose normal distribution feature with the impact of shocks, the models should consider the volatility.

In the application section, normality test with the purpose of determining the conditional heteroscedasticity was made and return series' was determined. Then working on each return series correlograms were examined and the information about autoregressive structure (AR) was obtained.

Several AR structures were tested for the return series and it was decided to choose models that suggest the lowest AIC and Schwarz criterion values. Then, errors given by the main models were studied, and Park, Glejser, BG LM, White and ARCH LM tests were applied and test statistics were obtained (see Table 3).

The comparison of Park, Glejser, BG LM, White and ARCH LM heteroscedasticity tests that were applied on the international funds were made in terms of p value. Here, the lowest probability value is given and  $H_0$  hypothesis for each observed test statistics is accepted and because of comparison of this probability value with  $\alpha$  significance level it is decided whether to accept or reject  $H_0$  hypothesis.

Generally:

- When P value is below 1%, there is a very strong evidence that in this situation, alternative hypothesis is right;
- When P value is between %1 and %5 there is a strong evidence that in this situation, alternative hypothesis is right;

- When P value is between %5 and %10 there is a weak evidence that in this situation, alternative hypothesis is right;

As  $p < 0,01$  is found for the Park and Glejser tests that are applied for the international return fund series,  $H_0$  hypothesis ( $H_0$ : absence of heteroscedasticity) is strongly rejected; very strong decision can be made about the correctness of alternative hypothesis ( $H_a$ : presence of heteroscedasticity). As the BG LM test statistic is  $p < 0,05$  for 8 series (besides MDLTX, PRLAX, SLAFT),  $H_0$  hypothesis is strongly rejected and it became clear that series have heteroscedasticity.

**Table 3: Heteroscedasticity Tests Results for International Funds**

FUND CODE	Park			Glejser			BG LM			White			ARCH LM		
	t <sub>ist</sub>	N*R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>	t <sub>ist</sub>	N*R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>	t <sub>ist</sub>	N*R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>	t <sub>ist</sub>	N*R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>	t <sub>ist</sub>	N*R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>
<b>LETRX</b>	2,98	8,88	0,0029	3,08	9,47	0,0021	3,09	11,82	0,0027	4,02	16,03	0,000	5,48	29,43	0,000
<b>MDLTX</b>	2,22	4,92	0,0264	2,42	5,87	0,0154	1,75	3,15	<b>0,206</b>	3,27	10,68	0,001	5,17	26,34	0,000
<b>PRLAX</b>	2,79	7,75	0,0054	3,21	10,26	0,014	2,37	7,69	<b>0,213</b>	3,52	12,35	0,000	5,34	28,02	0,000
<b>PTEMX</b>	2,68	7,14	0,0075	3,35	11,16	0,0008	2,37	6,46	0,0396	5,8	36,81	0,000	4,93	23,95	0,000
<b>SLAFT</b>	2,38	5,66	0,0174	2,52	6,36	0,0116	1,88	4,94	<b>0,1756</b>	2,83	8,01	0,004	5,04	24,99	0,000
<b>FLTAX</b>	2,68	7,19	0,0073	3,16	9,93	0,0016	2,55	6,52	0,0107	3,81	14,42	0,000	5,59	30,67	0,000
<b>QFFOX</b>	3,27	10,63	0,0011	3,31	10,92	0,011	2,03	4,11	0,0425	4,88	26,52	0,000	7,6	55,78	0,000
<b>FLATX</b>	2,85	8,1	0,0043	3,26	10,54	0,0012	2,08	7,99	0,0462	3,78	14,24	0,000	5,63	31,14	0,000
<b>DPCAX</b>	2,42	5,85	0,0156	3,36	11,26	0,0008	3,51	12,79	0,0051	4,59	30,81	0,000	3,96	15,54	0,000
<b>GTDDX</b>	2,42	5,85	0,0156	2,86	8,14	0,0043	3,49	13,03	0,0046	3,57	12,64	0,00037	6,07	35,97	0,000
<b>FAF</b>	3,02	9,099	0,0026	3,1	9,572	0,002	2,13	4,558	0,0328	4,45	22,632	0,000	6,08	36,17	0,000

When the probability of  $p$  rejecting values for White and ARCH LM test statistics are examined, for 11 international investment fund series  $p < 0,01$  was found. As it was in the results of Park and Glejser tests,  $H_0$  hypothesis is strongly rejected because of application of White and ARCH LM tests. In this case, decisions can be made about the correctness of alternative hypothesis. However, when compared with Park and Glejser tests heteroscedasticity tests,  $p$  values of White and ARCH LM test statistics equal to lower values. For this reason, White and ARCH LM tests seem more advantageous than the others do.

## Conclusion

White and ARCH LM heteroscedasticity tests were the strongest tests because of study; they had the lowest  $p$  value in the application section.

Taking into consideration the problems being encountered during the study and the results, I am of the opinion that if the following subjects are examined carefully, they will be very useful for the future investigator in this topic.

1) The same methodology can be used for the other nonlinear models except the comparison of variable variances that have been investigated in this study.

2) With the purpose of obtaining of nonlinear time series, full stationary nonlinear time series ARCH(1) and full stationary nonlinear time series ARCH(2) process' were taken into consideration. This study can also be repeated for high-level nonlinear models.

3) The same methodology can be used for other heteroscedasticity tests.

## References

- Bates, D., Watts, D. (1988). *Nonlinear Regression Analysis and It's Applications*. USA: John Wiley& Sons.
- Bollerslev, T., Engle, R. and Nelson, D. (1994). *ARCH Models*. Handbook of Econometrics.
- Box, G., Jenkins, G., and Reinsel, G. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3rd edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Breusch, T., and Pagan A. (1978). A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*, 46:1287-1294.
- Brooks, C. (2002). *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge: Cambridge University.
- Campbell, J., Andrew W. and MacKinlay A. (1997). *The Econometrics of Financial Markets*. Princeteon: Princeton University.
- Chatfield, C. (1989). *The Analysis of Time Series an Introduction*, New York: Chapman and Hall.
- Engle, R. (1995). *ARCH Selected Readings*. New York: Oxford University Pres.
- Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4):987-1006.
- Gallant, A. (1987). *Nonlinear Statistical Models*, USA: John Wiley & Sons.
- Glejser, H. (1969). A New Test for Heteroscedasticity. *Journal of American Statistical Association*, 64:316-325.
- Godfrey, L. (1978). Testing Against General Autoregressive and Moving Average Error Models When the Regressors Include Lagged Dependent Variables. *Econometrica*, 46:1293–1301.
- Gourieroux, C. (1997). *ARCH Models and Financial Applications*, New York: Springer-Verlag New York.
- Granger, C. and Terasvirta, T. (1993). *Modelling nonlinear economic relationships*. New York: Oxford University Press.
- Gujarati, D. (1995). *Basic Econometrics* (Third Edition). New Jersey: McGraw-Hill.



- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. New Jersey: Princeton University Press.
- Murphy, K. and Myers B. (1998). *Statistical Power Analysis. A Simple and General Model for Traditional and Modern Hypothesis Tests*. London, UK: Lawrence Erlbaum Assoc.
- Park, H. (2008). *Hypothesis Testing and Statistical Power of a Test*. Working Paper. Indiana University: The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing. <http://www.indiana.edu/~statmath/stat/all/power/index.html>
- Park, R. (1964). Estimation with Heteroscedastic Error Terms. *Econometrica*, 34(4):888.
- Pindyck, R. and Rubinfeld, D. (1991). *Econometric Model and Econometric Forecast*, 3rd Ed. Irwin: McGraw-Hill.
- Priestley, M. (1988). *Non-linear and Non-Stationary Time Series Analysis*. New York: Academic Press.
- Resnick, S. and van Den Berg, E. (2001). A test for non-linearity of time series with infinite variance. *Extremes*, 3, 145–172.
- Stock, H. and Watson, W. (2020). *Introduction to Econometrics*, Global Edition, 4<sup>th</sup> Edition. Person
- Stuart, A. and Ord, J. (1994). *Kendall's Advanced Theory of Statistics*. Volume 1: Distribution Theory. 6th edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Terasvirta, T. (2009). *An Introduction to Univariate GARCH Models*. Handbook of Financial Time Series. New York: Springer.
- Terasvirta, T., Tjøstheim, D. and Granger, C. (1994). *Aspects of Modelling Nonlinear Time Series*. Handbook of Econometrics, Oxford: Elsevier.
- Tsay, R. (2002). *Analysis of Financial Time Series*. New York: John Wiley & Sons.
- Wooldridge, J.M. (2020). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 7<sup>th</sup> Edition. Cengage Learning.

# 81 İldeki 2010-2013 Yıllarına Ait Trafik Cezalarının Karşılaştırılması

**Ebru Arıkan Öztürk**

*Gazi Üniversitesi Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD*

[eozturk@gazi.edu.tr](mailto:eozturk@gazi.edu.tr)

## Özet

Günümüzde kentlerin en önemli sorunlarından biri de trafik güvenliğidir. Trafik denetimleri, trafik güvenliğinin artırılması için uygulanacak pek çok stratejiyle birlikte, temel bir strateji olarak karşımıza çıkar. Türkiye’de trafik denetleme görevi Trafik Polisi, Jandarma Trafik Birimleri ve Fahri Trafik Müfettişleri tarafından (FTM) gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın amacı trafik cezalarının trafik güvenliğine etkisini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda öncelikle Türkiye’deki 81 ilin ölümlü kaza verileri ortaya konulmuş, daha sonra 2010-2013 yıllarını kapsayan 4 yıllık süreçte Polis ve FTM tarafından sürücülere yazılan ceza miktarları il düzeyinde karşılaştırmalı olarak incelenmiş, yazılan cezalar ile trafik kazalarındaki ölüm miktarı değişimleri bir arada değerlendirilerek trafik cezaları-trafik güvenliği ilişkisi ortaya konulmuştur. Polis ve FTM’nin sürücülere yönelik denetleme faaliyetlerinin trafik güvenliğine olumlu katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Fahri Trafik Müfettişi, Trafik güvenliği, Denetleme.

## Abstract

Traffic safety is one of the most important problems of cities today. Traffic enforcement constitutes a main strategy in addition to several other strategies to be implemented for increasing traffic safety. In Turkey, traffic inspections are carried out by Traffic Police, Gendarmery Traffic Units and Voluntary Traffic Inspectors (VTI). The purpose of this study was to reveal the effects of traffic fines on traffic safety. For this purpose, the fatal accident data of the 81 provinces in Turkey were presented first, and the amounts of fines that were issued in the 4-year period of 2010-2013 by the Police and VTI on the provincial level were comparatively analyzed. The relationship between traffic fines and traffic safety were presented by assessing the fines that were issued and the changes in the fatality rates together. It was concluded that the inspection activities towards drivers by the Police and VTI provided positive contributions on traffic safety.

*Keywords:* Voluntary Traffic Inspector, Traffic safety, Enforcement

## 1. Giriş

Trafik kazalarında meydana gelen ölüm, yaralanma ve maddi kayıplar tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük önem taşıyan bir halk sağlığı sorunudur. Dünya Sağlık Örgütü’ne göre her yıl 1,35 milyon kişi trafik kazası nedeniyle hayatını kaybetmekte, onlarca milyondan fazla kişi de yaralanmakta ya da sakat kalmaktadır (DSÖ, 2018). Dünyadaki ilk on ölüm nedeni sıralamasında yol trafik kazaları 8. sıradadır ve gerekli önlemler alınmazsa 2030 yılına kadar 5. sıraya yükseleceği öngörülmektedir. (DSÖ, 2013). Ayrıca trafik kazaları ile miktarı ciddi boyutlara ulaşan toplumsal ve ekonomik kayıplar oluşmaktadır.

2017 yılında Türkiye’de meydana gelen trafik kazalarında 3534’ü kaza yerinde 3893’ü kaza sonrası olmak üzere toplam 7,427 kişi hayatını kaybetmiş, 300,383 kişi de yaralanmıştır. Ölü sayıları 2015 yılına kadar sadece kaza yerinde tespit edilen ölümleri kapsarken, 2015 yılından itibaren trafik kazasında yaralanıp sağlık kuruluşuna sevk edilenlerden kaza nedeniyle 30 gün içinde ölenleri de kapsamaktadır (EGM, 2017). 2017 yılı trafik kaza istatistikleri incelendiğinde meydana gelen kazaların; %90,3’ünün sürücü, %8,3’ünün yaya ve %0,4’ünün de yolcu kusurları olmak üzere toplam %99 oranla yol kullanıcı kusurlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır (KGM, 2017). Bu yüksek oran, trafik kazası tespit tutanağında yol ve araçla ilgili kusurların net olarak belirlenememesi nedeniyle istatistiklere böyle yansımış olsa da, meydana gelen ölümlü kazalarda sürücü hata ve ihlalleri önemli pay sahibidir.

Trafik ortamında denetim, güvenli olmayan yol kullanıcı davranışlarının bastırılması ya da caydırılması olarak tanımlanabilir. Bu tip davranışlarda yasal yaptırımlara maruz kalma ya da maruz kalma tehdidinden oluşan cezalar pekiştirici olarak işlev görmektedir (Köksal, 2011). Caydırıcılık teorisine göre cezaların caydırıcı olabilmesi için açık ve kesin olması, cezaların bireyi suçtan uzak tutacak kadar şiddetli olması ve suçtan hemen sonra uygulanıyor olması gereklidir (Paternoster ve Bachman, 2001). Caydırıcılık Teorisinin işleyebilmesi için suç işleyen yakalanma algısının yüksek olması gerekir. Bu algı da denetimler ve denetimler sayesinde yapılan yakalamalarla sağlanabilir (Delice, 2012). Trafik denetimleri, özünde yol kullanıcılarını kural ihlali eğiliminden caydırmak amacıyla psikolojinin öğrenme kuramı ilkelerine uygun olarak kurallara uyumu artırmayı ve trafik güvenliği normunu oluşturmayı amaçlamaktadır (Porter, 2011). Yapılan denetimlerle, başta sürücüler olmak üzere yol kullanıcıların “algılanan yakalanma riskleri” artırılarak, trafik güvenliği açısından tehlike oluşturan davranışlar üzerinde caydırıcı etki yaratılması amaçlanır (Çınarbaş ve ark., 2003). Tüm yol kullanıcıların trafik kurallarına uymaları durumunda trafik güvenliğinin maksimum düzeyde olması beklendiğinden, yaygın trafik denetimleri yoluyla trafik ihlallerini azaltmak trafik güvenliğinin artmasında temel ilke olarak kabul edilir (Bertelli ve Richardsan, 2008). Denetimin trafik güvenliğini artırdığını ortaya koyan çalışmalar, denetimin başarılı olması için sürekli ve tutarlı olması gerektiğini de vurgulamaktadır Türkiye gibi trafik ihlallerinin yüksek olduğu ülkelerde trafik güvenliğini sağlamanın en etkili aracı denetimlerdir (Sümer ve Kaygısız, 2014).

Literatürde farklı denetim türlerinin kazalara etkisini ölçen çalışmalar bulunmaktadır. Novoa vd., (2010) İspanya’da 2006 yılında trafik ihlallerine karşı getirilen ceza puanı uygulamasının etkilerini ölçmüş ve bu uygulama ile beraber alkolü araç kullanma, hız sınırını aşma ve cep telefonu ile araç kullanma ihlallerinin azaldığını ve dolayısıyla da trafik kazalarının ve bunları bağlı ölüm ve yaralamaların azaldığını tespit etmiştir. Akhtar ve Ziyab (2012) Kuveyt’te 2006 yılından itibaren uygulanan ceza puanı sisteminin trafik kazaları üzerindeki etkisini ölçmüş ve sistemin yol trafik kazalarında önemli düşüş sağladığını bulgulamıştır. Sümer ve Kaygısız (2014) çalışmalarında trafik cezalarının trafik denetimlerinden daha etkili olduğunu, toplam 41 denetim veya ceza türü göstergesinin çeşitli kaza göstergelerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığını, bunların %22’sinin denetim %78’inin ise ceza sayısına ilişkin göstergeler olduğunu bulgulamıştır. Sümer ve Kaygısız (2015) çalışmalarında ise yine trafik cezalarının trafik denetimlerinden daha etkili olduğunu, trafik güvenliğini arttırmak için riskin yüksek olduğu bölgelerde uygun denetlemeyi ve dolayısıyla cezalandırmayı arttırmamanın, denetim sayısını arttırmaktan daha önemli olduğunu ayrıca alkol denetiminin en etkili denetim faaliyeti olduğunu bulgulamıştır. Literatürdeki çalışmalar, genel olarak denetimin tüm kazaları %5-25, yaralanmalı kazaları %16 ve ölümleri %35 oranlarında azalttığını göstermektedir (ESCAPE 2003).

Türkiye’de mevcut mevzuata göre trafik denetimleri, İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğüne bağlı Trafik Denetleme Birimleri ile Jandarma Komutanlığına bağlı Jandarma Trafik Denetleme Birimlerinde görevli Trafik Zabitasınca yapılmaktadır. Ayrıca, sürücülerin denetlenmesi faaliyetlerine yardımcı olmak üzere 1997 yılında hayata geçirilen ve gönüllülük esasına dayanan Fahri Trafik Müfettişliği sistemi mevcuttur. Türkiye’de trafik denetimlerinin ve cezaların ölüm, yaralanma ve kaza riskini azaltmadaki etkisini inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, 2010-2013 yıllarını kapsayan 4 yıllık süreçte Polis ve FTM’ler tarafından sürücülere yazılan cezalar il düzeyinde karşılaştırmalı olarak incelenmiş, yazılan cezalar ile trafik kazalarındaki ölüm miktarı değişimleri bir arada değerlendirilerek trafik cezaları- trafik güvenliği ilişkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. Yöntem

Çalışmada veriler 4 aşamada analiz edilmiştir. İlk aşamada, 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarında 81 ilde meydana gelen kazalardaki ölü sayıları “Türkiye İstatistik Kurumu, İstatistik Yıllıkları”ndan, yine aynı yıllara ait, polis sorumluluk bölgesinde sürücülere yazılan cezalar ile FTM’ler tarafından sürücülere yazılan cezalar da “Emniyet Genel Müdürlüğü, Denetim Faaliyetleri Yıllıkları”ndan temin edilmiştir. İkinci aşamada temin edilen veriler Microsoft Excel programına aktarılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada verilerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için 100.000 nüfus başına ölü  $[(\text{ölü sayısı}/\text{nüfus}) \times 100.000]$ , 100.000 sürücü başına ölü  $[(\text{ölü sayısı}/\text{sürücü sayısı}) \times 100.000]$ , 1000 sürücü başına ceza  $[(\text{ceza sayısı}/\text{sürücü sayısı}) \times 1000]$  değerleri dikkate alınarak değişkenler oluşturulmuştur. Son aşamada 100.000 sürücü başına ölü ve 1000 sürücü başına Polis ve FTM tarafından yazılan cezaların 2012-2013 yılları arasındaki değişimi hesaplanarak, 81 il için cezalar ve ölüm oranındaki artış ve azalış eğilimlerinin bir arada görülebileceği bir tablo hazırlanmıştır. Çalışmanın odağında Polis ve FTM’ler tarafından sürücülere yazılan trafik cezaları

bulunmaktadır. Dolayısıyla cezalar ve ölüm oranları arasındaki ilişki incelenirken değişkenleri ortak paydada buluşturan 100.000 sürücü başına ölüm oranı ve 1000 sürücü başına yazılan ceza değişkenleri kullanılmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Kaza verileri

Tablo 1’de 2010-2013 yıllarına ait 81 ilde polis sorumluluk bölgesinde meydana gelen trafik kazalarındaki ölü sayıları, ölü sayısı % değişim oranları ve 100.000 nüfus başına düşen ölü sayılarının incelenen 4 yıla ait ortalama değerleri görülmektedir. (Değerler hesaplanırken ilgili yılın nüfus verileri kullanılmıştır) Tablo 1’e göre, incelenen 4 yılda en fazla ölü sayısına sahip iller sırasıyla İstanbul, Ankara, Konya, Antalya ve İzmir’dir. Ölü sayılarındaki % değişimlere bakıldığında, en fazla artışın sırasıyla; Batman, Iğdır, Hatay-Ağrı, Kırıkkale-Siirt illerinde olduğu görülmektedir. Trafik kazalarında 100.000 nüfus başına en fazla ortalama ölüm oranına sahip olan 5 il ise sırasıyla; Çankırı, Bolu, Amasya, Erzincan ve Gümüşhane’dir. Sıralamadaki bu farklılıklar nüfus bazlı değerlendirmeden kaynaklanmaktadır. Örneğin 4 yıllık süreçte, trafik kazalarında en fazla ölü sayısına sahip olan il İstanbul’dur. 2010-2013 yılları arasındaki ölü sayılarında ise bir değişim gerçekleşmemiştir. 100.000 nüfus başına yapılan değerlendirmede ise 81 il içerisinde İstanbul en düşük ortalama ölü sayısına sahip 4. il olmuştur. Siirt’te de farklı bir durum söz konusudur. 2010-2013 yılları arasında ölü sayılarındaki % değişimlere bakıldığında Siirt en fazla artışın olduğu 5 il arasındayken, 100.000 nüfus başına ortalama ölü sayısında Siirt en düşük değere sahip 5 il arasındadır. İncelenen 4 yılda en az ölü sayısına sahip 5 il sırasıyla Ardahan, Bayburt, Bartın, Kilis, Batman-Tunceli’dir. 2010-2013 yılları arasında ölü sayısında en fazla % azalma olan iller ise sırasıyla Bitlis, Artvin, Karabük, Kırklareli-Yalova ve Zonguldak’tır. 100.000 nüfus başına ölü sayısı ortalamasındaki sıralamaya bakıldığında ise en düşük ölü sayısına sahip 5 il; Batman, Ardahan, Siirt, İstanbul ve Muş olmuştur. Her iki değerlendirmede de Ardahan ve Batman en az ölü sayısına sahip iller arasında yer almıştır.

#### 3.2. Ceza verileri

##### 3.2.1. Polis tarafından yazılan cezalar

Şekil 1’de, polis sorumluluk bölgesinde 1.000 sürücü başına yazılan 4 yıla (2010-2013) ait ortalama ceza değerleri ve sıralaması görülmektedir. (Değerler hesaplanırken ilgili yılın sürücü sayısı verileri kullanılmıştır.) Şekil 1’ye göre, 1.000 sürücü başına en fazla ceza yazılan il Yalova’dır. Onu sırasıyla Ardahan, Antalya, Muğla ve Mersin izlemektedir. 1.000 sürücü başına en az ceza yazılan iller ise sırasıyla Hakkari, Bingöl, Kars, Ağrı ve Muş olmuştur.

Burada dikkat çekici bir diğer il ise Ardahan’dır. Ardahan’da 2010-2013 yılları arasında, polis sorumluluk bölgesinde, trafik kazalarında sadece 5 kişi hayatını kaybetmiştir. 100.000 nüfus başına ölü sayısı ortalamasında ise Ardahan 81 il içerisinde en düşük değere sahip 2. ildir. 2010-2013 yılları arasında sürücülere yazılan ortalama ceza değerlerine göre ise polis sorumluluk bölgesinde en fazla ceza yazılan 2. il olarak bulgulanmıştır. Tüm bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, Ardahan’da polis sorumluluk bölgesindeki denetleme faaliyetlerinin ilin trafik güvenliğini artırdığını söylemek mümkündür.

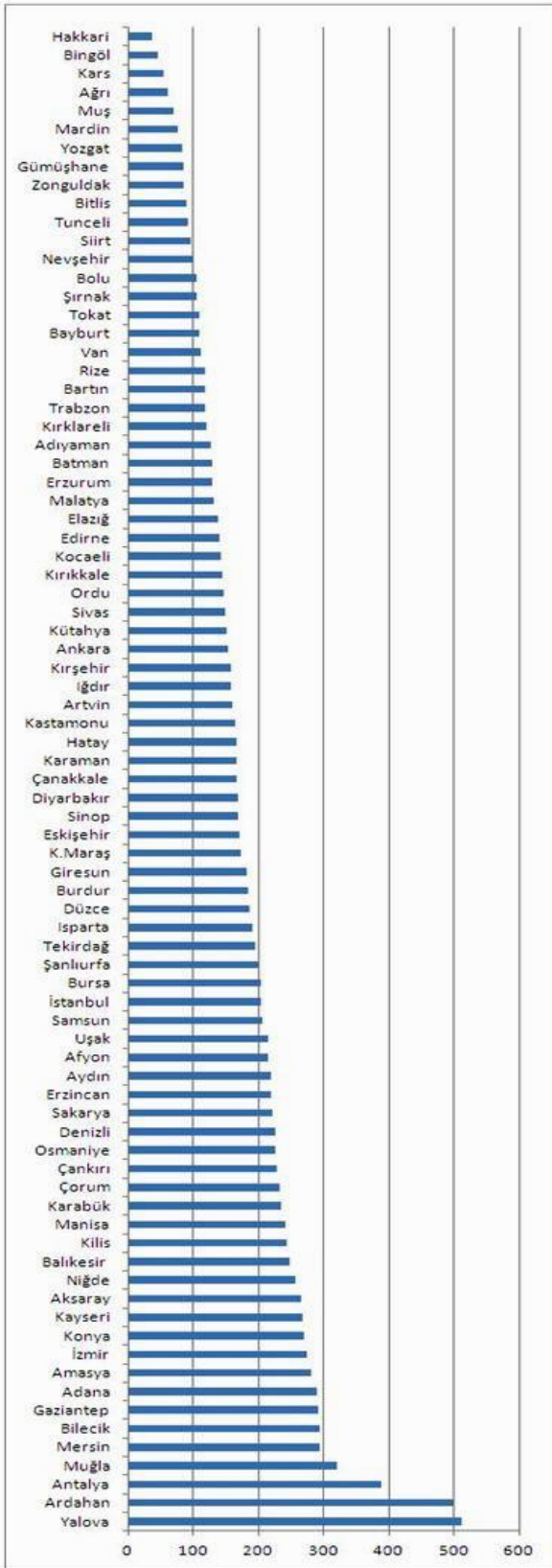
##### 3.2.2. FTM tarafından yazılan cezalar

2018 yılı itibarı ile Türkiye’de 20.579 FTM görev yapmaktadır. Uygulamanın başladığı 1997 yılından 2018 yılına kadar toplam 3.831.313 adet ceza FTM’ler tarafından sürücülere yazılmıştır.

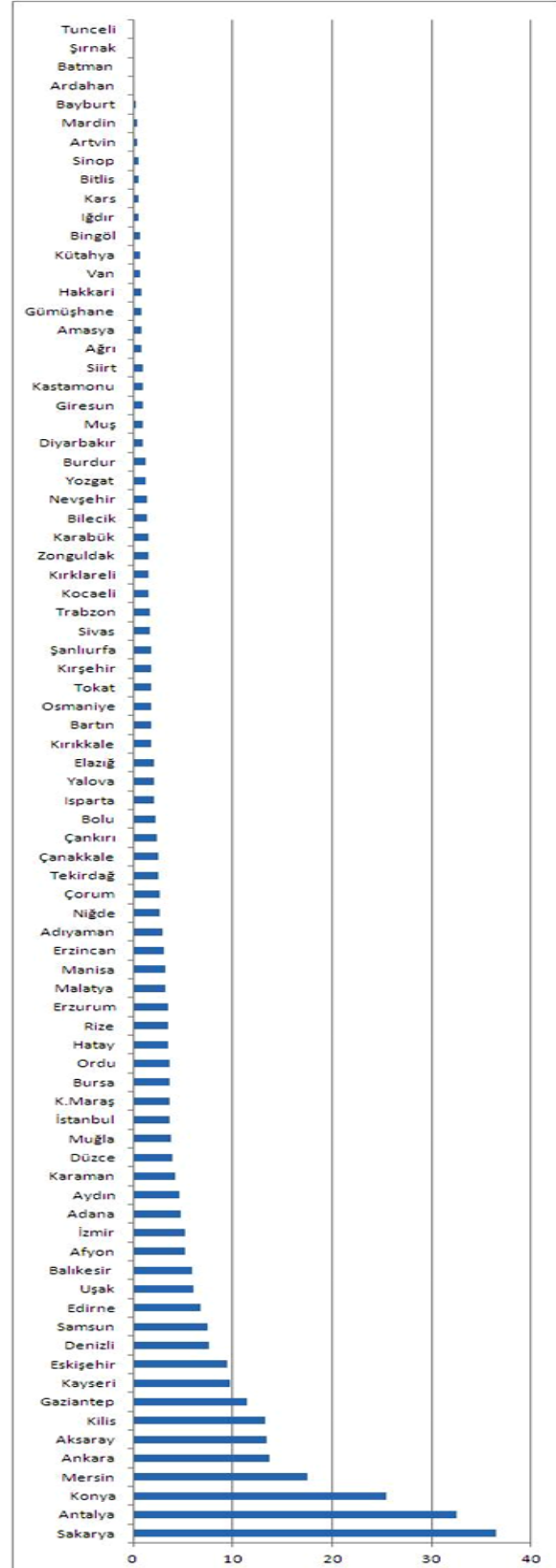
**Tablo 1.** 81 ilde meydana gelen trafik kazalarındaki ölü sayıları ve %değişim (TÜİK 2016)

	Ölü Sayısı				2010-2013 ölü sayısı % değişim	100.000 nüfus başına ortalama ölü sayısı
	2010	2011	2012	2013		
Adana	38	55	50	47	24	2,24
Adıyaman	14	10	10	21	50	2,31
Afyon	55	53	44	48	-13	7,13
Ağrı	10	20	34	26	160	4,08
Aksaray	22	15	14	20	-9	4,67
Amasya	31	31	38	16	-48	8,90
Ankara	169	135	169	120	-29	3,02
Antalya	136	107	117	84	-38	5,40
Ardahan	2	1	1	1	-50	1,18
Artvin	5	10	10	1	-80	3,91
Aydın	41	35	41	28	-32	3,62
Balıkesir	52	74	35	53	2	4,62
Bartın	3	2	3	5	67	1,73
Batman	1	2	4	8	700	0,70
Bayburt	2	4	3	1	-50	3,30
Bilecik	25	10	5	20	-20	7,01
Bingöl	5	3	7	7	40	2,10
Bitlis	43	20	27	7	-84	7,28
Bolu	45	19	32	25	-44	10,92
Burdur	25	11	18	11	-56	6,35
Bursa	75	64	60	68	-9	2,50
Çanakkale	31	20	16	12	-61	4,02
Çankırı	12	24	33	14	17	11,37
Çorum	24	32	30	24	0	5,16
Denizli	39	59	36	39	0	4,57
Diyarbakır	40	62	43	33	-18	2,83
Düzce	25	16	19	28	12	6,38
Edirne	10	13	17	20	100	3,77
Elazığ	26	24	35	19	-27	4,64
Erzincan	23	23	7	16	-30	7,85
Erzurum	35	28	36	18	-49	3,78
Eskişehir	44	38	41	34	-23	5,02
Gaziantep	53	43	50	56	6	2,85
Giresun	11	25	6	16	45	3,44
Gümüşhane	5	7	19	11	120	7,74
Hakkari	8	3	9	9	13	2,70
Hatay	20	28	30	52	160	2,18
Iğdır	1	12	5	4	300	2,91
Isparta	18	18	19	17	-6	4,26
İstanbul	233	201	226	232	0	1,63
İzmir	93	85	93	78	-16	2,19

	Ölü Sayısı				2010-2013 ölü sayısı % değişim	100.000 nüfus başına ortalama ölü sayısı
	2010	2011	2012	2013		
K.Maraş	29	31	20	39	34	2,81
Karabük	15	12	21	4	-73	5,78
Karaman	7	7	6	4	-43	2,56
Kars	6	8	9	6	0	2,39
Kastamonu	16	26	16	37	131	6,54
Kayseri	46	51	38	48	4	3,62
Kırıkkale	9	30	14	21	133	6,73
Kırklareli	28	18	23	8	-71	5,70
Kırşehir	10	7	16	11	10	4,96
Kilis	5	2	3	3	-40	2,60
Kocaeli	69	54	60	50	-28	3,61
Konya	115	112	131	101	-12	5,61
Kütahya	20	20	28	21	5	3,87
Malatya	36	24	29	36	0	4,14
Manisa	76	80	47	66	-13	4,96
Mardin	25	19	18	32	28	3,07
Mersin	63	78	61	63	0	3,95
Muğla	56	49	41	36	-36	5,42
Muş	10	8	4	5	-50	1,64
Neveşehir	24	15	10	24	0	6,43
Niğde	28	27	20	18	-36	6,85
Ordu	28	21	34	28	0	3,81
Osmaniye	29	13	17	14	-52	3,75
Rize	15	7	10	7	-53	3,02
Sakarya	45	46	22	34	-24	4,12
Samsun	53	56	63	54	2	4,50
Siirt	3	5	3	7	133	1,45
Sinop	5	12	13	9	80	4,81
Sivas	46	16	31	32	-30	4,95
Şanlıurfa	68	74	49	50	-26	3,49
Şırnak	9	4	17	10	11	2,18
Tekirdağ	38	55	39	41	8	5,16
Tokat	33	25	27	19	-42	4,26
Trabzon	21	20	23	12	-43	2,50
Tunceli	2	5	5	3	50	4,45
Uşak	26	20	24	21	-19	6,66
Van	24	37	30	36	50	3,04
Yalova	17	12	5	5	-71	4,70
Yozgat	14	21	25	22	57	4,48
Zonguldak	19	13	11	7	-63	2,04



Şekil 1. 1.000 sürücü başına polis sorumluluk bölgesinde yazılan incelenen yıllara ait ortalama ceza miktarı



Şekil 2. 1.000 sürücü başına FTM'ler tarafından yazılan incelenen yıllara ait ortalama ceza miktarı

Şekil 2'de 1000 sürücü başına FTM'ler tarafından yazılan 4 yıla (2010-2013) ait ceza ortalama değerleri ve sıralaması görülmektedir. (Değerler hesaplanırken ilgili yılın sürücü sayısı verileri kullanılmıştır.) Şekil 2'ye göre, en fazla ceza yazılan beş il sırasıyla Sakarya, Antalya, Konya, Mersin, Ankara olurken en az ceza

yazılan beş il ise sırasıyla Tunceli, Şırnak, Batman, Ardahan ve Bayburt olmuştur. 1.000 sürücü başına Polis ve FTM'ler tarafından yazılan cezalara ilişkin sıralamalar karşılaştırıldığında, Antalya ve Mersin'in her iki sıralamada da en yüksek değere sahip 5 il içinde oldukları, en az ceza yazılan illerin ise her iki sıralamada farklı iller oldukları anlaşılmaktadır.

#### 4. Cezalar ve trafik güvenliği değerlendirmesi

Trafik güvenliği kavramı kuşkusuz tek bir parametre ile açıklanacak bir kavram değildir. Trafik sistemi, içerisinde insan, araç ve yolu barındıran, bununla birlikte eğitim, denetleme, mühendislik, trafik yönetimi, ilkyardım, çevresel koşullar, mevzuat, savunuculuk ve politika üretme gibi boyutları da olan karmaşık bir sistemler bütünüdür. Trafik güvenliğinin sağlanması, bütün bu parametrelerle ilgili münferit ve birlikte çözüm önerilerinin geliştirmesi ile mümkündür (Arıkan Öztürk, 2015).

Şekil 3, 4'de 2012-2013 yılları arasında 1.000 sürücü başına Polis ve FTM'ler tarafından yazılan trafik cezalarındaki % değişimler, Şekil 5'de ise 100.000 sürücü başına ölü sayısındaki % değişimler il düzeyinde gösterilmiştir. Ayrıca, ölü sayısındaki % değişimler ile Polis ve FTM'ler tarafından sürücülere yazılan cezaların bir arada değerlendirilebilmesi için, her üç değişkendeki artış ve azalış eğilimlerinin bir arada görülebileceği bir tablo hazırlanmıştır (Tablo 2).

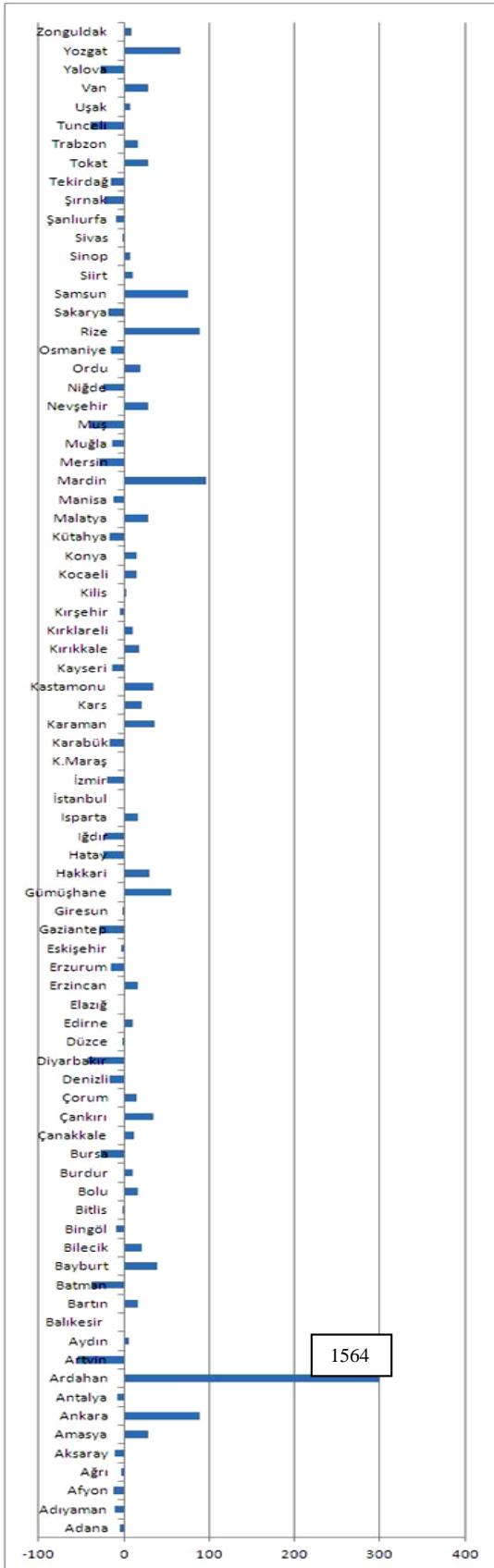
Elde edilen bulgulara göre; 29 ilde 100.000 sürücü başına ölü sayısı 2012 yılına göre artmış, 52 ilde ise azalmıştır. 100.000 sürücü başına ölü sayısında en fazla değişim olan il Bilecik (%283 artış), en az değişim olan il ise Artvin'dir (%90 azalış).

75 ilde FTM'ler tarafından 1.000 sürücü başına yazılan ceza miktarında 2012 yılına göre artış olurken, 6 ilde (Ağrı, Balıkesir, Bayburt, Çankırı, Kırşehir, Kocaeli) düşüş olmuştur. 2013 yılında FTM'ler tarafından 1.000 sürücü başına yazılan ceza miktarı bir önceki yıla göre İstanbul'da %184, Ankara'da %10, İzmir'de ise %66 oranında artmıştır. Polis tarafından yazılan cezalarda ise İstanbul'da %1, Ankara'da %89 artış olurken İzmir'de %19 oranında düşüş olmuştur. Her üç ilde de 100.000 sürücü başına meydana gelen ölümlerde azalma söz konusudur (İstanbul %2, Ankara%32, İzmir %16).

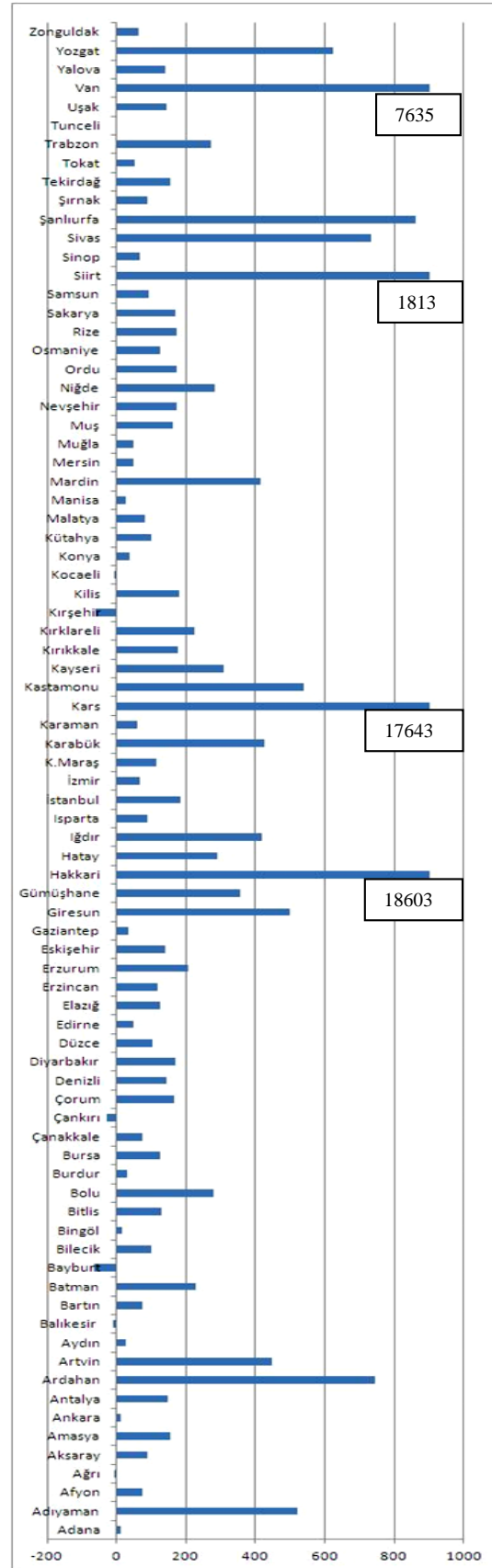
38 ilde polis tarafından sürücüye yazılan ceza sayısı azalmış, 43 ilde ise artmıştır. 2012 yılında polis sorumluluk bölgesinde 1.000 sürücü başına yazılan ceza adedi 98 iken 2013 yılında 1637'ye yükselen Ardahan, yazılan ceza miktarı en fazla artış gösteren il olmuştur. Ardahan'da 100.000 sürücü başına ölü sayısındaki değişime bakıldığında ise 2013 yılında bir önceki yıla oranla %6 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Polis sorumluluk bölgesinde 1.000 sürücü başına yazılan ceza miktarında düşüş olan 38 il içinde en fazla orana sahip il Artvin'dir. Artvin'de 2013 yılında polis sorumluluk bölgesinde yazılan ceza miktarı, 2012 yılından %55 oranında daha az olmuştur. Artvin'de FTM'ler tarafından yazılan ceza miktarı ise % 449 oranında artmıştır. Artvin'de 100.000 sürücü başına ölü sayısındaki değişime bakıldığında ise 2013 yılında bir önceki yıla oranla %90 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde 2013 yılında her bir il için istenen durum; ölü sayısında azalma, Polis ve FTM'ler tarafından gerçekleştirilen denetleme faaliyetlerinde ise artma olması durumudur. Bu duruma uyan iller: Amasya, Ankara, Ardahan, Aydın, Bolu, Burdur, Çanakkale, Çorum, Elazığ, Gümüşhane, Hakkari, Isparta, İstanbul, Karaman, Kars, Kırklareli, Kilis, Konya, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Uşak, Yozgat ve Zonguldak'tır.

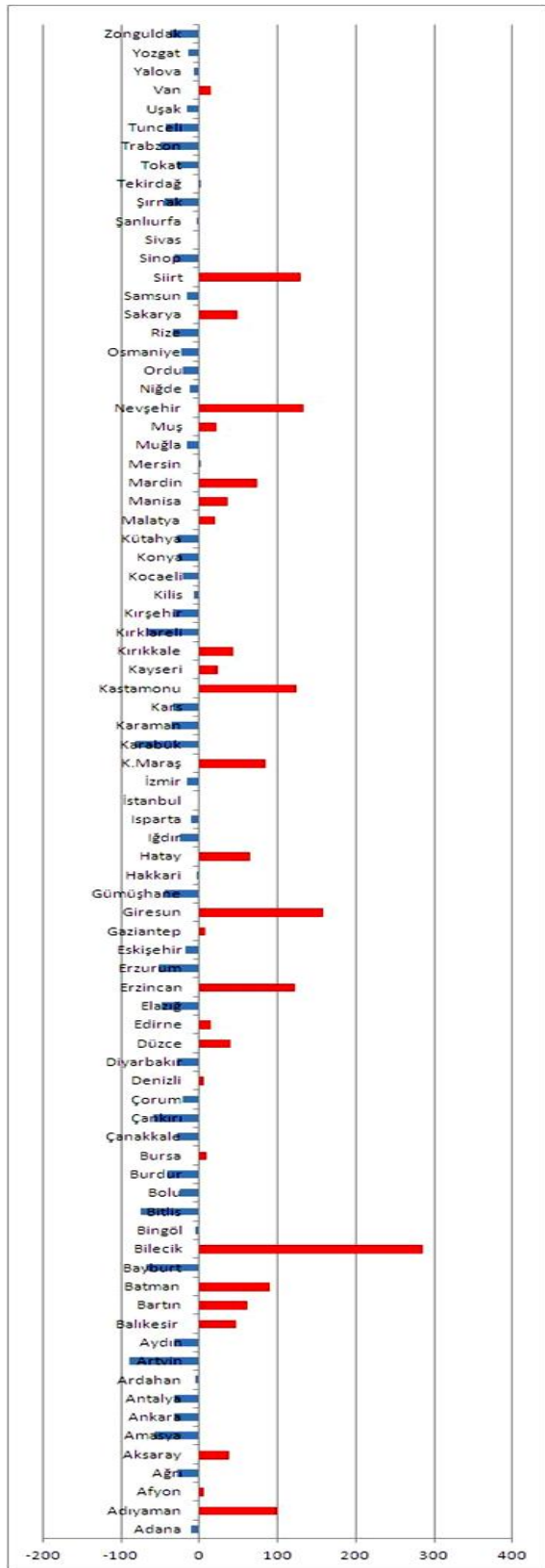


Şekil 3. Polis tarafından 1.000 sürücü başına yazılan ceza miktarı % değişimi (2012-2013).



Şekil 4. FTM ler tarafından 1.000 sürücü başına yazılan ceza miktarı % değişimi (2012-2013).





Şekil 5. İllere ait 100.000 sürücü başına ölü sayısı % değişimi (2012-2013).

**Tablo 2.** 2012-2013 ölü sayısı ve ceza % değişimlerinin birlikte değerlendirilmesi

	100.000 sürücü başına ölü sayısı	1.000 sürücü başına ceza adedi (Polis)	1.000 sürücü başına ceza adedi (FTM)		100.000 sürücü başına ölü sayısı	1.000 sürücü başına ceza adedi (Polis)	1.000 sürücü başına ceza adedi (FTM)
Adana	↓	↓	↑	K.Maraş	↑ ↑ ↑ ↑	↔	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Adıyaman	↑ ↑ ↑ ↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Karabük	↓ ↓ ↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Afyon	↑	↓	↑ ↑ ↑	Karaman	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑ ↑
Ağrı	↓ ↓	↓	↓	Kars	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Aksaray	↑ ↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑	Kastamonu	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Amasya	↓ ↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Kayseri	↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Ankara	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑	↑	Kırıkkale	↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Antalya	↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Kırklareli	↓ ↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Ardahan	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Kırşehir	↓ ↓	↓	↓ ↓ ↓
Artvin	↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Kilis	↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Aydın	↓ ↓ ↓	↑	↑ ↑	Kocaeli	↓	↑	↓
Balıkesir	↑ ↑	↑	↓	Konya	↓ ↓	↑	↑ ↑
Bartın	↑ ↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑	Kütahya	↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑
Batman	↑ ↑ ↑ ↑	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Malatya	↑	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑
Bayburt	↓ ↓ ↓	↑ ↑	↓ ↓ ↓	Manisa	↑ ↑	↓	↑ ↑
Bilecik	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Mardin	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Bingöl	↓	↓	↑	Mersin	↑	↓ ↓	↑ ↑
Bitlis	↓ ↓ ↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Muğla	↓	↓	↑ ↑
Bolu	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Muş	↑	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Burdur	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑	Nevşehir	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Bursa	↑	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Niğde	↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Çanakkale	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑	Ordu	↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Çankırı	↓ ↓ ↓	↑ ↑	↓ ↓	Osmaniye	↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Çorum	↓ ↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Rize	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Denizli	↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Sakarya	↑ ↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Diyarbakır	↓ ↓	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Samsun	↓	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Düzce	↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Siirt	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Edirne	↑	↑	↑ ↑ ↑	Sinop	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑
Elazığ	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Sivas	↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Erzincan	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Şanlıurfa	↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Erzurum	↓ ↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Şırnak	↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Eskişehir	↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Tekirdağ	↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Gaziantep	↑	↓ ↓	↑ ↑	Tokat	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑ ↑
Giresun	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Trabzon	↓ ↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Gümüşhane	↓ ↓	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Tunceli	↓ ↓	↓	↑
Hakkari	↓	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Uşak	↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Hatay	↑ ↑ ↑	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Van	↑	↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Iğdır	↓ ↓	↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Yalova	↓	↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
Isparta	↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑	Yozgat	↓	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
İstanbul	↓	↑	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Zonguldak	↓ ↓	↑	↑ ↑ ↑
İzmir	↓	↓	↑ ↑ ↑				

**Değerlendirme Ölçütü**

	AZALIŞ	ARTIŞ
%1-%25	↓	↑
%26-%50	↓ ↓	↑ ↑
%51-%75	↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑
%76-%100	↓ ↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑
>%101	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑ ↑ ↑

2013 yılında 2012 yılına göre, 100.000 sürücü başına ölü sayısında %75 den fazla oranda azalma sağlayan iller Artvin (-%90,45), Karabük (-%81,67) ve Bitlis'dir (-%75,39). Her üç ilde de dikkat çekici olan durum; polis sorumluluk bölgesinde yazılan cezalar azalırken, FTM'ler tarafından yazılan cezaların artmasıdır. Hem polis sorumluluk bölgesinde yazılan hem de FTM'ler tarafından yazılan cezalarda artış olan, ancak bununla birlikte ölü sayısında da artış olan 11 il mevcuttur. Bu iller; Bartın, Bilecik, Edirne, Erzincan, Kastamonu, Kırıkkale, Malatya, Mardin, Nevşehir, Siirt ve Van'dır.

## 5. Tartışma

Çalışma, 2010-2013 yıllarına ait trafik kazalarındaki ölü sayısı ve trafik ceza miktarları verilerinin değişimlerini, il bazında karşılaştırmalı olarak inceleyen bir çalışmadır. Çalışmada temin edilen verilerden yola çıkarak 81 il için mevcut durumu ifade eden bir fotoğraf çekilmeye çalışılmıştır. 2012-2013 yılları arasındaki yüzdelik değişim dikkate alınarak yapılan analizlerde 100.000 sürücü başına ölüm oranı 29 ilde bir önceki yıla göre artmış, 52 ilde azalmış, 1.000 sürücü başına polis tarafından yazılan cezalar 43 ilde artmış, 38 ilde azalmış, 1.000 sürücü başına FTM'ler tarafından yazılan cezalar 75 ilde artmış, 6 ilde ise azalmıştır.

Çalışmanın bulguları sürücülere yazılan cezaların trafik güvenliğini arttırmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ceza ile ölü sayıları arasında beklendiği şekilde negatif ilişki gösteren sonuçlar bulgulanmıştır. Literatürde trafik cezalarının etkinliği konusunda yapılan benzer çalışmaların bulguları da bu çalışmanın bulgularıyla tutarlıdır (Sümer, 2015, Porter 2011, Blais 2010, Elvik 2009, Wells 1992).

Çalışma kapsamında her ildeki FTM sayıları ve her bir FTM'nin yazdıkları ceza miktarları temin edilememiştir. Bir ilde FTM'ler tarafından yazılan ceza miktarının; o ilde yeterli sayıda FTM bulunup bulunmamasına, yeterli sayıda FTM olsa bile aktif olarak çalışıp çalışmamasına ve yazdıkları cezaların tutanağa çevrilme oranına göre de değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu yönde yapılacak bir çalışmanın FTM sisteminin verimini ortaya koymak açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Akhtar, Z., Ziyab, AH., (2013). Impact of the penalty points system on severe road traffic injuries in Kuwait. *Traffic Injury Prevention*, 14:743-748. DOI: 10.1080/15389588.2012.749466
- Arıkan Öztürk, E., (2015). Türkiye'deki illerin trafik risk endeksi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6): 405-412. DOI: 10.5505/pajes.2015.93446
- Blais É, Gagné MP., (2010). The effect on collisions with injuries of a reduction in traffic citations issued by police officers. *Injury Prevention*, 16(6): 393-397.  
<http://dx.doi.org/10.1136/ip.2009.025379>
- Bertelli, A., Richardson LE.,(2008). The behavioral impact of drinking and driving laws. *Policy Studies Journal (PSJ)*, 36(4): 545-569. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0072.2008.00283.x>
- Çınarbaş Akın, S., Portakalçı, L., Çubuk, M., Ayvalık, C., (2003). Değişik hız denetim yöntemlerinin sürücü hız seçimine etkileri. *Emniyet Genel Müdürlüğü, Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü Yayını*, s.45.
- Delice, M., (2012). Hız, alkol ve genel trafik denetimlerinin trafik kazaları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 16 (2): 27-44.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2013). *Global Status Report on Road Safety 2013*.  
[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/) [Erişim 15.02.2016].
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*.  
[https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2018/en/](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/) [Erişim 15.03.2019].
- Elvik, R., Vaa, T., Erke. A., Sorensen, M., Editors (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*. Bingley: Emerald Group Publishing.
- Emniyet Genel Müdürlüğü EGM (2017). Genel Kaza İstatistikleri

[http://www.trafik.gov.tr/SiteAssets/istatistik/Genel\\_Kazalar.pdf](http://www.trafik.gov.tr/SiteAssets/istatistik/Genel_Kazalar.pdf) [Erişim 15.03.2019]

ESCAPE (Enhanced Safety coming from Appropriate Police Enforcement), (2003). ESCAPE Project Final Report.

[https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20040909\\_144405\\_72910\\_escape.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20040909_144405_72910_escape.pdf)

Karayolları Genel Müdürlüğü KGM (2017). Trafik Kazaları Özeti 2017. Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Yayını.

Novoa, A.M., Perez, K., Santamarina-Rubio, E., Dell'Olmo, M., Ferrando, J., Peiro, R., Tobias A., Zori, P., Borrell, C., (2010). Impact of the Penalty Points System on Road Traffic Injuries in Spain: A Time-Series Study. *American Journal of Public Health (AJPH)*, 100(11): 2220–2227. doi: 10.2105/AJPH.2010.192104

Köksal, Ş., (2011). Trafikte denetim-eğitim ilişkisi. *Trafik ve Yol Güvenliği Sempozyumu 23.11.2011*, Ankara.

Paternoster, R. and Bachman, R., (2001). Explaining criminals and crime, *Oxford University Press*.

Porter, B.E. (2011). Handbook of Traffic psychology Chapter 31-Enforcement (pp.441-453). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381984-0.10031-1>

Sümer, N., Kaygısız, Ö., (2014). Trafik denetimlerinin kazalara etkisi. *Emniyet Genel Müdürlüğü, Trafik Hizmetleri Başkanlığı Yayını*, s.54

Sümer, N., Kaygısız, Ö., (2015). Türkiye’de denetleme, cezalar ve trafik güvenliği göstergeleri arasındaki ilişkiler: 2008-2012 yılları analizi. *Turk J. Public Health*, 13(3):193-205. <https://dx.doi.org/10.20518/thsd.11797>

Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). (2016). Trafik Kaza İstatistikleri, 2010-2011-2012-2013. <http://www.tuik.gov.tr/> [Erişim 05.01.2016]

Wells JK., Preusser DF., Williams AF. (1992). Enforcing alcohol-impaired driving and seat belt use laws, Binghamton, NY. *Journal of Safety Research*, 23(2):63-71. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(92\)90022-2](https://doi.org/10.1016/0022-4375(92)90022-2)

# Airyprime Işınının Güçlü Türbülansa Yayılması

## Propagation Of Airyprime Beam in Strong Turbulence

Mert BAYRAKTAR

*e-mail : mert.bayraktar@hku.edu.tr*  
*Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep*

### Özet

Bu çalışmada airyprime ışınının türbülansif atmosferde yayılması incelenmiştir. Dik kaynak düzleminde airyprime ışını yaratılırken, Gauss kaynak boyutları simetrik ve asimetrik olarak alınmıştır. Atmosferi modellemek için rastgele faz tabakası yöntemi kullanılmıştır. Kaynak düzleminde seçilen airyprime ışınlarının şiddet dağılımları merkezde yüksek değerli bir Gauss şiddeti ve çevresinde sıralı düşük-yüksek şiddetli Gauss şiddetlerine sahiptir. Türbülansa ilerlerken, büyük Gauss kaynak boyutu değerine sahip airyprime ışını çok kısa mesafede Gauss ışınına dönmektedir. Buna karşın, asimetrik kaynak parametrelerine ve küçük Gauss kaynak boyutuna sahip simetrik airyprime ışını atmosferden ilerlerken yakın mesafede dik düzlemin merkezindeki ışın şiddeti artmaktadır. İlerleyen mesafelerde bu şiddet azalarak asimetrik ışınlar için iki Gauss lobu ve küçük simetrik ışın için dört Gauss lobundan oluşan şekle dönmektedir. Işın boyutu açısından bakıldığında ise seçilen tüm airyprime ışınlar birbirine yakın değerler sağlamaktadır. Seçilen ışınların içerisinde küçük Gauss kaynak boyutlarına sahip ışın en fazla saçılırken, büyük Gauss kaynak boyutlarına sahip airyprime ışını en az saçılmaktadır. Asimetrik ışınlar ise küçük ve büyük kaynak boyutlu ışınların arasında kalmaktadır.

### Abstract

In this study, it is analyzed the propagation properties of airyprime beam in turbulent atmosphere. While airyprime beam is generated in transverse source plane, Gauss source sizes are taken as symmetric and asymmetric. Random phase screen approach is used to model the atmosphere. Intensity distribution of selected airyprime beams on the source plane have a high valued Gauss intensity on the on-axis and in order low-high Gauss intensities around the center. While propagating in turbulence, airyprime beam with high Gauss source size turns into Gauss beam in very short distance. Nevertheless, while airyprime beam having asymmetric source parameters and small Gauss symmetric source sizes propagating through atmosphere, on-axis intensity raises in closer distances. In longer distances, decaying this intensity, they turn into shape involving two Gauss lobes for asymmetric beams and four Gauss lobes for symmetric beam. When it is looking at beam size point of view, all selected airyprime beams have closer values to each other. Among the selected beams, while small Gauss source size beam spreads the most, beam having large Gauss source size airyprime beam spreads the least. Asymmetric beams remain between small and large source size beams.

## 1. GİRİŞ

Gauss ışını dışındaki ışınların atmosferde yayılması bilim insanlarının ilgisini çekmektedir. Airyprime ışını da Gauss ışınından farklı bir alan dağılımına sahiptir. Airyprime ışını ilk olarak (Zhou, Chen, & Ru, 2015)'de tanıtılmıştır. Kesilmiş Airyprime ışının yaratılışı ise (Bencheikh, 2019)'de çalışılmıştır. Airyprime ışının parıldama indisinin güçlü türbülansa Gauss ışınına nazaran daha düşük olduğu (Bayraktar, 2020)'de gösterilmiştir.

Diğer taraftan, alternatif ışınların türbülansif atmosferde yayılması da literatürde yer almaktadır. Silindirik sinc ışınının genişleyen yapısı (Eyyuboglu & Bayraktar, 2016)'de vurgulanmıştır. Asimetrik şişe ışınının türbülansa daha dirençli olduğu (Bayraktar & Eyyuboglu, 2019)'de sunulmuştur. (Wu, Huai, Zhao, & Jin, 2018)'de gösterildiği üzere, 4 petal ışını atmosferde yayılma sonrasında Gauss ışınına dönmektedir.

Bu çalışmada ise yukarıdaki ışınlardan farklı olarak Airyprime ışınının güçlü türbülansa yayılması incelenmiştir. Atmosfer modeli olarak rastgele faz tabakası yöntemi nümerik hesaplama kolaylığı sağladığı için seçilmiştir. Seçilen parametrelere sahip Airyprime ışınının ışın şiddetleri ve ışın boyutları grafiklerle

gösterilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının kablosuz optik haberleşme sistemi geliştiricilerine fayda sağlaması beklenmektedir.

## 2. RASTGELE FAZ TABAKASI MODELİ İLE ATMOSFERDE YAYILMA

Kaynak düzleminde yaratılan ışınların atmosfer içerisinde yayılması rastgele faz tabakaları kullanarak hesaplanabilir.  $s_x, s_y$  koordinatlarına sahip dik kaynak düzleminde yaratılan herhangi bir  $u_s(s_x, s_y)$  ışını için atmosferden geçtikten sonra alınan alan ifadesi

$$\begin{aligned} u_r(\mathbf{r}, L) &= u_r(r_x, r_y, L) = \exp(jkL) \mathbf{F}^{-1} \left\{ \mathbf{F} [u_s(\mathbf{s}) \exp(j\phi)] \mathbf{F} \left\{ \frac{-jk}{2\pi L} \exp \left( \frac{jk}{2L} [(r_x)^2 + (r_y)^2] \right) \right\} \right\} \\ &= \exp(jkL) \mathbf{F}^{-1} \left[ U_{s1}(\mathbf{f}) \mathbf{F}(\exp(j\phi)) \exp \left( -\frac{jk\lambda^2 L}{2} (f_x^2 + f_y^2) \right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Şeklinde yazılır. Burada,  $r_x, r_y$  alıcı düzlem koordinatlarını ifade ederken,  $k$  dalga sayısını,  $L$  yayılma mesafesini,  $\exp(j\phi)$  rastgele faz salınımlarını  $\mathbf{F}$  ve  $\mathbf{F}^{-1}$  Fourier dönüşümü ve tersini ve  $\mathbf{f} = (f_x, f_y)$  ise spektral koordinatları ifade eder. Rastgele faz salınımları yaratılırken modifiye edilmiş von-Karman uzaysal güç yoğunluğundan faydalanılır (Andrews, 2005). Bu terim, Fried parametresi üzerinden türbülans şiddetini belirleyen  $C_n^2$  yani kırınım indisi yapı sabitine bağlıdır. Bu çalışmada, kaynak alan ifadesi olarak Airyprime ışını seçilmiştir. denklem 1'de  $u_s(\mathbf{s})$  yerine koyulacak olan Airyprime ışını ifadesi denklem 2'de verilmiştir.

$$u_s(\mathbf{s}) = u_s(s_x, s_y) = Ai' \left( \frac{s_x}{\alpha_{sx}} \right) Ai' \left( -\frac{s_x}{\alpha_{sx}} \right) Ai' \left( \frac{s_y}{\alpha_{sy}} \right) Ai' \left( -\frac{s_y}{\alpha_{sy}} \right) \quad (2)$$

Burada,  $Ai'$  Airyprime fonksiyonunu ifade ederken  $\alpha_{sx}$  ve  $\alpha_{sy}$ , x ve y doğrultusundaki Gauss ışın genişliğini gösterir. Alınan alan hesaplandıktan sonra alınan şiddet

$$I(r_x, r_y) = u_r(r_x, r_y) u_r^*(r_x, r_y) \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Burada, karmaşık eşleniğini ifade eder. Alınan ışının şiddeti hesaplandıktan sonra ışın boyutunu bulmak için denklem 4'den faydalanılır (Eyyuboglu, 2014).

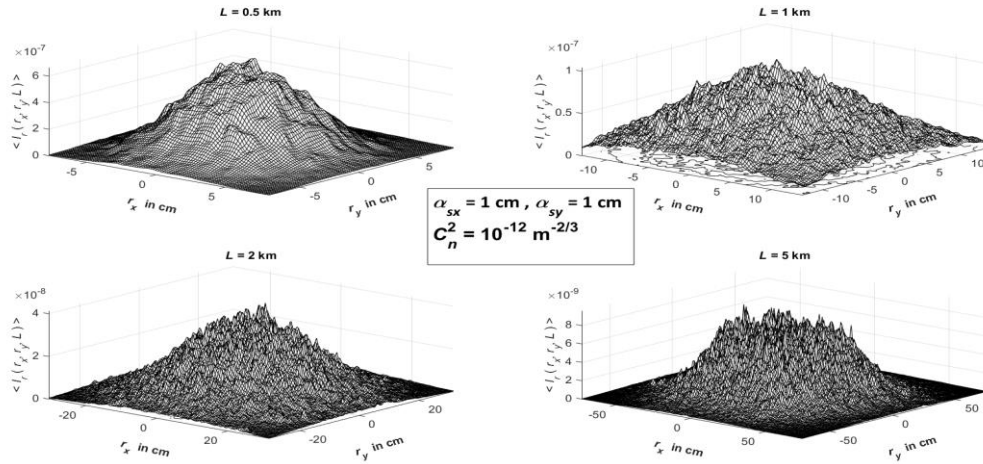
$$\begin{aligned} \alpha_{rx, ry} &= \left[ \frac{2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} r_{x,y}^2 \langle I(r_x, r_y) \rangle dr_x dr_y}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle I(r_x, r_y) \rangle dr_x dr_y} \right]^{-0.5} \\ \alpha_r &= (\alpha_{rx}^2 + \alpha_{ry}^2)^{0.5} \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem 4'te,  $\alpha_{rx, ry}$  x ve y eksenleri üzerindeki ışın boyutunu verirken toplam ışının boyutu  $\alpha_r$  ile gösterilmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında MATLAB ortamında oluşturulan atmosfer modelinde dik düzlem 512X512 boyutlarındaki matris ile ifade edilmiştir. Verici kaynak düzlemi 10cmX10cm boyutlarında sabitlenmiştir. Verici ve alıcı düzlem arasında 21 tane rastgele faz tabakası yerleştirilmiştir. Bu değer seçilirken, tabakalar arasındaki Fried parametresi değerinin 0.1'den az olması amaçlanmıştır (Bayraktar & Eyyuboglu, 2019). Tabakalar arasında boş uzay değerleri geçerli olurken tabakalar türbülansı sembolize eder.

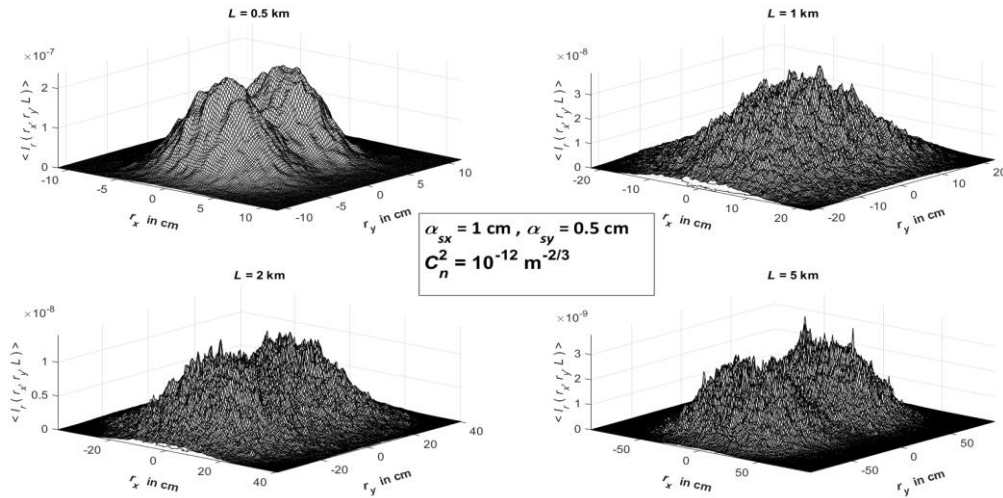
## 3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu bölümde çalışmanın sonuçları yorumlanmıştır. Aşağıda şekil 1'de görüldüğü üzere, kaynak düzleminde bulunan yan loblar (Bayraktar, 2020) 500metre mesafeye gelmeden yok olmaktadır. Işın şiddeti merkezde yoğunlaşmış Gauss dağılımına benzer bir dağılıma dönüşür.



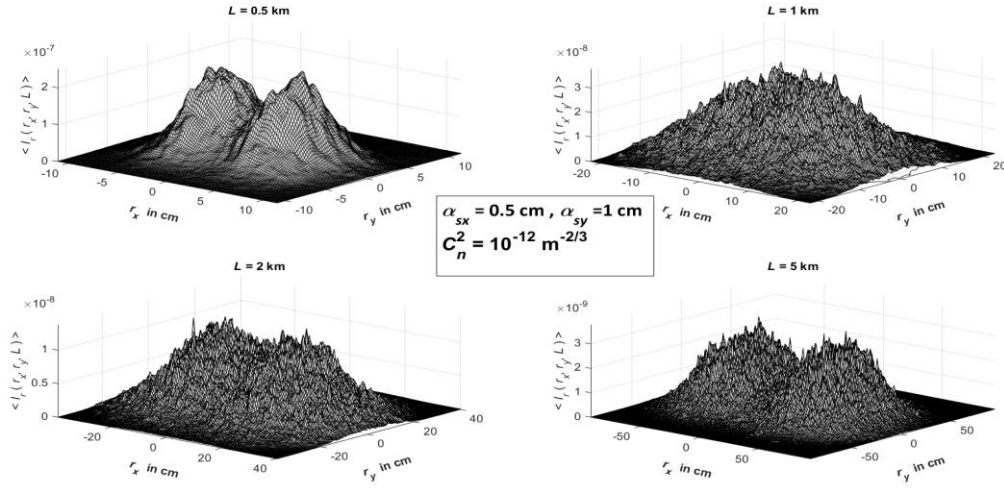
Şekil 1. Büyük kaynak boyutlarında yaratılmış simetrik Airyprime ışını.

Şekil 2’de ise kaynak düzleminde  $\alpha_{sx} = 1 \text{ cm}$  ve  $\alpha_{sy} = 0.5 \text{ cm}$  olarak yaratılan Airyprime ışınının atmosferik türbülansa yayılırken ışın şiddet değişimi gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere, asimetrik ışın türbülansa karşı daha fazla direnç göstermektedir. Seçilen ışın asimetrik görüntüsünü 5km’de dahil korumaktadır. Ancak, kaynak düzleminde var olan yan loblar, simetrik durumda olduğu gibi kaybolmuştur. Yan loblar birleşip ikinci bir Gauss tepesi oluşturmuştur.



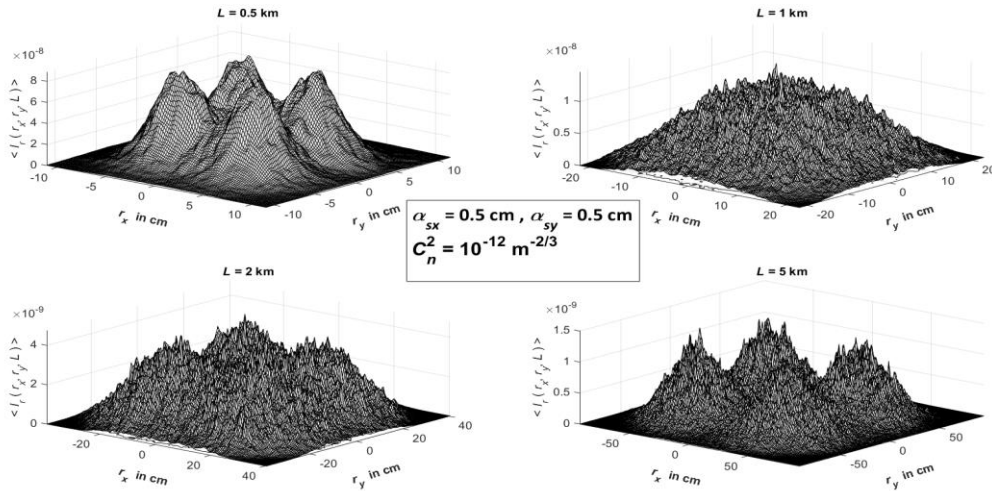
Şekil 2.  $\alpha_{sx} > \alpha_{sy}$  olan Asimetrik Airyprime ışınının atmosferde yayılması

Şekil 2 için yapılan çıkarımlar, şekil 3 için de geçerlidir. Şekil 3’te ise kaynak düzleminde  $\alpha_{sx} = 0.5 \text{ cm}$  ve  $\alpha_{sy} = 1 \text{ cm}$  olarak yaratılan Airyprime ışınının atmosferik türbülansa yayılırken ışın şiddet değişimi gösterilmiştir. Şekil 2 ve 3 karşılaştırıldığında, farklı eksenler doğrultusunda ve aynı orandaki asimetrinin ışın evrimine bir etkisi olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 3.  $\alpha_{sx} < \alpha_{sy}$  olan Asimetrik Airyprime ışının atmosferde yayılması.

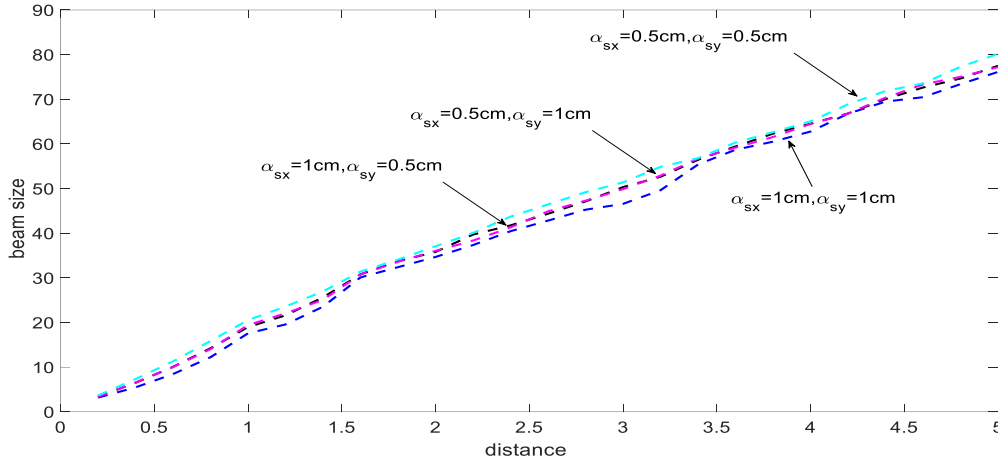
Şiddet dağılımlarının sonunda ise küçük Gauss kaynak boyutlarında yaratılmış Airyprime ışının evrimi şekil 4'te gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere, küçük kaynak boyutlarında yaratılmış olan ışın atmosfere daha fazla direnç göstermektedir. 500 metre sonra, ışın dağılımı 4 petal ışınına benzer. Bu görünüm yayılma sırasında bozulsa bile, 5km sonra ışın tekrar bu görünümüne kavuşur.



Şekil 4. Küçük kaynak boyutlarında yaratılmış simetrik Airyprime ışını.

Son olarak ise, Airyprime ışının alıcı düzlem üzerindeki ışın boyutu şekil 5'te verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere, tüm seçilen parametrelerde yaratılan Airyprime ışınları güçlü türbülansla yayılırken birbirlerine yakın ışın boyutlarına sahip olurlar. Bu da bize, alıcıda sabit bir toplayıcı lens kullanılabileceğini göstermektedir. Işın boyutu sabit olduğu için, kablosuz optik haberleşme sistemlerinde (Bayraktar, 2020)'de parıldaması daha düşük olan ışın seçilebilir. Ayrıca, 5km sonunda erişilen ışın boyutları parıldama indisi düşük olan silindirik sinc ışınının ortalama ışın boyutundan (Eyyuboglu & Bayraktar, 2016) da düşüktür.





Şekil 5. Seçilen Airyprime ışınlarının yayılma boyunca ışın boyutları.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, Airyprime ışınının güçlü türbülansif atmosferde yayılması incelenmiştir. Asimetrik olarak yaratılan ışınların ışın formunu daha uzun süre koruduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, Gauss kaynak boyutları küçültülerek yaratılan simetrik ışın, 4'lü Gauss tepelerinden oluşan bir görünüme dönüşür ve bu şekli yayılma mesafesi boyunca muhafaza eder. Işın boyutu olarak bakıldığında ise Gauss kaynak boyutu parametresinin ışın boyutu üzerinde büyük bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Böylelikle, serbest uzay optik sistemlerinde parıldaması küçük olan set seçilerek sabit bir alıcı açıklıkla yüksek performans elde edilebilir. Bu çalışmanın çıktılarının serbest uzay optik sistem tasarımcılarına yol göstermesi beklenmektedir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Andrews, L. C. (2005). *Laser Beam Propagation Through Random Media* (2 ed.). Washington: SPIE.
- [2] Bayraktar, M. (2020). *Point Like Scintillation Analysis of Airyprime Beam in Turbulent Atmosphere*. Paper presented at the the 7th International Scientific Research Congress, Ankara, Turkey.
- [3] Bayraktar, M., & Eyyuboglu, H. T. (2019). Propagation properties of optical bottle beam in turbulence. *Optical Engineering*, 58(3). doi:Artn 036104
- [4] 10.1117/1.Oe.58.3.036104
- [5] Bencheikh, A. (2019). Airyprime beam: From the non-truncated case to truncated one. *Optik*, 181, 659-665. doi:10.1016/j.ijleo.2018.12.117
- [6] Eyyuboglu, H. T. (2014). Propagation analysis of Ince-Gaussian beams in turbulent atmosphere. *Applied Optics*, 53(11), 2290-2296. doi:10.1364/Ao.53.002290
- [7] Eyyuboglu, H. T., & Bayraktar, M. (2016). Propagation properties of cylindrical sinc Gaussian beam. *Journal of Modern Optics*, 63(17), 1706-1712. doi:10.1080/09500340.2016.1170902
- [8] Wu, K. N., Huai, Y., Zhao, T. L., & Jin, Y. Q. (2018). Propagation of partially coherent four-petal elliptic Gaussian vortex beams in atmospheric turbulence. *Optics Express*, 26(23), 30061-30075. doi:10.1364/Oe.26.030061
- [9] Zhou, G. Q., Chen, R. P., & Ru, G. Y. (2015). Airyprime beams and their propagation characteristics. *Laser Physics Letters*, 12(2). doi:Artn 025003
- [10] 10.1088/1612-2011/12/2/025003

# The Manufacturing and Qualification Methodology of the Aviation-Grade Parts

Assist. Prof. Dr. Tamer SARAÇYAKUPOĞLU

*Istanbul Gelişim University, Aeronautical Engineering Faculty*

## Abstract

The aviation industry still attracting the academicians and technical teams with its unique structure. National Academies Press (NAP) declares that the added value of an airworthy part is sixty times more than its equivalent in the automotive industry. In another meaning, a screw that is used on an aircraft has sixty times more price of the same one in a car. On the other hand, aviation is an industry that has stiff regulations since it is worldwide and has a precise process. Since the aviation industry adheres to rigid requirements, the qualification of an aviation-grade part is very important. In this study, the information regarding the manufacturing techniques and qualification methodology of the aviation-grade part will be provided.

## 1. Introduction

The aviation industry is a well-framed and well-regulated industry that is governed by the International Civil Aviation Organization (ICAO) under the United Nations (UN). As it is shown in Figure 1., there are some regional authority bodies such as the Federal Aviation Administration (FAA) that is originated in the USA and European Aviation Safety Agency (EASA) that is originated in Europe.



Figure 1. Hierarchical Depiction of Airworthiness Authorities (Saraçyakupoğlu, 2020)

Additionally, every country has its own local airworthiness authority to ensure aviation safety. These local airworthiness authorities are called as Country Airworthiness Authority (CAA). For ensuring aviation safety, both international authorities and local authorities put stiff regulations to define manufacturing, maintenance, and training activities. These regulations include certification and production approval, airworthiness of aircraft, certification of aircraft personnel, facility, and other safety-related matters.

For the approval of a company, some audits are executed by authorities. As these audits are satisfactorily completed, the candidate company may gain the privilege of manufacturing a part on the aircraft.

A part on the aircraft may be called as;

- Aviation grade part,
- Airworthy part,
- Airborne part,
- Ready-to-take-off part,
- Flight-ready part,
- Flight-grade part,
- Aviation-grade part.

## **2. Work and Methods**

### **2.1. System Audits Executed By Airworthiness Authorities**

After initial approval, it is a must for the manufacturer company to pass the periodic continuing audits successfully. As it was mentioned before, any major failure may result in the interruption of the mass production line. For example, after two fatal accidents of Boeing 737 Max aircraft killing 346 people in total, EASA, FAA, and many CAA's stopped all the operations of Boeing 737 Max. Many aircraft have been waited as Aircraft on the Ground (AOG) status with the force of authorities. The investigation reports showed that the problem was originated from the Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS) which was newly designed and implemented to Boeing 737-Max aircraft against excessive Angle of Attack (AoA) trend that causes the vertical instability (Saraçyakupoğlu, 2020).

ICAO makes safety studies and expresses some warnings that the new technology and new concepts may impact aviation safety negatively unless they are not matured enough.

### **2.2. Manufacturing Technologies Used in the Aviation Industry**

The manufacturing can be described as the conversion of the raw material to an end-part that is ready to market. There are many manufacturing techniques while five of them are the most commonly used ones (Esmailian, Behdad, & Wang, 2016). These are;

- Joining Technologies:

The parts are produced with joining techniques such as welding, riveting, etc. A welded surface of a vehicle can be a good example of this technology.

- Cutting Technologies

The parts are divided into smaller parts with the saw machines, waterjet machines, etc. A cut aircraft composite skin part can be an example of this technique. Abrasive Water Jet (AWJ), provides more sensitive surfaces when it is compared with other cutting techniques (Saraçyakupoğlu, 2019). It is noteworthy that, Boeing uses 5-axis AWJ machines as standard ones since, Abrasive Water Jet (AWJ) has the prevention capability of delamination, splitting, and edge scratches (Shengxiong & others, 2017).

- Chip-Away Technologies:

Milling machines, turning machines (Lathe), and drills are the machines used for chip away techniques. A bulkhead that is manufactured with a 5-axis milling machine can be an example of a chip-away manufacturing technique.

- Form Changing Technologies:

Sheet metal forming, forging, or casting processes are used for form changing manufacturing techniques. In this technique, there's no chip so the raw materials weight and the final product's weight are almost the same.

- Additive Manufacturing Technologies:

This technique is a newly developed technology that has been used for almost three decades. In this technique, parts are produced layer by layer. It can be thought of as the opposite of the chip-away technique.

Additive Manufacturing is a quite new technology that is defined as a disruptive one. With its novel structure, additive manufacturing changes the paradigm of production techniques. It is based on the conversion of three-dimensional geometries into simple two-dimensional layers hence it provides opportunities for the production of complex parts. The open literature documents give clues that, additive manufacturing is taking place of conventional subtractive techniques.

As a novel and disruptive technology additive manufacturing is an approach that provides opportunities for reducing the weight while maintaining the same mechanical features. Sometimes modern technologies require materials that have unusual combinations of properties that cannot be provided solely by metals, polymers or ceramics (Yasa & Kivilcim, 2018).

### 2.3. The Part, Component, Assembly, and Top-Assembly Relation

For manufacturing methodology, the chain of part, component, assembly, and top-assembly relation should be understood. A standard commercial aircraft consists of 3-4 million parts depending on its type. It should be underlined that the freighter aircraft would have significantly fewer parts than the full passenger versions. The components are made of parts and the assemblies are made up of components. As it is shown in Figure 2, the aircraft, itself is the top assembly which consists of;

1. Structural Parts (Longeron, Spar, Rib, Bulkhead, etc.)
2. Standard Parts (MS Fasteners, NAS Fasteners, screws, nuts, self-locking nut plates, etc.)
3. Consumables (Tyres, fluids such as hydraulic and hydrazine, etc.),
4. Commercial-Off-The-Shelf (COTS), (Actuators, CVR, FDR, upholstery items, yoke, etc.)
5. Loose-items (Such as plugs and software etc.)



Figure 2. The Consisting of an Aircraft

## 2.4. The Break-Down Structure of a Landing Gear

In a landing gear system which is shown in Figure 3., the shock-strut and other load-carrying parts are the structural parts. The screws, nuts, and other fasteners are the standard parts used on the landing gear. The hydraulic fluid that transfers the force is a consumable. The actuators and customized switches are the COTS parts and finally, the plugs on the pipes and hoses are the loose items. From the manufacturing pyramid point of view, the piston and piston pins are the parts, actuators are the sub-assembly, and the landing gear system is an assembly. Finally, the aircraft is the top assembly.



Figure 3. The Landing Gear of a Commercial Passenger Aircraft

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Manufacturing Pyramid in the Aviation Industry

From bottom to top the manufacturing of an aviation-grade part has its own unique flow. The parts are at the bottom while the top assembly is the aircraft itself as was mentioned previously. It is noteworthy that there are some similarities between common manufacturing lines and airborne part manufacturing lines in terms of the plant-layout and lean-manufacturing line. Before providing information about aviation-grade parts manufacturing the manufacturing pyramid of the top assembly is an essential issue.

### 3.2. Design Organization Approval (Part21-J) and Product Organization Approval (Part 21-G)

Basically, the life cycle of a part is divided into six phases. As it is shown in Figure 4, these phases are:

- Design
- Production
- Development
- Operation
- Follow-on-Support
- Disposal

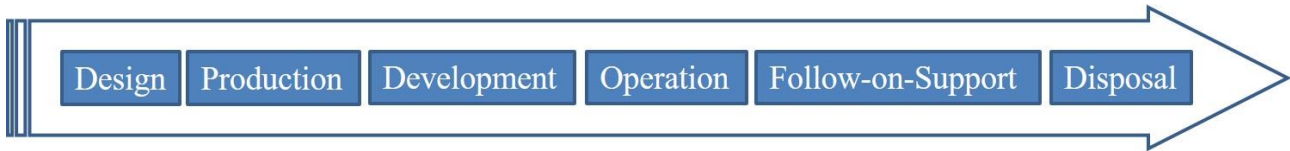


Figure 4. The Phases of a Product Life Cycle (Szabo, Koblen, & Vajdová, 2017)

In the aviation industry, for a company that designs the aircraft part, there are some requirements that must be met. This certification process is called Design Organization Approval (DOA).

Similarly, the airworthiness authority makes audits for certification for manufacturing. This certification process is called Product Organization Approval (POA).

#### 4. Conclusion

The airworthiness authority executes the system audits and inspections if the company has the capability of designing the aviation-grade part. To understand this, airworthiness authority makes detailed inspections on organizational structure, working environment, accreditation of management personnel, control of tool and equipment, Certificate Release Staff (CRS) validation, facility requirements, Protection of design and manufacturing data.

As a result, a company that is a candidate for designing and manufacturing aviation-grade part should follow the stiff regulations of national and international airworthiness authorities.

#### References:

- Esmailian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The Evolution and Future of Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing Systems*, 1.
- Saraçyakupoğlu, T. (2019). Abrasive Water Jet (AWJ) Applications in the Aviation Industry. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 9(6), 347-356. doi:10.24247/ijmperdec201929
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). *Emniyet İrtifasından Bilgiler: Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri*. Ankara: Nobel Academic Publishing.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). The Adverse Effects of Implementation of the Novel Systems in the Aviation Industry in Pursuit of Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS). *Journal of Critical Reviews*, 7(11), 2530-2538.
- Shengxiong, X., Zhengwen, C., Caihong, H., Qile, R., Ziquan, W., & Yuefeng, L. (2017). Introduction And Analysis Of The Ultrahigh Pressure Water Jet Cutting Multifunctional Application. *WJTA-IMCA Conference and Expo*. New Orleans, Louisiana: WJTA-IMCA.
- Szabo, S., Koblen, I., & Vajdová, I. (2017). Aviation Technology Life Cycle Stages. *Economy & Society & Environment*.
- Yasa, E., & Kivilcim, E. (2018). Additive Manufacturing of Polymer Matrix Composites. M. Kushan içinde, *Aircraft Technology* (s. 147). Intechopen.

# Solutions of Ruban Universe in $f(R,T)$ Gravitation Theory with Cosmological Constant ( $\Lambda$ )

Halife ÇAĞLAR

*Çanakkale Onsekiz Mart University, Biga Vocational School, Biga, Çanakkale, Turkey*  
halife@comu.edu.tr

## Abstract

In this study, inhomogeneous and anisotropic Ruban universe has been investigated in the presence of perfect fluid matter distributions in framework  $f(R,T)$  gravitation theory including cosmological constant  $\Lambda$ . The general solutions of the field equations have obtained by under the assumption of quadratic equation of state (EoS) for Ruban space-time. It can be say that inhomogeneous and anisotropic Ruban space-time indicates expanding or collapsing universe with deceleration for the investigated model because of the deceleration parameter has been obtained as positive ( $q = 2$ ). The relationship of the obtained quantities with cosmic time has been evaluated and it has been observed that many quantities are inversely proportional to time. Then all solutions of the model have been transformed into Einstein universe. Also some kinematical quantities have been calculated. The physical and geometrical aspects of the model are discussed.

## Introduction

It is well known that the universe is expanding with acceleration confirmed by observational data from Type Ia supernovae (Riess et.al., 1998; Perlmutter et.al., 1999) and from cosmic microwave background (CMB) measurements (Bernardies et.al., 2000; Lange et.al., 2001). Scientists have studied on this phenomenon and have suggested some methods in addition to Einstein Relativity Theory to explain the expansion. These methods are dark energy phantom, quintessence etc. (Spergel et.al., 2003) and alternative gravitation theories like as Lyra Theory (Lyra, 1951), Brans-Dicke Theory (Brans and Dicke, 1961), Barber's Theory (Barber, 1982). Also, different behaviors of universe from beginning to current time can be described by using modification of the geometric part of the Einstein-Hilbert action.  $f(R)$ ,  $f(G)$ ,  $f(T)$  and  $f(R, T)$  (Harko et.al., 2011) derived from this modification. After study of Harko et.al. (2011), scientists have focused on  $f(R,T)$  gravitation theory where the matter Lagrangian consists of an arbitrary function of the curvature scalar  $R$  and the trace of the energy-momentum tensor  $T$ , to explain the late time cosmic accelerated expansion of the universe. Santos (2013) has studied in alternative gravitation theory suggested by Harko et al (2011) with cosmological constant  $\Lambda$  in framework Gödel universe. Rao and Papa (2015) have investigated spatially homogeneous and anisotropic Bianchi type-V space-time in presence of cosmic strings in the context of  $f(R,T)$  gravitational theory. Also, locally rotationally symmetric (LRS) Bianchi-I space-time with string matter distribution has been searched for alternative gravitation theory by Kanakavalli and Rao (2016). Sahoo (2017) has obtained a time varying deceleration parameter from exact solutions of Kaluza-Klein metric in framework wet dark fluid source in  $f(R,T)$  gravitation theory. Çağlar and Aygün (2017) have studied  $f(R,T)$  modified theory with quark matter and cosmological constant  $\Lambda$  for Bianchi type-I universe. LRS Bianchi I metric with bulk viscous source has been investigated in  $f(R,T)$  theory by Sahoo and Reddy (2018). Aygün et.al. (2018) have get exact solutions of massive and massless scalar fields (normal or phantom) for flat Friedmann-Robertson-Walker (FRW) space-time with a scalar potential in the context of  $f(R,T)$  alternative gravitation theory. Also,  $f(R,T)$  modified theory with cosmological constant  $\Lambda$  has been investigated in Klauza-Klein universe for massive and massless scalar field models by Aktaş (2019). Also, conformal symmetric FRW universe with perfect fluid matter source has been examined in  $f(R,T)$  gravitation theory by Taşer (2020).

In this study, Equations of state (EoS) have been used for matter distribution because of it gives the relationship among matter, temperature, pressure, energy for any space-time. Also, according to Capozziello et.al. (2006) "the quadratic equation of state could define the dark energy or unified dark energy." The quadratic equation of state in general form has been given as;

$$p = p_0 + \alpha\rho^2 - \beta\rho \quad (1)$$



here  $p$  and  $\rho$  respectively represent the pressure and the energy density. Also  $p_0$ ,  $\alpha$  and  $\beta$  are arbitrary parameters (Singh and Bishi, 2015). This Eq. (1) is first term of Taylor expansion of any equation of state of the form  $p = p(\rho)$  for  $\rho = 0$ . Ananda and Bruni (2006) have studied to isotropize the universe when the initial singularity is approached at early times for the anisotropic homogeneous and inhomogeneous cosmological models in general relativity by using the equation of state of the form

$$p = \alpha\rho + \frac{\rho^2}{\rho_c} \quad (2)$$

here  $\rho_c$  is a constant parameter (Singh and Bishi, 2015). Also,

the quadratic equation of state of form can be written by assuming  $p_0 = 0$  and  $\beta = 1$ , as follow (Reddy et.al., 2015).

$$p = \alpha\rho^2 - \rho \quad (3)$$

Reddy et.al. (2015) have investigated perfect fluid with quadratic EoS in GR for Bianchi type-I space-time. Also Singh and Bishi (2015) have worked Bianchi type-I space-time for  $f(R, T)$  gravitation theory with cosmological constant  $\Lambda$  by using quadratic EoS. Einstein field equations of Bianchi type-I space-time in Lyra gravitation theory with quadratic EoS have been solved by Şen and Aygün (2017). And Aygün et.al. (2019) have examined Marder universe in framework in  $f(R, T)$  theory with quadratic EoS of perfect fluid matter distributions. Bianchi type V universe with perfect fluid matter distribution has been investigated modified gravitation theory suggested by Harko et.al. (2011) containing cosmological constant  $\Lambda$  by Çağlar (2019).

Motivated by the aforesaid research, in this paper, Ruban universe have been investigated in  $f(R, T)$  modified theory with cosmological constant  $\Lambda$  in presence of perfect fluid matter distributions in the form of quadratic equations of state (EoS).

### **$f(R, T)$ Modified Gravitation Theory and Matter Distribution**

Harko et al. (2011) have suggested the action function of  $f(R, T)$  theory as given by

$$S = \int \left( \frac{f(R, T)}{16\pi G} + L_m \right) \sqrt{-g} d^4x \quad (4)$$

here  $R$  is the Ricci scalar curvature,  $T$  symbolizes the trace of energy-momentum tensor and  $L_m$  represents Lagrangian. Also,  $g$  represents the determinant of  $g_{ik}$ ,  $f(R, T)$  is the arbitrary function of  $R$  and  $T$  (Harko et al., 2011). The matter's energy momentum tensor is given by

$$T_{ik} = -\frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta(\sqrt{-g}L_m)}{\delta g^{ik}} \quad (5)$$

$L_m$  is assumed to be depending only  $g_{ik}$ , it is obtained

$$T_{ik} = g_{ik}L_m - \frac{2\partial L_m}{\partial g^{ik}} \quad (6)$$



By varying eq. (4) the following equation is obtained

$$f_R(R, T)R_{ik} - \frac{1}{2}f(R, T)g_{ik} + (g_{ik}\square - \nabla_i\nabla_k)f_R(R, T) = 8\pi T_{ik} - f_T(R, T)T_{ik} - f_T(R, T)\mathcal{E}_{ik} \quad (7)$$

where  $\nabla_i$  represents covariant derivative;  $\square = \nabla_i\nabla_i$ ,  $f_R(R, T)$  and  $f_T(R, T)$  purport of  $f(R, T)$  with respect to  $R$  and  $T$  (Harko et al., 2011). Also  $\mathcal{E}_{ik}$  is written as

$$\mathcal{E}_{ik} = -2T_{ik} + g_{ik}L_m - 2g^{\alpha\beta} \frac{\partial^2 L_m}{\partial g^{ik} g^{\alpha\beta}} \quad (8)$$

If eq. (7) is contracted, connection between  $R$  and  $T$  is obtained as

$$f_R(R, T)R + 3\square f_R(R, T) - 2f(R, T) = 8\pi T - f_T(R, T)T - f_T(R, T)\mathcal{E} \quad (9)$$

By using this equation with eq. (7) gravitational field equations is get as follow (Harko et al., 2011).

$$f_R(R, T)\left(R_{ik} - \frac{1}{3}Rg_{ik}\right) + \frac{1}{6}f(R, T)g_{ik} = (8\pi - f_T(R, T))\left(T_{ik} - \frac{1}{3}Tg_{ik}\right) - f_T(R, T)\left(\mathcal{E}_{ik} - \frac{1}{3}\mathcal{E}g_{ik}\right) + \nabla_i\nabla_k f_R(R, T) \quad (10)$$

Perfect fluid energy momentum tensor given by

$$T_{ik} = (\rho + p)u_i u_k - pg_{ik} \quad (11)$$

Here  $u_i$  is four velocity,  $\rho$  symbolizes the energy density and  $p$  represents the pressure (Aygün et.al., 2019). Also  $\mathcal{E}$  is obtained as;

$$\mathcal{E} = -2T_{ik} - pg_{ik} \quad (12)$$

$f(R, T)$  models could be solved by using three different  $f(R, T)$  gravity as follows (Çağlar, 2019).

$$f = \begin{cases} R + 2f(T) \\ f_1(R) + f_2(T) \\ f_1(R) + f_2(R)f_3(T) \end{cases} \quad (13)$$

The field equations of  $f(R, T)$  gravitation theory with cosmological constant are given as follow (Harko et al., 2011).

$$G_{ik} = [8\pi + 2\dot{f}(T)]T_{ik} + [2p\dot{f}(T) + f(T) + \Lambda]g_{ik} \quad (14)$$

Here the prime indicates differentiation with respect to the argument. If  $f(T)$  is chosen as  $f(T) = \mu T$  ( $\mu$  is a constant) eq. (14) turns into the following equation.

$$G_{ik} = [8\pi + 2\mu]T_{ik} + [\mu\rho - \mu p + \Lambda]g_{ik} \quad (15)$$

### Solutions of Field Equations for Ruben Universe

Ruben universe model which is one of the inhomogeneous and anisotropic universe model used to explain early time of the universe is given by

$$ds^2 = dt^2 - A(x, t)^2 dx^2 - B(t)^2 [dy^2 + C(y)^2 dz^2] \quad (16)$$

$$C(y) = \frac{\sin(y\sqrt{\kappa})}{\sqrt{\kappa}} = \begin{cases} \sin y \text{ if } \kappa = 1 \\ y \text{ if } \kappa = 0 \\ \sinh y \text{ if } \kappa = -1 \end{cases} \quad (17)$$

here  $A$  and  $B$  are scale factors,  $\kappa$  is curvature parameter (Ruban, 1969). And kinematical quantities (Kılınc, 2004) of Ruban universe respectively are expansion scalar, Hubble parameter and deceleration parameter given as;

$$\theta = \frac{A_t}{A} + \frac{B_t}{2B} \quad (18)$$

$$H = \frac{A_t}{3A} + \frac{2B_t}{3B} \quad (19)$$

$$q = \frac{-3AB^2 A_{tt} - 6A^2 B B_{tt} + 2(BA_t - AB_t)^2}{2(BA_t + AB_t)^2} \quad (20)$$

$f(R, T)$  field equations of Ruban universe in  $f(R, T)$  theory with perfect fluid is obtained as follows;

$$\frac{2B_{xx}}{B} + \frac{B_x^2}{B^2} + \frac{\kappa}{B^2} = -3p\mu + \rho\mu - 8\pi p + \Lambda \quad (21)$$

$$\frac{B_{xx}}{B} + \frac{A_{tt}}{A} + \frac{A_t B_x}{AB} = -3p\mu + \rho\mu - 8\pi p + \Lambda \quad (22)$$

$$\frac{B_x^2}{B^2} + \frac{2A_t B_x}{AB} + \frac{\kappa}{B^2} = 3\rho\mu - p\mu + 8\pi p + \Lambda \quad (23)$$

where subscript “ $t$ ” represents differentiation with respect to cosmic time. There are three field equations with six unknowns  $A$ ,  $B$ ,  $p$ ,  $\rho$ ,  $\kappa$  and  $\Lambda$ . In this study, curvature parameter  $\kappa$  must be zero ( $\kappa = 0$ ) because of flat universe model of Ruben metric have been chosen to solve the system. Also, relationship between metric potentials  $A$  and  $B$  have been assumed as follow.

$$A(x, t) = [x * B(t)]^m \quad (24)$$

here  $m$  is an arbitrary constant. By using eq. (24) and  $\kappa = 0$  in eqs. (21)-(23), field equations of the model have been obtained as follows.

$$\frac{2B_{tt}}{B} + \frac{B_t^2}{B^2} = -3p\mu + \rho\mu - 8\pi p + \Lambda \quad (25)$$

$$m^2 \frac{B_t^2}{B^2} + (m+1) \frac{B_{tt}}{B} = -3p\mu + \rho\mu - 8\pi p + \Lambda \quad (26)$$

$$(2m+1) \frac{B_t^2}{B^2} = 3\rho\mu - p\mu + 8\pi p + \Lambda \quad (27)$$

And metric potential  $B$  have been calculated from eq. (25) and eq. (26) as;

$$B = [(m+2)(b_1t + b_2)]^{\frac{1}{m+1}} \quad (28)$$

Also metric potential  $A$  have been get by using eq. (28) in eq. (24) as follow.

$$A = x^m [(m+2)(b_1t + b_2)]^{\frac{m}{m+1}} \quad (29)$$

By using eq. (28) in eqs. (25)-(27), new two field equations have been obtained as;

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{(m+2)^2(b_1t+b_2)^2} = 3p\mu - \rho\mu + 8\pi p - \Lambda \quad (30)$$

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{(m+2)^2(b_1t+b_2)^2} = 3\rho\mu - p\mu + 8\pi p + \Lambda \quad (33)$$

Now there are two field equations with three unknowns  $p$ ,  $\rho$  and  $\Lambda$ . To get solutions of these unknowns, quadratic equation of state given eq. (2) and eq. (3) have been used. Obtained solutions have been given as follows

**Case I :** Solutions for quadratic EoS given as eq. (2) ( $p = \alpha\rho + \frac{\rho^2}{\rho_c}$ )

If quadratic EoS given as eq. (2) is used in eq. (30) and eq. (31), the field equations of the constructed model have been get as follows;

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{[(m+2)(b_1t+b_2)]^2} = (3\mu + 8\pi) \left( \alpha\rho + \frac{\rho^2}{\rho_c} \right) - \rho\mu - \Lambda \quad (32)$$

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{[(m+2)(b_1t+b_2)]^2} = -\mu \left( \alpha\rho + \frac{\rho^2}{\rho_c} \right) + (3\mu + 8\pi)\rho + \Lambda \quad (33)$$

By solving eq. (32) and eq. (33), cosmological constant  $\Lambda$  and energy density  $\rho$  have been calculated as

$$\Lambda = 2\rho_c(2\pi + \mu)(\alpha + 1) + \frac{2b_1^2(2m+1)(2\pi+\mu)}{(4\pi+\mu)(m+2)^2(b_1t+b_2)^2} - \frac{2(2\pi+\mu)\sqrt{\rho_c\{(4\pi+\mu)[(m+2)(\alpha+1)(b_1t+b_2)]^2\rho_c+4b_1^2(2m+1)\}}}{(m+2)(b_1t+b_2)\sqrt{4\pi+\mu}} \quad (34)$$

$$\rho = \frac{\sqrt{\rho_c\{(4\pi+\mu)[(m+2)(\alpha+1)(b_1t+b_2)]^2\rho_c+4b_1^2(2m+1)\}}}{2(m+2)(b_1t+b_2)\sqrt{4\pi+\mu}} + \frac{(\alpha+1)\rho_c}{2} \quad (35)$$

And by using eq. (35) in eq. (2), cosmic pressure  $p$  has been obtained as

$$p = \frac{\sqrt{\rho_c\{(4\pi+\mu)[(m+2)(\alpha+1)(b_1t+b_2)]^2\rho_c+4b_1^2(2m+1)\}}}{2(m+2)(b_1t+b_2)\sqrt{4\pi+\mu}} + \frac{(\alpha+1)\rho_c}{2} + \frac{(2m+1)b_1^2}{(4\pi+\mu)[(m+2)(b_1t+b_2)]^2} \quad (36)$$

**Case III:** Solutions for quadratic EoS given as eq. (3) ( $p = \alpha\rho^2 - \rho$ )

If quadratic EoS given as eq. (3) is used in eq. (30) and eq. (31), the field equations of the constructed model have been get as follows;

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{[(m+2)(b_1t+b_2)]^2} = (3\mu + 8\pi)\alpha\rho^2 - 4\rho(2\pi + \mu) - \Lambda \quad (37)$$

$$\frac{(2m+1)b_1^2}{[(m+2)(b_1t+b_2)]^2} = -\mu\alpha\rho^2 + 4\rho(2\pi + \mu) + \Lambda \quad (38)$$

By solving eq. (37) and eq. (38), cosmological constant  $\Lambda$  and energy density  $\rho$  have been calculated as

$$\Lambda = 2(2\pi + \mu) \left[ \left( \frac{b_1\sqrt{\alpha(4\pi+\mu)(2m+1)}}{(4\pi+\mu)(m+2)(b_1t+b_2)} \right) - 2 \right] \left[ \frac{b_1\sqrt{\alpha(4\pi+\mu)(2m+1)}}{\alpha(4\pi+\mu)(m+2)(b_1t+b_2)} \right] \quad (39)$$

$$\rho = \frac{b_1\sqrt{\alpha(4\pi+\mu)(2m+1)}}{\alpha(4\pi+\mu)(m+2)(b_1t+b_2)} \quad (40)$$

And by using eq. (40) in eq. (3), cosmic pressure  $p$  has been obtained as

$$p = \frac{(2m+1)b_1^2}{(4\pi+\mu)(m+2)^2(b_1t+b_2)^2} - \frac{b_1\sqrt{\alpha(4\pi+\mu)(2m+1)}}{\alpha(4\pi+\mu)(m+2)(b_1t+b_2)} \quad (41)$$

## Discussions

In this study, anisotropic and inhomogeneous Ruban space-time has been investigated in presence of perfect fluid matter distribution in quadratic equation of state form for  $f(R, T)$  gravitational theory with cosmological constant  $\Lambda$ . And line element of flat Ruban space-time has been obtained for constructed model by using eqs. (28) and (29) in eq. (16) as follow

$$ds^2 = dt^2 - x^{2m}[(m+2)(b_1t + b_2)]^{\frac{2m}{m+1}} dx^2 - [(m+2)(b_1t + b_2)]^{\frac{2}{m+1}} [dy^2 + y^2 dz^2] \quad (42)$$

Here  $m$  is an important constant. In the case of  $m = -2$  or  $t = -\frac{b_2}{b_1}$  line element of flat Ruban universe with quadratic perfect fluid in  $f(R, T)$  theory given by Eq. (42) has singular points. And if  $m = -1$ , flat Ruban space-times becomes timeless universe for the model. Also, kinematic quantities of the model have been calculated as follows respectively expansion scalar, Hubble parameter and deceleration parameter

$$\theta = \frac{b_1}{b_1t + b_2} \quad (43)$$

$$H = \frac{b_1}{3b_1t + 3b_2} \quad (44)$$

$$q = 2 \quad (45)$$

Deceleration parameter  $q$  indicates whether the model accelerates or not. And if deceleration parameter  $q$  is positive constant ( $q > 0$ ), universe has decelerating expansion (Çağlar and Aygün, 2015). According to eq. (45) it can be say that constructed model indicates expanding or collapsing universe with deceleration depending on multiple selection of arbitrary constants. And time dependent cosmological constant  $\Lambda$  have been obtained in all solutions. Also, some discussions have been given for quadratic equation of state as follows.

**Case I:** In this case, eq. (2) has been used as quadratic equation of state (EoS). Total pressure  $p$  and total energy density  $\rho$  have been calculated as eqs. (35) and (36). According to these solutions:

- $p$  and  $\rho$  are inversely proportional to cosmic time  $t$ . Namely if cosmic time  $t$  increases, pressure and energy density decrease. Therefore, it can be say that Ruban universe is expanding with cosmic time for the constructed model
- In this paper when  $\mu = 0$ , we get Einstein General Relativity theory (GR) solutions of the model as follows.

$$\Lambda = 4\pi\rho_c(\alpha + 1) + \frac{b_1^2(2m+1)}{(m+2)^2(b_1t+b_2)^2} - \frac{4\pi\sqrt{\rho_c\{[(m+2)(\alpha+1)(b_1t+b_2)]^2\pi\rho_c+b_1^2(2m+1)\}}}{(m+2)(b_1t+b_2)\sqrt{\pi}} \quad (46)$$

$$\rho = \frac{\sqrt{\rho_c\{[(m+2)(\alpha+1)(b_1t+b_2)]^2\pi\rho_c+b_1^2(2m+1)\}}}{2(m+2)(b_1t+b_2)\sqrt{\pi}} + \frac{(\alpha+1)\rho_c}{2} \quad (47)$$

$$p = \frac{\sqrt{\rho_c \{[(m+2)(\alpha+1)(b_1 t + b_2)]^2 \pi \rho_c + b_1^2 (2m+1)\}}}{2(m+2)(b_1 t + b_2)\sqrt{\pi}} + \frac{(\alpha+1)\rho_c}{2} + \frac{(2m+1)b_1^2}{4\pi[(m+2)(b_1 t + b_2)]^2} \quad (48)$$

**Case II:** In this case, eq. (3) has been used as quadratic equation of state (EoS). Total pressure  $p$  and total energy density  $\rho$  have been calculated as eqs. (40) and (41). According to these solutions:

- $p$  and  $\rho$  are inversely proportional to cosmic time  $t$ . Namely if cosmic time  $t$  increases, pressure and energy density decrease. Therefore, it can be say that Ruban universe is expanding with cosmic time for the constructed model
- In this paper when  $\mu = 0$ , we get Einstein General Relativity theory (GR) solutions of the model as follows

$$\Lambda = 4\pi \left[ \left( \frac{2b_1 \sqrt{\alpha(2m+1)\pi}}{4\pi(m+2)(b_1 t + b_2)} \right) - 2 \right] \left[ \frac{2b_1 \sqrt{\alpha(2m+1)\pi}}{4\pi\alpha(m+2)(b_1 t + b_2)} \right] \quad (49)$$

$$\rho = \frac{2b_1 \sqrt{\alpha(2m+1)\pi}}{4\pi\alpha(m+2)(b_1 t + b_2)} \quad (50)$$

$$p = \frac{(2m+1)b_1^2}{4\pi(m+2)^2(b_1 t + b_2)^2} - \frac{2b_1 \sqrt{\alpha(2m+1)\pi}}{4\pi\alpha(m+2)(b_1 t + b_2)} \quad (51)$$

## References

- Riess, A. et.al. (1998). Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *Astron. J.*(116), 1009.
- Perlmutter, S. et.al. (1999). Measurements Of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae. *Astrophys. J.*(517), 565.
- Bernardis, P. de et.al. (2000). A Flat Universe from High-Resolution Maps of the Cosmic Microwave Background Radiation. *Nature* (404), 955-959.
- Lange A. E. et.al. (2001). First Estimtions of Cosmological Parameters From Boomerang. *Phys. Rev. D* (63), 042001.
- Spergel D. N. et al. (2003). First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)\* Observations: Determination of Cosmological Parameters. *Astrophys. J. Supplement* (148) 175.
- Lyra, G. (1951). Über eine Modifikation der Riemannschen Geometrie. *Math. Z.* (54), 52-64.
- Brans, C. H. and Dicke, R. H. (1961). Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation. *Phys. Rev.* (124), 925-935.
- Barber, G. A. (1982). On Two "Self-Creation" Cosmologies. *Gen. Relativ. Gravit.* (14), 117-136.
- Harko, T., Lobo, F.S.N., Nojiri, S. and Odintsov, S. D. (2011). f(R,T) Gravity. *Phys. Rev D* (84), 024020-0240230.
- Santos, A. F. (2013). GÖDEL Solution in f(R,T) Gravity. *Modern Physics Letters A* (28), Issue 32, id. 1350141-152.
- Rao, V. U. M. and Papa Rao, D. C. (2015). Bianchi Type-V String Cosmological Models in f(R,T) Gravity. *Astrophysics and Space Science* (357), Issue 1, article id.77, 5.

- Kanakavalli, T.; Ananda Rao, G. (2016). LRS Bianchi type-I String Cosmological Models in  $f(R,T)$  Gravity. *Astrophysics and Space Science* (361), Issue 7, article id.206, 6.
- Sahoo, P.K. (2017). Kaluza-Klein Universe Filled with Wet Dark Fluid in  $f(R,T)$  Theory of Gravity. *Acta Physica Polonica B, Proceedings Supplement* (10), No. 2, 369.
- Çağlar, H. and Aygün, S. (2017). Bianchi type-I universe in  $f(R, T)$  modified gravity with quark matter and  $\Lambda$ . *AIP Conference Proceedings* (1815), Issue 1, id.080008.
- Sahoo, P. and Reddy, R. (2018). LRS Bianchi Type-I Bulk Viscous Cosmological Models in  $f(R,T)$  Gravity. *Astrophysics* (61), Issue 1, 134-143.
- Aygün, S., Aktaş, C., Sahoo, P.K. and Bishi, P.K. (2018). Scalar Field Cosmology in  $f(R,T)$  Gravity with  $\Lambda$ . *Gravitation and Cosmology* (24), Issue 3, 302-307.
- Aktaş, C. (2019). Massive and Massless Scalar Field Models for Kaluza-Klein Universe in  $f(R,T)$  Gravity. *Modern Physics Letters A* (34), Issue 11, id. 1950066.
- Taşer, D. (2020). Conformally Symmetric Friedmann-Robertson-Walker Metric in  $f(R,T)$  Gravity. *Modern Physics Letters A* (35), No. 10, 2050067.
- Capozziello, S., Cardone, V. F., Elizalde, E., Nojiri, S. and Odintsov, S. D. (2006). Observational Constraints on Dark Energy with Generalized Equations of State. *Physical Review D*. (73), Issue 4, id. 043512-043527.
- Singh, G. P. and Bishi, B. K. (2015). Bianchi type-I Transit Universe in  $f(R,T)$  Modified Gravity with Quadratic Equation of State and  $\Lambda$ . *Astrophys. Space Sci.* (360), 34-41.
- Ananda, K. and Bruni, M. (2006). Cosmological Dynamics and Dark Energy with A Nonlinear Equation of State: A Quadratic Model. *Phys. Rev. D* (74), 023523.
- Reddy, D. R. K., Adhav, K. S. and Purandare, M. A. (2015). Bianchi Type-I Cosmological Model with Quadratic Equation of State. *Astrophys. Space Sci.* (357), pp. 5.
- Şen, R. and Aygün, S. (2017). Bianchi Type-I Universe in Lyra Manifold with Quadratic Equation of State. *AIP Conference Proceedings* (1815), Issue 1, id.080023.
- Aygün, S., Aktaş, C. and Mishra, B. (2019). Quadratic Equation of State Solutions with  $\Lambda$  in  $f(R,T)$  Gravitation Theory. *Indian Journal of Physics* (93), Issue 3, pp.407-414.
- Çağlar, H. (2019). Quadratic Equation of State Solutions for Bianchi Type-V Universe Model in  $f(R,T)$  Gravity. *AIP Conference Proceedings* (2178), Issue 1, id.030018.
- Ruban, V. A. (1969). Spherically Symmetric T-models in the General Theory of Relativity. *Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics* (29), 1027.
- Kılınc, C. B. (2004). Cosmological Models with Variable G and  $\Lambda$ . *Astrophysics and Space Science* (289), 103–109.
- Çağlar, H. and Aygün, S. (2015). Bulk Viscous String Cloud with Strange Quark Matter in Self Creation Cosmology. *IOSR Journal of Mathematics* (11), issue 6, 53-59.

# Kürlenme ve Kurutma Fırını Baca Gazı Atık Isısının Yenilenebilir Enerji Olarak Geri Kazanma Sistemleri

ÇAVUŞOĞLU Sezgin<sup>1</sup>, ATMACA Mustafa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Araştırmacı, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, (ORCID ID: 0000-0003-2008-1170)

<sup>2</sup>Profesör, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, (ORCID ID:0000 0003 3906 9606 )

## Öz

Enerjinin ekonomik ve sosyal refahın önemli belirtilerinden biri olması, hayat kalitesinin arttırılmasında önemli bir rolü olduğu bilinmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerden dolayı enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bu artış ile ülkeler enerjiye kolay, ucuz ve kesintisiz bir biçimde ulaşmak istemektedirler. Böylece ülkeler alternatif enerji kaynaklarına ve enerjiyi daha verimli kullanabilecekleri sistemlere yönelmişlerdir. Ülkemizde de bu tip sistemler için uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Özellikle enerji tüketimi fazla olan sanayi sektöründe enerjiyi daha verimli kullanmak için baca gazı atık ısısının geri kazanımı bu uygulamaların başında gelmektedir. Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta atmosfere baca gazı bırakan tesislerin yarattığı atık ısıların geri kazanılabileceği sistemler araştırılmış ve analiz edilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmanın en pratik yollarından birisi yüksek sıcaklıktaki atık baca gazından faydalanmaktır. Bacalardan geri kazanılan ısı, bir su kazanı tesisatındaki giriş hattına aktarılarak kazanın enerji tüketimi azaltılarak çalışma verimliliği artırılabilir. Bu çalışmada, bacalardan sağlanabilecek ısı geri kazanımı sistemleri ele alınmış ve temel özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Isı geri kazanım sistemleri, atık ısı, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği

## Abstract

It is known that energy is one of the important indicators of economic and social welfare and has an important role in increasing the quality of life. Especially in developing countries, the demand for energy is increasing due to the increasing population, industrialization and technological developments. With this increase, countries want to reach energy in an easy, cheap and uninterrupted way. Thus, countries have turned to alternative energy sources and systems where they can use energy more efficiently. Applications for such systems are also widespread in our country. Especially in the industrial sector with high energy consumption, recovery of flue gas waste heat is one of these applications in order to use energy more efficiently. In this study, the systems that can recover the waste heat generated by the facilities that release flue gas into the atmosphere at high temperatures have been researched and analyzed.

One of the most practical ways to benefit from renewable energy sources is to utilize high temperature waste flue gas. The heat recovered from the chimneys can be transferred to the inlet line in a water boiler installation, reducing the energy consumption of the boiler and increasing the operating efficiency. In this study, heat recovery systems that can be obtained from chimneys are discussed and their basic properties are evaluated.

**Key words:** Heat recovering, waste heat, recycble energy, energy efficiency

## I. GİRİŞ

Atık ısıdan enerji geri kazanımı sistemleri, baca gazı vb. gibi atmosfere bırakılan ısıların sıcak su besleme sistemlerine geri kazandırılmasına olanak sağlar. Atık ısıların kazanılabileceği farklı ortam ve şartlara göre ısı geri kazanım sistemleri çeşitlilik göstermektedir. Atık ısı geri kazanım sistemleri kurulmadan önce uygun olan sistem doğru analiz edilmeli ve seçilmelidir. Doğru seçim, daha fazla enerji kazanımı ve daha kısa sürede amortisman sağlamaktadır.

Enerji kaynaklarını; kullarılarına göre ve dönüştürülebilir ve ikincil enerji kaynakları parametrelerine ayrılmaktadır. Dışarıdan müdahale edilmemiş, böylece hiçbir değişime uğramamış enerji türü birincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak kaynakları başlıca; kömür, petrol, doğalgaz, güneş, rüzgar, hidrolik,



nükleer, biokütle ve dalgadır. Birincil enerji kaynağına dışarıdan bir müdahale ile değişime uğratılması, böylece farklı enerji çeşidine dönüşmesiyle oluşan enerji türüne ikincil enerji denilmektedir. Tükenir enerji kaynakları belli bir rezerv düzeyi olan ve gelecek süreçte tükeneceği öngörülen enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Bunlar başlıca fosil kaynaklı başlık adı altında kömür, doğalgaz, petrol olarak parametrelere ayrılmaktadır. Tükenmez enerji kaynağı ise uzun gelecek vaat eden, daimi kullanıma açık olan doğal yollar ile elde edilen yenilenebilir enerji anlamına gelmektedir [1].

Özellikle fosil kaynaklar yönünden fakir olan AB ülkeleri ve sanayisi gelişmiş uzak doğu ülkeleri ile enerji tüketimi devasa bir aşamada olan ABD bu kaynakların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması alanlarında liderlik etmişlerdir [2]. Diğer bir husus ise gelecek nesiller için fosil yakıtlardan, kömürün yaklaşık 250 yıl petrolün ise en fazla 50 yıl sonra tükeneceği bilindiğinde bunlara ikame olarak yeni enerji kaynaklarının bulunup değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır[3].

Ülkemiz mevcut enerji kaynakları dikkate alındığında kendi kendine yetebilen bir ülke olmadığı ortaya çıkmaktadır. Ancak Türkiye, stratejik bir coğrafi konumda olduğu için enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı olduğu söylenebilir. Türkiye, son zamanlarda bu önemli konumunu kullanarak sağladığı ekonomik büyümeye ile birlikte dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından biri olmuştur. Çin'den sonra en fazla enerji talep artışına sahip olan Türkiye'nin enerji tüketiminde fosil kaynaklardan; kömür, petrol ve doğalgazın payı oldukça yüksektir.

Petrol fiyatları çok yüksek değerlere çıktıktan sonra hızlı bir düşme gösterse de bu değerler bile enerji kullanımında "Verimlilik" kavramının önemini azaltmamıştır. Verimli olmayan enerji kullanımının küresel ısınmaya sebep olduğunu bugün ilkokuldaki öğrencilere bile hatırlatıyor olması, sektörde çalışan mühendislerin ve teknik elemanların konunun önemini anlamasına önemli katkısı olacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

Yoğuşmalı doğalgaz kazanları dışında tüm yakma sistemlerinde baca gazı sıcaklığı elde edilen sıcak su, buhar, kızgın yağ sıcaklığının 50 °C-100 °C üzerinde olması proses gereğidir; Demek ki baca gazı sıcaklıkları 180 °C-400 °C arasında değişmesi kaçınılmazdır. Bu enerji israfıdır. Enerji tasarrufu, enerji ekonomisi, ülkemizdeki toplam enerji tüketiminin % 40'ından fazlasını tüketen sanayimiz için mutlaka ele alınması gereken konuların başında gelmektedir. Burada bacadan atılan enerjilerin geri kazanımı için kullanılan bazı sistemlere değineceğiz.

Baca gazlarında her 20 °C'lik sıcaklık düşüşünün % 1 verim artışı sağladığı öngörülmektedir. Bacadan atılan "Atık Isı" kullanılabilir bir enerjidir. Burada "kalite" miktardan çok daha önemlidir çünkü kullanılan yakıttan çok ciddi tasarruf yapılabilmektedir.

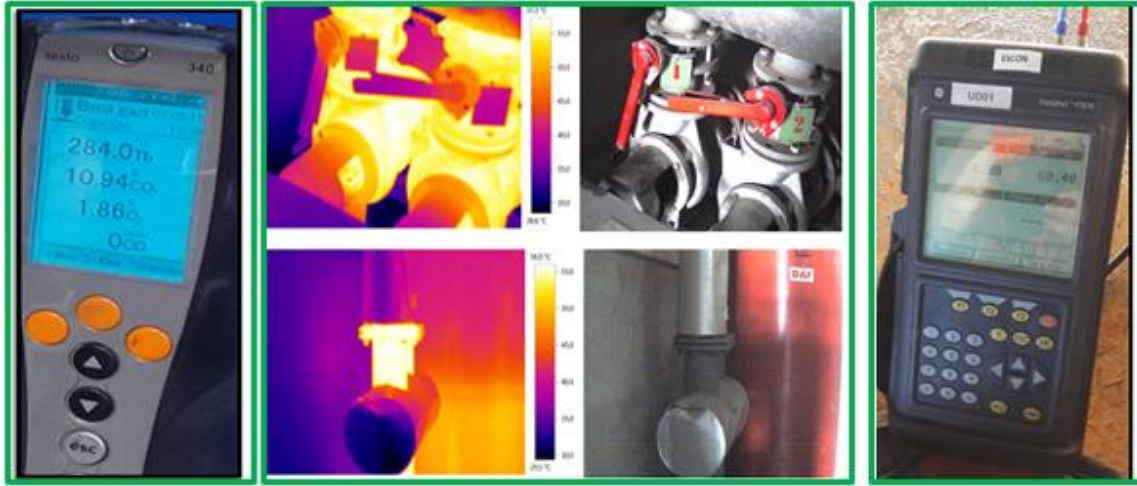
Genel olarak tesislerde baca gazı (atık gaz) sıcaklıkları;

Metal ve cam üretim tesislerinde 1000 °C – 1500 °C, Çimento sanayinde 700°C, Yakma tesislerinde 650 °C – 1000 °C, Buhar tesislerinde 230 °C – 480 °C, Gaz türbinlerinde 370 °C-540 °C, Gaz motorlarında 230 °C – 600 °C, Kurutma fırınlarında 230 °C – 650 °C olmaktadır [4].

Özelliklerine göre olmak üzere iki ayrı özellik adı altında toplanabilir. Kullanımlarına göre kendi içinde tükenir (yenilenemez) enerji kaynakları ve tükenmez (yenilenebilir) enerji kaynakları olarak parametrelere ayrılırken, dönüştürülebilir özelliğine göre de birincil

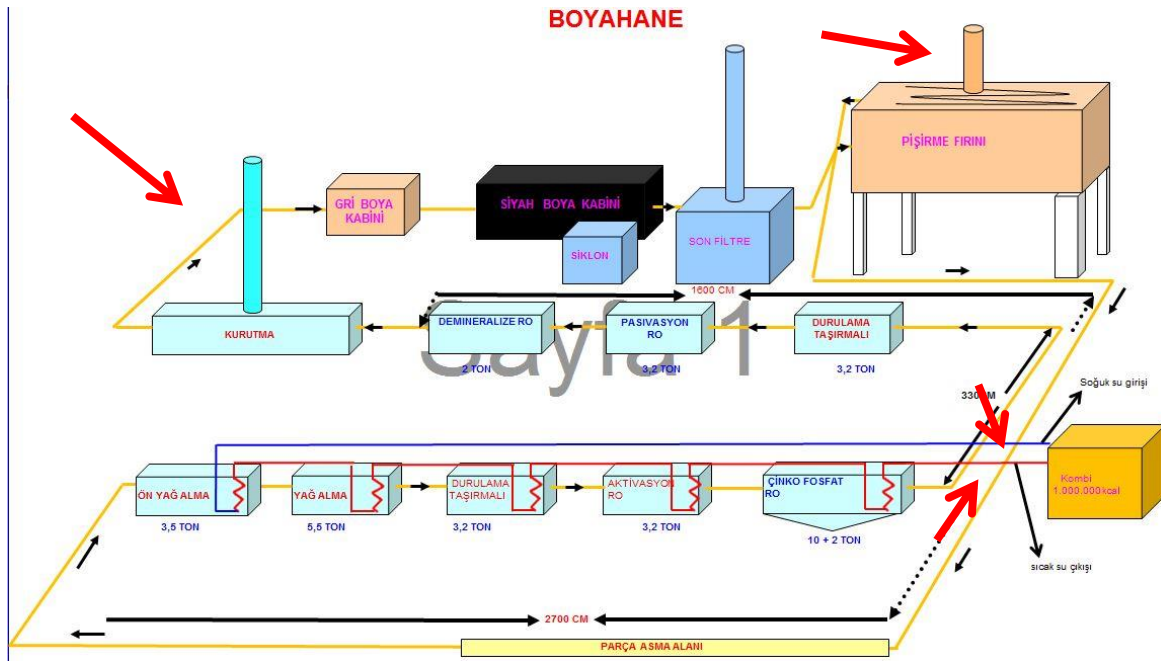
## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Şekil 1'de gösterilen ölçüm cihazları ile toz boya tesisinin kurutma, pişirme fırını bacaları ve kombi tesisatı sıcak su çıkış / soğuk su dönüş hatları belirli periyotlar ile ultrasonik ve termal olarak ölçülmüştür.



Şekil 1: Ultrasonik ve termal ısı ölçüm cihazları

Şekil 2’ de ölçüm yapılan noktalar tesisin minyatür görünüşü üzerinde kırmızı oklar ile gösterilmiştir. Çıkan ölçüm sonuçlarına göre tesisin fiziki durumu ele alınarak uygulanabilecek atık baca gazından enerji kazanımı sistemleri değerlendirilmiştir.



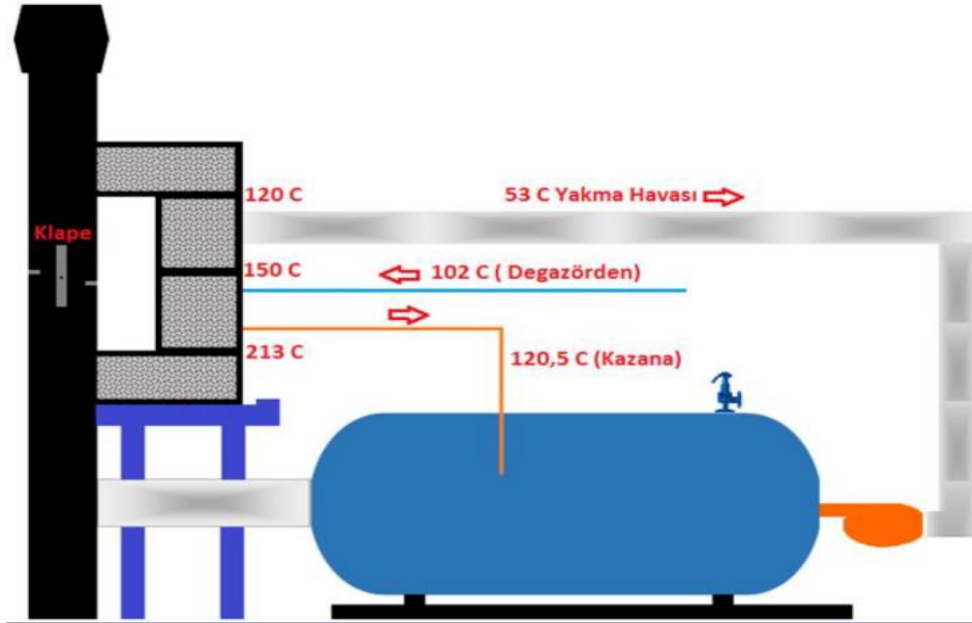
Şekil 2: Baca gazı ve kombi giriş çıkışında sıcaklık ölçümü yapılan tesisin şematik gösterimi

### III. ANALİZ

#### 3.1. Isı Dönüştürücüler

##### 3.1.1. Reküperatörler

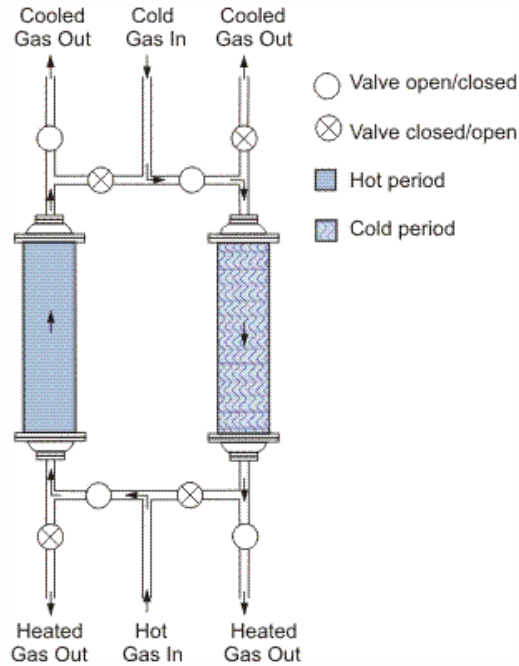
Reküperatör, havadan havaya ısı transferi sağlayan ısı geri kazanım sistemidir. Reküperatörde giren ve çıkan hava akımları bir cidar ile birbirinden ayrılır. İki hava akımının sıcaklık değerleri birbirinden farklı olduğu sürece, daha sıcak olan hava akımındaki ısı, cidar üzerinden daha soğuk olan hava akımına transfer edilir. Reküperatörler yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygundur. 600 °C ve üzeri sıcaklıklarda kullanılan bu ekipmanlar, metalik reküperatörler ile 1000 °C ye, seramik reküperatörler ile 1500 °C ye kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilir. Örnek bir reküperatör sisemi Şekil 3’ te gösterilmiştir [5]



**Şekil 3:** Örnek bir Reküperatör Sistemi

### 3.1.2. Rejeneratörler

Sıcaklığın doğrudan ve hemen bir tür bölme duvarından yapılmadığı, her ikisi de eşanjörden aynı anda akan ve sıcak bir akışkandan soğuk bir akışkana aktarım yapıldığı sistemlerdir. Rejeneratörlerde, sıcak ve soğuk sıvılar aynı anda ancak farklı bitişik kanallardan geçer [6]. Bu tip ısı değiştiricilerde ısı alışverişi doğrudan olmayıp, genellikle ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda muhafaza edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Şematik olarak gösterimi şekil 4'te verilmiştir.



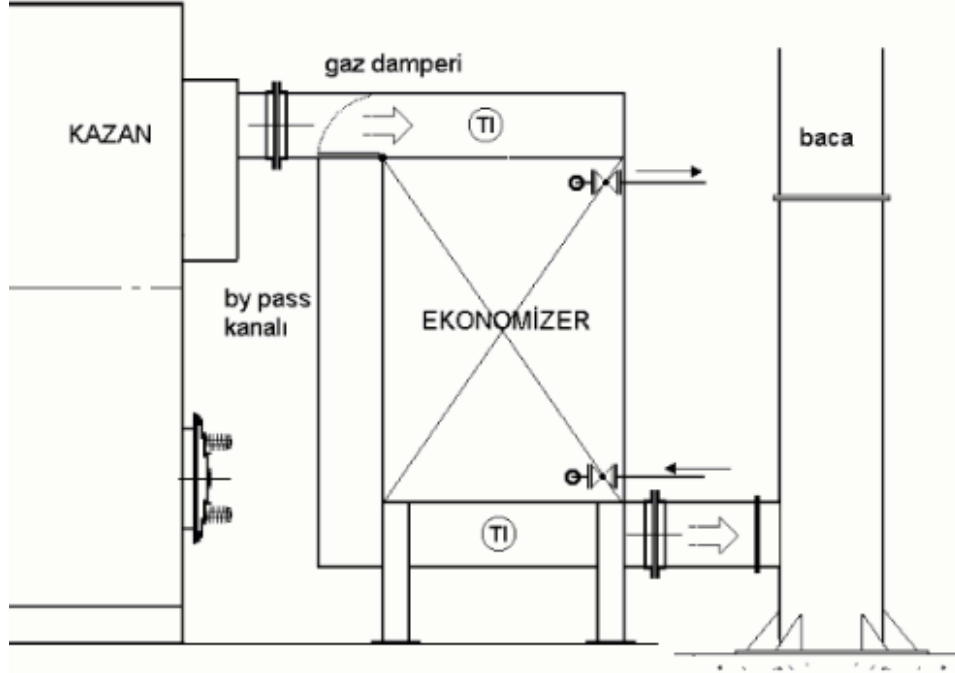
**Şekil 4:** Sabit Yatak Yenileyici Sistemi[7]

Rejeneratör içinde ısının depolandığı elemanlara ise dolgu maddesi veya matris adı verilir. Isı bu dolgu malzemesinden geçen akışkana verilir. Isı önce sıcak akışkan tarafından depolanmakta, daha sonra soğuk akışkana verilmektedir. Bu tip ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirleriyle temas etmezler.

### 3.1.2. Ekonomizerler

Ekonomizer ile ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan/fırınlardan çıkıp bacaya giden sıcak duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 15

arasında verim artışı sağlanır. Verim artışına bağlı olarak yakıttan tasarruf elde edilir [8]. Ekonomizerler, fırınlardan çıkarak bacadan atılan gazların sahip olduğu ısının bir kısmını, kendi üstlerine alarak suya iletmek, enerjiyi geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Şekil 5'te genel bir ekonomizer yerleşim şekli verilmiştir. Geri dönüştürülen ısı, kazan besleme suyuna aktarılabilir veya işletmede ısıtma, banyo, yıkama, vb. için kullanılan suya da aktarılabilir. Ekonomizer sisteminin bir diğer avantajı ise suyun ısıtılması esnasında, kazanda kirliliğe yol açacak yabancı maddelerin çökmesine ve kazana gitmeden sudan ayrışması sağlar. Ekonomizerde geri dönüştürülebilir ısı miktarı, kazan baca gazı çıkış sıcaklığına ve duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına bağlıdır. Kazandan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazandaki ısı verime, kazan rejimine, kazan-brülör uyumluluğu ve yakıt cinsiyle ilişkilidir. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı da, yakıt tipi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma şartları ile ilişkilidir. Yani bir ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına da bağlıdır diyebiliriz.



**Şekil 5:** Genel bir ekonomizer uygulaması yerleşim şekli [9]

Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıklarının farkı ne kadar büyük olursa verim artışı da o derece büyük olur. Ancak ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı belli bir sıcaklığın altına indiğinde korozyona sebep olabilecek asit gazları yoğunlaşmaya başlamaktadır. Bunu önlemek adına atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği göz önüne tutulmalıdır. Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılabilecek baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır. Bu sıcaklıklar:

- Fuel oil yakıtlı kazanlarda 180°C, %1 Kükürtlü 150°C
- Motorin yakıtlı kazanlarda 150°C,
- Doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110°C'ye kadar düşürülebilir.
- Doğal gaz yakıtlı kazanlarda 50- 60°C ye kadar yoğunlaşmalı sistemlerde düşürülebilir. Bu durumda ekonomizer paslanmaz malzemeden imal edilmelidir.
- Daha az yakılan yakıt ile doğaya daha az Co2 emisyonunu salınmaktadır. Daha çevreci sistemler oluşturulabilmektedir.
- Bir ekonomizerde, duman gazı giriş sıcaklığının doğalgaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140°C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220°C ve daha büyük sıcaklıklarda ekonomik olarak yararlanmak mümkündür.
- Ekonomizer uygulama alanları oldukça geniştir. Önemli olan, sistemden geri kazanılan ısının, sistemin çalışma süresi boyunca kullanılmasıdır [8].

#### IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonuçları, araştırılan ısı değıştircileri arasında ekonomizer sisteminin daha elverişli olduğunu göstermektedir. Tesisteki ısı akışının fiziki yapısı ( tesisat, baca sıcaklığı ve kazanılan ısının kullanılacağı ısı kazanı ) ekonomizer uygulaması için elverişlidir. Reküperatör uygulamalarının 1000 °C’ den büyük sıcaklıktaki sistemlerde kullanım için uygun olması ve rejeneratör sistemlerimde ise gaz’ dan gaza ısı transferi sağlandığı için endüstriyel toz boya tesislerindeki bacadan ısı kazanarak yüzey işlem banyolarına gönderilen suyu ısıtmada bu sistemlerin değerlendirilemeyeceği ortaya koyulmuştur.

#### KAYNAKÇA

- [1] Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi [Online], (07Temmuz2020), [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6\\_dunyadaveturkiyede.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6_dunyadaveturkiyede.pdf)
- [2 ] Yılmaz, M., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi,” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, (4), 33-54, (2012).
- [3] Bahar, O., “Türkiye’de Enerji Sektörü Üzerine Bir Değerlendirme”, *Muğla Üniversitesi SBE Dergisi*, (14), 35-59, (2005).
- [4] Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri [online], (05 Temmuz 2020) <https://www.termodinamik.info/atik-isi-geri-kazanim-sistemleri>
- [5] VAT, “Reküperatör nedir nasıl çalışır [online]”, (03 Temmuz 2020) <http://www.vat.com.tr/tr/rekuperator-nedir-nasil-calisir/>
- [6] THERMOPEDIA “REGENERATIVE HEAT EXCHANGERS [online]”, (12 Temmuz 2020) <http://www.thermopedia.com/content/1087>
- [7] Altınışık, K., Uygulamalarla Isı Transferi, Nobel Yayın Dağıtım, (2004)
- [8]“Ekonomizer : Atık Isının Geri Kazanılması [Online]”, (10 Temmuz 2020) <https://www.vat.com.tr/tr/ekonomizer-atik-isinin-geri-kazanilmasi/>
- [9]Demir Makina Ekonomizer Tanıtım Sayfası [online], (10 Temmuz 2019), [http://www.demirmakina.com/DEMIR%20MAKINA\\_Ekonomizerler.html](http://www.demirmakina.com/DEMIR%20MAKINA_Ekonomizerler.html).<https://arge7.com/detay2.asp?id=3370>

# Ekonomizer Sistemi Kullanılarak Atık Isı Geri Kazanılması

ÇAVUŞOĞLU Sezgin<sup>1</sup> ATMACA Mustafa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Araştırmacı, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölüm,  
(ORCID ID: 0000-0003-2008-1170)

<sup>2</sup>Profesör, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
(ORCID ID:0000 0003 3906 9606 )

## Öz

Enerjiye olan talep gelişen teknoloji ve artan nüfus yoğunluğu ile her geçen gün artmaktadır. Enerji harcanması kolay ancak üretimi zor olduğundan dolayı, firmalar enerji tüketen cihazlarında ( özellikle kullanımı zaruri ev aletlerinde ) her zaman daha az enerji tüketimi ile erişilebilecek maksimum fayda sağlayabilecek teknoloji ve sistemlere yönelmişlerdir. Mesken alanların yanı sıra endüstriyel işletmelerde de ürüne etki eden birim maliyeti düşürebilecek en büyük etkenlerden bir tanesi enerji olmuştur. Endüstriyel tesislerin yüksek ısılarda çalışması ve aynı şekilde yüksek sıcaklıklardaki ısıyı atık olarak tahliye etmeleri firmaları bu ısıya kullanmaya yöneltmiştir. Enerji kazanımı için girişimleri ve yatırımları olan firmalar daha az enerji ile daha büyük üretimler yapma olanakları elde etmiş, kendi pazarlarındaki varlıklarını sürdürmüştür.[1]

Ülkemiz, kısıtlı enerji üretimi ve yüksek enerji ithalatına sahip olması nedeni ile enerji verimliliğindeki öneme dikkat çekilmesi gerekli olan bir konumdadır. Enerjinin verimli kullanılmasını sağlayan sistemler ve tesislerin yaygınlaştırılması, üretim tesislerindeki sürdürülebilirlik ve mesken alanlardaki tüketim miktarlarının azaltılması gayri safi milli hasılda enerjiye ayrılan hacmin azalmasına ve ekonomik refah' a katkı anlamında önemli kazanımlar sağlayacaktır.

Bu anlayışı benimseyerek elektrostatik toz boya işlemi yapılan tesislerde kullanılmak üzere yüksek sıcaklıktaki atık baca gazını kullanarak ısı kazanımı sağlanmıştır. Tesis gereği olarak bir adet kurutma ve bir adet pişirme fırını kullanılmakta olup bu bacalardan yüksek sıcaklıkta baca gazı tahliye edilmektedir. Atık ısıdan faydalanacak ekonomizer sistemi kurularak bu bacalardan kazanılan ısı, yüzey işlem banyolarına sıcak su sağlayan kazan sistemine kazandırılmıştır ve kazanın ısıta yükü azaltılmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, enerji geri kazanımı, atık enerji, enerji sistemleri

## Abstract

The demand for energy is increasing day by day with the developing technology and increasing population density. Since energy consumption is easy but production is difficult, companies have always turned to technologies and systems that can provide maximum benefit with less energy consumption in their energy consuming devices (especially in household appliances). Energy has been one of the biggest factors that can reduce the unit cost affecting the product in industrial enterprises as well as in residential areas. The fact that industrial facilities operate at high temperatures and in the same way discharge the heat at high temperatures as waste has led companies to use this heat. Companies that have initiatives and investments for energy gain have had the opportunity to make larger productions with less energy, and have continued their presence in their own markets.

Our country is in a position to draw attention to the importance of energy efficiency due to its limited energy production and high energy import. The dissemination of systems and facilities that ensure efficient use of energy, sustainability in my production facilities and reduction of consumption in residential areas will provide significant gains in terms of contributing to the reduction of the gross national product, the volume allocated to energy and economic welfare.

By adopting this understanding, heat recovery has been achieved by using high temperature waste flue gas to be used in plants with electrostatic powder coating. One drying and one cooking furnace is used as a requirement of the facility, and high temperature flue gas is discharged from these chimneys.

By installing an economizer system to benefit from the waste heat, the heat gained from these chimneys was brought to the boiler system that provides hot water to the surface treatment baths, and the heat load of the boiler was reduced.

**Key words:** Energy efficiency, energy recovery, waste energy, energy systems

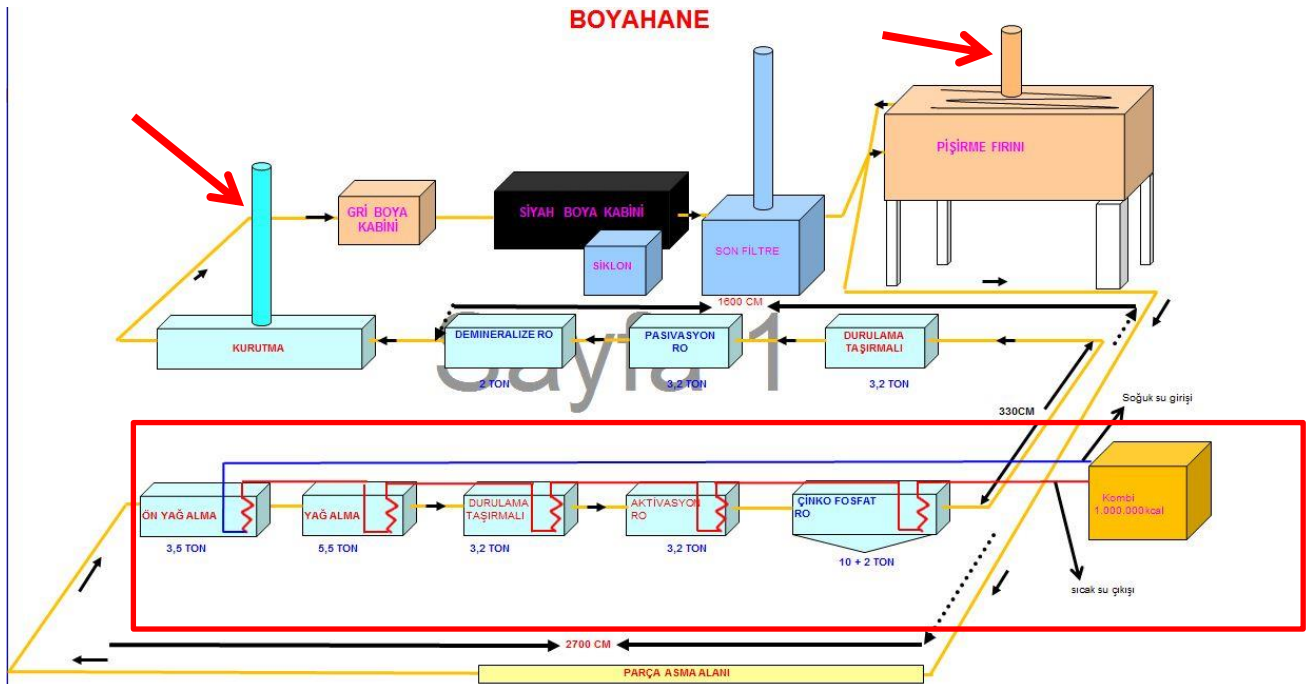
## I. GİRİŞ

Endüstriyel atık ısı, Ammar ve ark. Tarafından ekonomik olarak iyileştirilemeyen ısı olarak tanımlanmaktadır [2]. Bununla birlikte, atık ısı geri kazanımının ekonomikliği, ısı kaynağının nitelik ve niceliğine, geri kazanılan enerjinin nihai kullanımına ve tasarım yaklaşımlarına bağlıdır. Viklund ve Johansson, atık ısıyı endüstriyel proseslerin bir yan ürünü olarak tanımlamıştır [3]. Bendig ve ark., endüstriyel atık ısıyı, ısı geri kazanımından sonraki bir süreçte mevcut olan ısı olarak tanımlamaktadır [4]. Endüstriyel toz boya tesislerinde ise yüksek sıcaklık üretimi yapılan kurutma ve pişirme fırınlarından yan ürün sayılabilecek atık ısı atmosfere tahliye edilmektedir.

Bu tesislerde boyanması istenen metal parçalar, boyama safhasına gelene kadar birçok işlem görmektedir. Parçanın boyanabilmesi için öncelikle parçalar yağ alma banyolarından geçmektedir. Sonrasında metal yüzey üzerinde boyanın tutunabilmesi için çinkofosfat ile kimyasal tepkime sonucu yüzey aşındırma gerçekleştirilmektedir. Tepkime sonlandırılması için pasivasyon banyosundan geçen parçalar DI (deiyonize) su ile yıkanmaktadır. Boyama işlemine tüm parçalar tamamen kuru girmesi gerektiğinden dolayı boya işlemi öncesinde parçalar kurutma fırınından geçirilerek üzerinde kalan su kurutulmaktadır. Bu şekilde boya kabininden geçen ve boyanan parçalar mamul hale gelebilmesi için pişirme fırınından geçerek toz boyanın pişmesi sağlanmaktadır. Son olarak fırın çıkışında pişirme operasyonunda parçalar üzerine transfer olan ısınnın deşarj edilmesi için soğutma bölümünden geçerek montajlamaya uygun hale gelmektedir.[5] Tüm bu proseslerin sağlanması için sıcak su ve yüksek sıcaklıktaki ortamlar gerekmektedir. Bu tesiste kullanılan kurutma ve baca fırınlarından çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlar ekonomizer sistemleri ile sıcak su üretim tesislerinde kullanılan suya aktarılarak enerji geri kazanımı potansiyeli görülmüştür.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

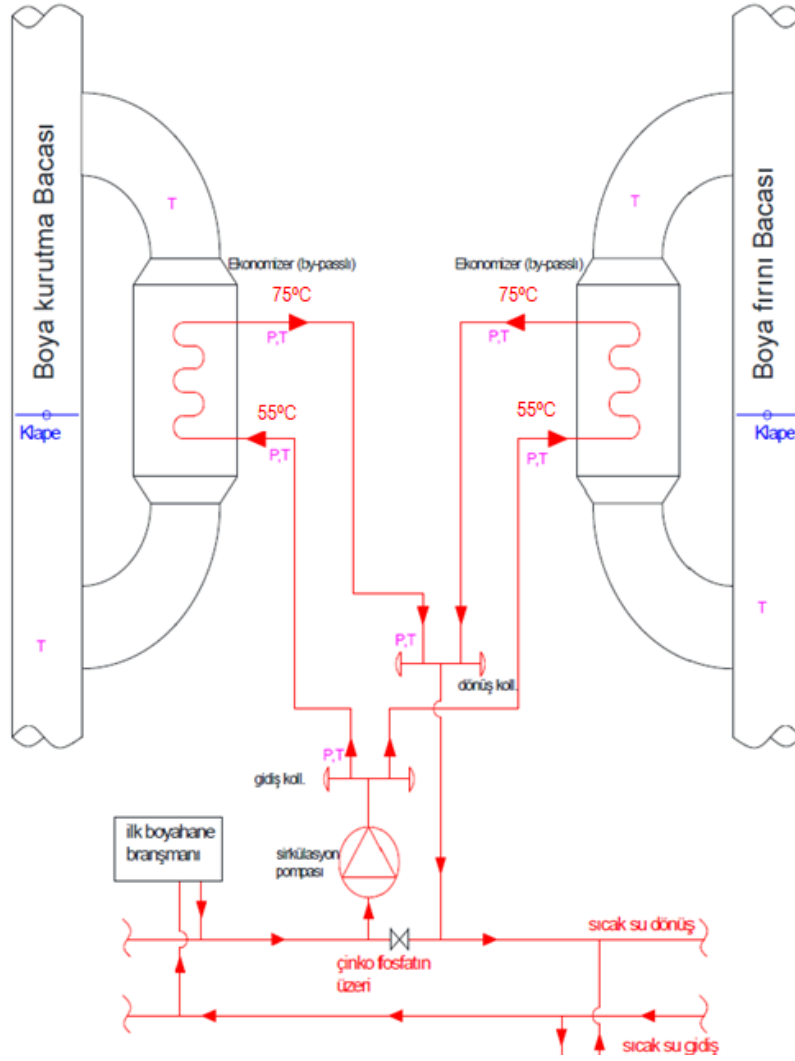
Şekil 1’de tesisin minyatür görünüşü üzerinde kırmızı oklar yüksek atık ısı tahliyesi olan bacalar gösterilmektedir. Bu bacalardan elde edilebilecek ısı geri kazanımının kullanılacağı sıcak su sistemi kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.



**Şekil 1:** Isı geri kazanım sistemi uygulanmamış haldeki toz boya tesisi

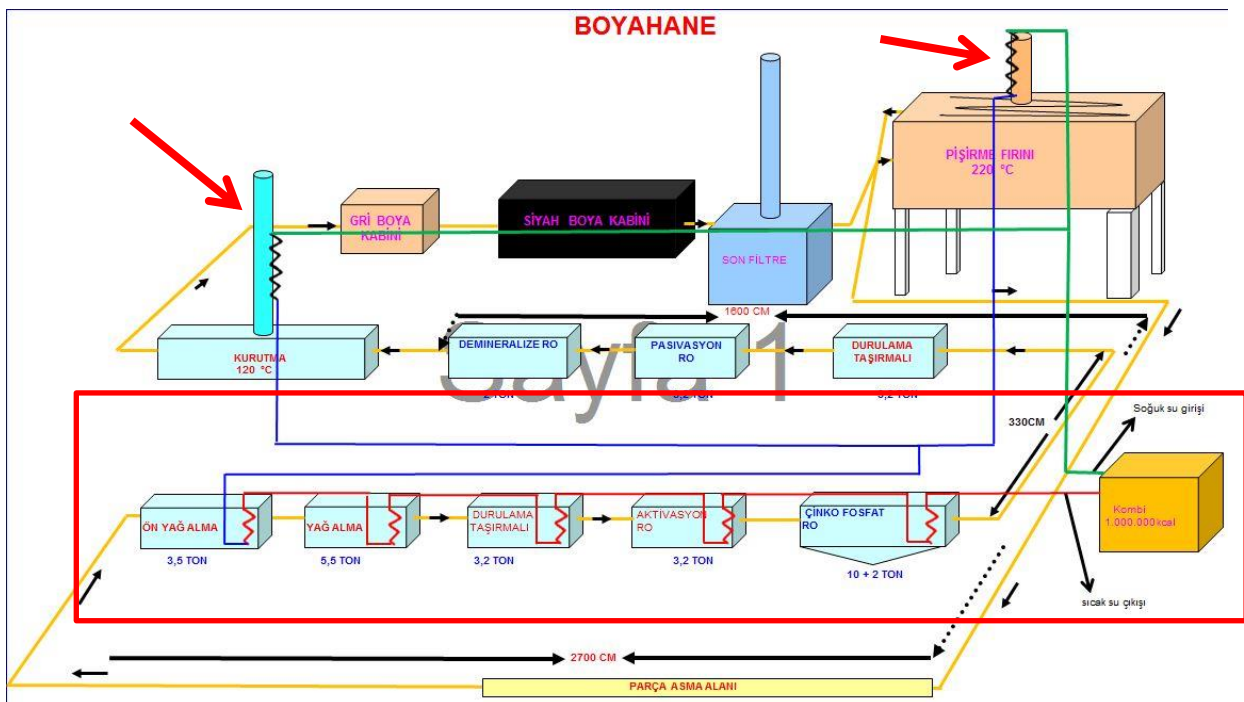
Şekil 1’ de gösterilen tesisin bacalarına yerleştirilen ekonomizer sistemi ile yüzey işlem banyolarına sıcak su sağlayan sistemdeki geri dönüş suyu ısıtılarak kombinin suyu ısıtma aralığı azaltılmış ve atık ısıdan enerji geri dönüşümü sağlanmıştır. Uygulanan ekonomizer sistemine ait şematik gösterim Şekil 2’ de gösterilmiştir.





**Şekil 2:** Atık ısı bacalarına uygulanan ekonomizer sistemi şematik gösterimi [6]

Ekonomizer sistemi adaptasyonu sonucunda üretim alanındaki sıcak su tesisatının ve tesisin son durumu şekil 3' te gösterilmiştir.





**Şekil 3:** Ekonomizer ile enerji geri kazanım sistemi uygulanan tesisin şematik gösterimi

### III. ANALİZ

Sıcak su kazanımı giriş çıkış sıcaklıkları ve kazanın kapasitesi göz önüne alınarak kazanın ısıtma yükü hesaplanmıştır.

Veriler;

Sıcak Su Sirkülasyon Debisi : 68.500 kg/s (Ultrasonik Debimetre Ölçümü)

Sıcak Su Kazan Giriş Sıcaklığı : 54,2 °C (Daldırma Tip Termometre Ölçümü)

Sıcak Su Kazan Çıkış Sıcaklığı : 56,9 °C (Daldırma Tip Termometre Ölçümü)

$C_{avg}$  ( ortalama 50 °C’ deki su) : 4,18 Kj/kg

Bu verilere bağlı olarak yapılan ısıtma yükü ve erim hesabı;

Isıtma Yükü Hesabı;

$$Q_{ısıtma\ yükü} = m \times \Delta h \quad (3.1)$$

$$\Delta h = cp \times \Delta T \quad (3.2)$$

$$Q_{ısıtma\ yükü} = m \times cp \times \Delta T \quad (3.3)$$

$$1\ kcal = 4,1868\ kJ$$

$$Q_{ısıtma\ yükü} = 68.500 \times 1 \times 2,7 = 184.950\ kcal/s$$

Yakıt Reaksiyon Isısı Hesabı;

Kazan Doğalgaz Tüketimi (V) : 23,367 Sm<sup>3</sup>/h (Anlık sayaç verisi)

Yakıt Alt Isıl Değer (Bu) : 8.250 kcal/Sm<sup>3</sup>

$$Q_{reaksiyon\ ısısı} = m \times \Delta h \quad (3.4)$$

$$Q_{reaksiyon\ ısısı} = 23,367 \times 8250 = 192.778\ kcal/s$$

$$Termal\ verim = \frac{faydalı\ ısı}{verilen\ ısı} \quad (3.5)$$

$$Kazan\ verimi(\eta_{kazan}) = \frac{173.500}{192.778} = 0,90 = \%90$$

Kurulan ekonomizer sistemi ile birlikte soğuk su giriş sıcaklığını ısıtılmak istenen değere yaklaştırarak, 23.367 Sm<sup>3</sup>/h olan doğalgaz tüketimi aşağıya çekilerek tasarruf sağlanmıştır.

Kurutma ve pişirme fırını bacalarındaki ortalama sıcaklık değerleri baz alınarak ekonomizer’ in sağladığı kazanç hesaplanmıştır.

### Kurutma Fırını Tasarruf Hesabı;

Veriler;

Baca Gazı Debisi : 1416 m<sup>3</sup>/h

Baca Gazı Sıcaklığı : 190,8 °C

Baca Gazı Ekonomizer Çıkış Sıc. : 120 °C (Karar verilen sıcaklık)

$C_{avg}$  (Egzoz) : 0,326 kcal/Nm<sup>3</sup>

Ekonomizer Verimi( $\eta_{ekonomizer}$ ) : 0,95

Hesaplar;

$$Q_1 = m \times c \times \Delta T \quad (3.3)$$

$$Q_1 = 1416 \times 0,326 \times (190,8 - 120) = 32.680\ kcal/s$$

$$Elde\ Edilecek\ Faydalı\ Isı\ (Q_2\ kurutma) : Q_2\ kurutma = Q_1 \times \eta_{ekonomizer} \quad (3.6)$$

$$Q_{2kurutma} = 32.680 \times 0,95 = 31.046 \text{ kcal/s}$$

Ekonomizerde Isıtılacak Su Debisi;

Sıcak Su Eko Giriş Sıcaklığı : 55 °C (Karar verilen dizayn parametresi)

Sıcak Su Kazan Çıkış Sıcaklığı : 75 °C (Karar verilen dizayn parametresi)

$C_{avg}$  (ortalama 50 °C' deki su) : 4,18 Kj/kg

$$Q_{ekon.kurutma} = m \times cp \times \Delta T \quad (3.3)$$

$$m = \frac{Q_{ekon.kurutma}}{cp \times \Delta T} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{31.046}{1 \times 20} = 1.550 \text{ kg/s}$$

Bu ısıyı kazanda üretseydik harcanacak yakıt debisi;

$$V_{yakıt,kurutma} = \frac{Q_{2kurutma}}{\eta_{kazan \times Bu}} \quad (3.8)$$

$$V_{yakıt,kurutma} = \frac{31.046}{0,9 \times 8250} = 4,18 \text{ Sm}^3/\text{s}$$

### Piştirme Fırını Tasarruf Hesabı;

Veriler;

Baca Gazı Debisi : 916 m<sup>3</sup>/h

Baca Gazı Sıcaklığı : 306,2 °C

Baca Gazı Ekonomizer Çıkış Sıc. : 120 °C (Karar verilen sıcaklık)

$C_{avg}$  (Egzoz) : 0,326 kcal/m<sup>3</sup>

Ekonomizer Verimi ( $\eta_{ekonomizer}$ ) : 0,95

Hesaplar;

$$Q_1 = m \times c \times \Delta T \quad (3.3)$$

$$Q_1 = 916 \times 0,326 \times (306,2 - 120) = 55.600 \text{ kcal/s}$$

$$\text{Elde Edilecek Faydalı Isı (} Q_{2piştirme} \text{)} : Q_{2piştirme} = Q_1 \times \eta_{ekonomizer} \quad (3.6)$$

$$Q_{2piştirme} = 55.60 \times 0,95 = 52.820 \text{ kcal/s}$$

Ekonomizerde Isıtılacak Su Debisi;

Sıcak Su Eko Giriş Sıcaklığı : 55 °C (Karar verilen dizayn parametresi)

Sıcak Su Kazan Çıkış Sıcaklığı : 75 °C (Karar verilen dizayn parametresi)

$C_{avg}$  (ortalama 50 °C' deki su) : 4,18 Kj/kg

$$Q_{ekon.piştirme} = m \times cp \times \Delta T \quad (3.3)$$

$$m = \frac{Q_{ekon.piştirme}}{cp \times \Delta T} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{52820}{1 \times 20} = 2.641 \text{ kg/s}$$

Bu ısıyı kazanda üretseydik harcanacak yakıt debisi;

$$V_{yakıt,piştirme} = \frac{Q_{2piştirme}}{\eta_{kazan \times Bu}} \quad (3.8)$$

$$V_{yakıt,piştirme} = \frac{52.820}{0,9 \times 8250} = 7,11 \text{ Sm}^3/\text{s}$$

Tüketilen doğalgaz ve kazanılan enerji ele alındığında yıllık çalışma saatine göre elde edilecek doğalgaz kazancı hesaplanmıştır.

### Yıllık Tasarruf;

Saatlik tasarruf ( $S_{\text{saatlik}}$ ):

$$S_{\text{saatlik}} = V_{\text{yakıt,kurutma}} + V_{\text{yakıt,pişirme}} \quad (3.9)$$

$$S_{\text{saatlik}} = 4,18 + 7,11 = 11,29 \text{ Sm}^3/\text{s}$$

Doğal gaz alt ısı değeri 8.250kcal/Sm<sup>3</sup> için geri kazanılacak ısı;

$$S_{\text{kazanç}} = \frac{S_{\text{saatlik}}}{860} \times Bu \quad (3.10)$$

$$S_{\text{kazanç}} = \frac{11,29}{860} \times 8.250 = 108,3 \text{ kW}$$

2019 Ocak ayı için KDV hariç birim kW's maliyeti 0,129 TL/kW's üzerinden hesaplanırsa

$$\text{Saatlik tasarruf} : S_{\text{kazanç/saat}} = 108,3 \times 0,129 = 13,97 \text{ TL/s} \quad (3.11)$$

$$\text{Yıllık Çalışma Saati} : 300_{\text{gün}} \times 24_{\text{saat}} = 7200 \text{ saat/yıl} \quad (3.12)$$

$$\text{Yıllık Tasarruf} = S_{\text{yillik}} = 13,97 \times 7200 = \mathbf{100.590 \text{ TL/yıl}} \quad (3.13)$$

## IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonuçları, yıllık doğalgaz tüketiminde ciddi bir kazanç sağlamıştır. Bu gibi uygulamaların artırılması hem firmaların maddi kaynaklarının korunmasında hem de ülke milli servetinin korunmasında önemli rol oynamaktadır. Maddi kazançların yanı sıra tüketimdeki azalma doğadaki kirlenme miktarına da olumlu etki etmektedir. Bu örnek temel alınarak, özellikle büyük işletmeler atıklarını inceleyerek enerji geri kazanımı potansiyeli olan noktaları iyi analiz etmelidirler. Bu ve benzeri enerji geri kazanım sistemlerine yönelme dünya genelinde yaygın olsa da uygulama olarak aynı durumdan söz etmek mümkün değildir. Ülkemizde, enerji geri kazanım prensiplerini benimseyerek uygulamaları artırır ve yaygınlaştırırsak, endüstride enerji geri kazanım sistemlerinde önde gelen ülkelerden biri olabilir hatta sistem kurma konusunda uzman bir konuma gelebiliriz.

## KAYNAKÇA

International Energy Agency, “The International Energy Agency”, IEA Key World Energy Statistics, 6-8, (2013).

Ammar Y., Joyce S., Norman R., Wang Y. and Roskilly AP., “Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK”, Applied Energy, 89, 3–20, (2012).

Viklund, S. B. and Johansson, M. T., “Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO emission reduction”, Energy Conversion and Management, 77, 369–379, doi: 10.1016/j.enconman.2013.09.052, (2014).

Bendig M., Marechal F. and Favrat D., “Defining ‘Waste heat’ for industrial processes”, Applied Thermal Engineering, 61(1), 134–42, (2013).

Berk teknik “Elektrostatik Toz Boya Nedir?” [Online], (07Temmuz2020),

[https://www.berkteknik.com.tr/page/blog\\_detay/18/elektrostatik-toz-boya-nedir.html](https://www.berkteknik.com.tr/page/blog_detay/18/elektrostatik-toz-boya-nedir.html)

Ünlü, O., “Endüstriyel Toz Boya Tesisindeki Verimlilik İncelemesi Teknik Raporu”, (2020).

# Saez-Ballester Teoride Domain Wall Bulunan Einstein-Rosen Evreni

Doğukan TAŞER ve Melis ULU DOĞRU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Çanakkale, Türkiye  
 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Çanakkale, Türkiye  
 dogukantaser@comu.edu.tr  
 melisulu@comu.edu.tr

## Öz

Bu çalışmada, Saez-Ballester skaler tensör teoride domain wall varlığında statik olmayan Einstein-Rosen evrenini inceledik. İlk olarak, domain wall bulunan statik olmayan Einstein-Rosen evreni için alan denklemleri Saez-Ballester skaler tensör teorisinde elde edildi. Daha sonra, teoride herhangi bir yaklaşım veya kısıtlama dikkate alınmadan alan denklemlerinin tam çözümleri elde edildi. Domain wall varlığındaki statik olmayan Einstein-Rosen evreninin davranışları, alternatif yerçekimi teorilerindeki diğer çözümlerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıca elde edilen çözümler ışığında kinematik nicelikler analiz edildi. Kozmik madde dağılımının evrimi, grafiksel gösterimler yardımıyla analiz edildi. Aynı zamanda skaler alanın zamanla değişimi elde edildi. Son olarak, oluşturulan model geometrik ve fiziksel bir bakış açısıyla tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Saez-Ballester Teori, Domain Wall, Skaler Tensor Teori, Alternatif Teori, Topolojik Kusur*

## Abstract

In this study, we have investigated non-static Einstein-Rosen universe in the presence of domain wall in Saez-Ballester scalar tensor theory. Firstly, field equations of non-static Einstein-Rosen universe with domain wall have been obtained in Saez-Ballester scalar tensor theory. Then, exact solutions of field equations have been attained without considering any approximation or restriction in theory. Behaviors of non-static Einstein-Rosen universe in the presence of domain wall have been analyzed. Also, kinematical quantities are analyzed in the light of obtained solutions. Evolution of cosmic matter distribution has been analyzed by the help of graphical representations. At the same time, changing of scalar field with time has been investigated. Finally, constructed model is concluded with a geometric and physical perspective.

**Keywords:** *Saez-Ballester Theory, Domain Wall, Scalar Tensor Theory, Alternative Theory, Topological Defect*

## Giriş

Son yıllarda alternatif gravitasyon teorileri oldukça büyük bir ilgi görmektedir. Bunun nedeni, Einstein gravitasyon teorisinin kozmolojideki bazı önemli sorunları çözmeye noktasında zorlanmasıdır. Örneğin, genel görelilik Mach prensibini tam olarak kapsamaz (Kiran vd., 2014). Skaler tensör teorilerin, Plank ölçeğine yakın gravitasyonel etkileşimleri tanımlamak için kullanışlı olduğu düşünülmektedir. Sicim teorisi, genişletilmiş enflasyon (şişme) dönemi ve birçok yüksek mertebeden teori skaler alana işaret eder (Rao, 2011). Brans ve Dicke (1961) tarafından Einstein gravitasyon teorisinin Mach prensibini tam olarak kapsamaması dikkate alınarak Brans-Dicke skaler tensör teori önerilmiştir. Bunu yapmak için Brans ve Dicke (1961), temel parçacıkların eylemsizlik kütlelerinin hareket halindeki maddenin büyük ölçekli dağılımıyla birleşmiş bazı kozmik skaler alanlarla etkileşimini varsayarak Mach'ın ilkesini geliştiren skaler tensör teori formüle etmiştir. Brans-Dicke teori metrik tensör  $g_{ij}$  ve boyutsuz bir çiftlenim sabiti  $\omega$  ve bir skaler alan  $\phi$  sunar. Brans-Dicke teori çiftlenim sabitinin  $\omega > 500$  durumunda genel görelige indirgenmektedir (Rao, 2011). Saez ve Ballester (1986), karanlık madde problemini çözmek için metriğin boyutsuz bir skaler alan  $\phi$  ile basit bir şekilde birleştirildiği bir skaler tensör gravitasyon teorisi geliştirdiler. Saez-Ballester gravitasyon teorisinde, metrik bir skaler alan ile kompaktife olmuş ve bu skaler alan tatmin edici bir şekilde zayıf alanları tanımlarken düz olmayan Friedmann-Robertson-Walker kozmolojilerindeki eksik madde problemlerini ortadan kaldırır (Tripathy vd., 2009). Bunun nedeni, teoride yer alan skaler alanın boyutsuz karakterine rağmen bir anti yerçekimi etkisine sahip olmasıdır (Raju vd., 2016). Saez-Ballester teorideki modellerin çeşitli yönleri kozmolojik açıdan detaylı olarak incelenmiştir (Reddy vd., 2006; Adhav

vd., 2007; Tripathy vd., 2008; Rao vd., 2008; Rao vd., 2011; Naidu vd., 2012; Jamil vd., 2012; Rao vd., 2012; Pradhan vd., 2013; Kiran vd., 2014).

Saez-Ballester skaler tensör teorini alan denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$R_{ij} - \frac{1}{2}Rg_{ij} - \omega\phi^{\nu} \left( \phi_{,i}\phi_{,j} - \frac{1}{2}g_{ij}\phi_{,l}\phi^{,l} \right) = T_{ij}. \quad (1)$$

Aynı zamanda skaler alan aşağıda verilen denklemi sağlamalıdır:

$$2\phi^{\nu}\phi_{;i}^i + \nu\phi^{\nu-1}\phi_{,l}\phi^{,l} = 0. \quad (2)$$

Aynı zamanda (1) ve (2) denklemlerinin sonucu olarak

$$T_{;i}^{ij} = 0 \quad (3)$$

koşulu da sağlanmaktadır. Burada, (i, j, k...) alt indisi ifade ederken,  $\nu$  altındaki terimin üssünü ifade etmektedir. (1) ve (2) ile verilen denklemlerde  $\omega$  sabittir.  $T_{ij}$  enerji-momentum tensörü,  $R_{ij}$  Ricci eğrilik tensörü,  $R$  ise eğrilik skaleri olarak adlandırılır. Denklemlerde virgül ve noktalı virgül sırasıyla kısmi ve kovaryant türevi ifade eder.

Evrenin evrimi sırasında çok erken aşamada çeşitli faz geçişlerine sahip olduğu yaygın olarak kabul görmektedir. Faz geçişleri sırasında evrenin simetrisi kendiliğinden bozulur ve bununla topolojik kusurlar ortaya çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Monopol, kozmik sicim, domain wall ve texture gibi topolojik kusurlar kozmolojik açıdan oldukça fazla dikkat çekmektedir. Hill vd. (1989) yaptıkları çalışmada geç zaman faz geçişi sırasında kalınlık domain wall'arın üretilebileceğini ve yeni bir galaksi oluşumu senaryosu üzerine etkisini araştırmıştır. Vilenkin (1981) ilk olarak, düzlemsel simetriye sahip sonsuz thin domain wall'un gravitasyon alanı statik bir metrik ile tanımlanamayacağını düşündü. Daha sonra Widrow (1989), thick domain wall'un normal bir statik metrik ile tanımlanabileceğini gösterdi. Bu bakış açısı ile statik olmayan metrikler thick domain wall tanımlaması için daha uygun olabileceği düşünülmektedir. Domain wall iki şekilde incelenebilir. İlki potansiyeli olan bir skaler alan içeren bir enerji momentum tensörü ile tanımlamaktır (Vilenkin, 1981). İkinci yol ise domain wall'u ideal akışkana iliştilmiş bir enerji-momentum tensörü ile tanımlamaktır (Yılmaz, 2005).

Silindirik simetrik metrikler, evrenin şu anki aşaması yerine erken aşamalarını ifade etme amaçlıdır. İyi bilinen silindirik simetrik evrenlerden bir tanesi de Einstein-Rosen evrenidir. Einstein-Rosen evreninde uzaysal homojenlik bir yönde bozulur ve Einstein-Rosen evrenleri, iki boyutlu uzay benzeri yörüngelerde hareket eden bir Abelian izometri grubu olan  $G_2$ 'yi kabul eder (Clancy vd., 1999). Uzaysal olarak homojen olan Bianchi kozmolojilerinin doğal bir genellemesini temsil ederler (Tomita, 1978). Evrenin ilk aşamaları bu arka planlarla analiz edilebilir (Adams vd., 1982; Adams vd., 1985). Bu özellikler göz önüne alınarak Einstein-Rosen evreni araştırmacılar tarafından skaler tensör teoriler dikkate alınarak derinlemesine incelenmiştir. Reddy vd. (2006) Saez-Ballester teori kapsamında ideal akışkan bulunan Einstein-Rosen evrenini incelemiştir. Statik vakum modeli ve statik olmayan stiff akışkan modeli için alan denklemlerinin çözümlerini elde etmişlerdir. Reddy (2006) sicim varlığında Einstein-Rosen evrenini Saez-Ballester teori kapsamında araştırmıştır. Statik durumda geometrik sicim bulunmazken, statik olmayan modelin teori kapsamında var olmadığını göstermişlerdir. Katore ve Shaikh (2011) sicim bulunan Einstein-Rosen evrenini Barber'ın ikinci Self-Creation teorisi kapsamında incelemiştir. Statik vakum modeli ile standart şekilde yavaşlayan statik olmayan model elde etmişlerdir. Singh ve Singh (2017) Brans-Dicke teoride silindirik simetrik Einstein-Rosen metriğini vakum çözümü problemi için incelemiştir. Oluşturulan model için tam çözümler elde edilmiştir.

Bu çalışmada amacımız Saez-Ballester skaler tensör teoride domain wall varlığında statik olmayan Einstein-Rosen evrenini incelemektir. Evren, evriminin erken safhalarında düzgünleştirilmiş bir resme sahip değildir. İnşa edilmiş model aracılığıyla evrenin erken evrelerini analiz etmek Saez-Ballester teori aracılığıyla mümkün olabilir.

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de ilk olarak Saez-Ballester teoride domain wall bulunan statik olmayan Einstein-Rosen evreni için alan denklemlerini oluşturduk. Oluşturulan model için herhangi bir yaklaşım veya kısıtlama dikkate alınmadan alan denklemlerinin tam çözümleri elde edildi. Son olarak, elde edilen tüm çözümler fiziksel ve geometrik açıdan tartışıldı.

## Metot ve Bulgular

Statik olmayan Einstein-Rosen evreni için yay elemanı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$ds^2 = e^{(2\alpha-2\beta)}(-dt^2 + dr^2) + r^2 e^{-2\beta} d\phi^2 + e^{2\beta} dz^2. \quad (4)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  kozmik zamana bağlı metrik potansiyelleridir. (4) denklemi kullanılarak statik olmayan Einstein-Rosen evreni için Ricci eğrilik skaleri

$$R = 2e^{(2\beta-2\alpha)}(\alpha'' - \beta'' + \beta'^2) \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. Burada kesme işareti zamana göre türevi ifade etmektedir. İdeal akışkan formundaki domain wall için enerji-momentum tensörü

$$T_{ij} = (\rho + p)u_i u_j + p g_{ij} \quad (6)$$

ile tanımlanır (Okuyama ve Maeda, 2004; Yılmaz, 2005). Burada ideal akışkan formundaki enerji-momentum tensörü normal madde ( $p_m$  ve  $\rho_m$ ) ile domain wall için gerilim fonksiyonunu ( $\sigma$ ) içerir. Normal madde ve gerilim fonksiyonuna bağlı olarak ideal akışkanın basıncı ve yoğunluğu arasında  $p = p_m - \sigma$  ve  $\rho = \rho_m + \sigma$  şeklinde bağıntılar bulunmaktadır (Yılmaz, 2005). Aynı zamanda normal madde için durum denklemi  $p_m = (\gamma - 1)\rho_m$  şeklinde tanımlanır ve burada  $1 \leq \gamma \leq 2$  şeklindedir (Yılmaz, 2005; Çağlar ve Aygün, 2016a; Çağlar ve Aygün, 2016b). Ayrıca  $u_i$  konformal 4'lü hızı ifade etmektedir.

(1)-(4) ve (6) denklemleri göz önüne alınarak Saez-Ballester teori kapsamında domain wall bulunan Einstein-Rosen evreni için alan denklemleri ve korunum denklemleri

$$e^{(2\beta-2\alpha)}\left(\beta'^2 + \frac{1}{2}\omega\phi^v\phi'^2\right) = p, \quad (7)$$

$$e^{(2\beta-2\alpha)}\left(\alpha'' + \beta'^2 + \frac{1}{2}\omega\phi^v\phi'^2\right) = p, \quad (8)$$

$$e^{(2\beta-2\alpha)}\left(\alpha'' - 2\beta'' + \beta'^2 + \frac{1}{2}\omega\phi^v\phi'^2\right) = p, \quad (9)$$

$$e^{(2\beta-2\alpha)}\left(-\beta'^2 - \frac{1}{2}\omega\phi^v\phi'^2\right) = -\rho, \quad (10)$$

$$-e^{(2\beta-2\alpha)}\frac{\alpha'}{r} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{v}{2}\frac{\phi'^2}{\phi} + \phi'' = 0 \quad (12)$$

ve

$$\rho' + (\alpha' - \beta')(\rho + p) = 0. \quad (13)$$

şeklinde edilir. Elde edilen diferansiyel denklem sisteminde beş adet bilinmeyen fonksiyon bulunmaktadır. Oluşturulan model için herhangi bir yaklaşım veya kısıtlama dikkate alınmadan alan denklemlerinin tam çözümleri elde edildi. Einstein-Rosen metrik potansiyelleri

$$\beta(t) = c_1 t + c_2 \quad (14)$$

ve

$$\alpha(t) = c_3 \quad (15)$$

şeklinde elde edilir. Saez-Ballester skaler tensör teorisinin dinamik yapısını belirleyen skaler alan aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\phi(t) = 4^{-\frac{1}{v+2}}((v+2)(c_4 t + c_5))^{\frac{2}{v+2}}. \quad (16)$$

Aynı zamanda ideal akışkanın basıncı ve yoğunluğu sırasıyla

$$p(t) = \frac{1}{2}e^{2(c_1 t + c_2 - c_3)}\left(2c_1^2 - \omega c_4^2 + 8\omega c_4^2 4^{-\frac{v}{v+2}} 16^{-\frac{1}{v+2}}\right) \quad (17)$$

ve

$$\rho(t) = \frac{1}{2}e^{2(c_1 t + c_2 - c_3)}(2c_1^2 + \omega c_4^2) \quad (18)$$

olarak elde edilir. Normal madde dağılımı için basınç ve yoğunluk durum denklemi,  $p_m = (\gamma - 1)\rho_m$ , dikkate alınarak

$$p_m(t) = 2\gamma^{-1}e^{2(c_1t+c_2-c_3)}(\gamma - 1)\left(c_1^2 + 2\omega c_4^2 4^{-\frac{v}{v+2}} 16^{-\frac{1}{v+2}}\right) \quad (19)$$

ve

$$\rho_m(t) = 2\gamma^{-1}e^{2(c_1t+c_2-c_3)}\left(c_1^2 + 2\omega c_4^2 4^{-\frac{v}{v+2}} 16^{-\frac{1}{v+2}}\right) \quad (20)$$

olarak elde edilir. Domain wall için gerilim fonksiyonu ise

$$\sigma(t) = \gamma^{-1}e^{2(c_1t+c_2-c_3)}(\gamma - 2)\left(c_1^2 + 2\omega c_4^2 4^{-\frac{v}{v+2}} 16^{-\frac{1}{v+2}}\right) \quad (21)$$

şeklinde elde edilir. Yukarıda belirtildiği üzere oluşturulan model için tam çözümler elde edilmiş olup Seaz-Ballester skaler tensör teoride domain wall bulunan Einstein-Rosen evrenin yay elemanını

$$ds^2 = e^{-2(c_1t+c_2-c_3)}(-dt^2 + dr^2) + r^2 e^{-2(c_1t+c_2)}d\varphi^2 + e^{2(c_1t+c_2)}dz^2. \quad (22)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Aynı zamanda oluşturulan modellerin geometrik ve fiziksel özellikleri kinematik nicelikler aracılığıyla analiz edilir. Kinematik büyüklükler, oluşturulan modelin geometrik özelliklerini anlamamız için bize kanıt sağlar. Hacim, ortalama ölçek faktörü, Hubble parametresi, kayma skaleri ve yavaşlama parametresi gibi bazı kinematik büyüklükleri tanıtmak faydalıdır. Oluşturulan model için kinematik nicelikler aşağıda verilmiştir:

$$V = \sqrt{-g} = r e^{-2(c_1t+c_2-c_3)}, \quad (23)$$

$$\mathcal{R} = r^{\frac{1}{3}} e^{-\frac{2}{3}(c_1t+c_2-c_3)} \quad (24)$$

$$H = \frac{1}{3}(\ln V)' = -\frac{2}{3}c_1, \quad (25)$$

$$\Theta = 3H = -2c_1, \quad (26)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2}\sigma_{ij}\sigma^{ij} = \frac{4}{3}c_1^2 e^{2(c_1t+c_2-c_3)} \quad (27)$$

ve

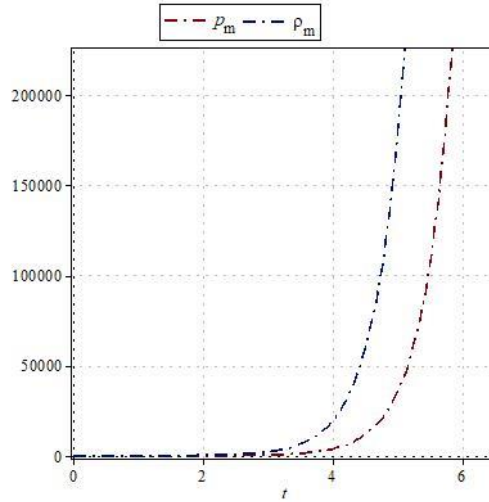
$$q = -3\Theta^{-2} - \left(\Theta_{,i}u^i + \frac{1}{3}\Theta^2\right) = -1. \quad (28)$$

Oluşturulan model için uzaysal hacmin zamanla azaldığını ve nihayetinde sonsuz zamanda kaybolmaktadır. Hubble parametresi ise  $t$  ve  $r$  koordinatlarından bağımsız olarak sabit bulunmuştur. Bilindiği üzere yavaşlama parametresi,  $q$ , evrenin kozmik ivmeli genişlemesinin bir ölçütüdür. Oluşturulan modelin davranışı  $q$  parametresinin işaretine göre belirlenir. Pozitif bir değer yavaşlayan modeli ifade ederken negatif değer ise hızlanan modeli ifade eder (Bolotin vd., 2015). Elde edilen model için yavaşlama parametresi ve Hubble parametresi  $c_1 > 0$  olduğu durumda negatiftir. Biz biliyoruz ki  $q < 0$  ve  $H < 0$  durumunda elde edilen model hızlanarak çöken modele işaret eder.  $c_1 < 0$  olduğu durumda ise elde edilen model hızlanarak genişleyen modele işaret eder. Yani  $c_1$  sabiti elde edilen modelin genişleyen ya da çöken bir model olduğunu belirleyici bir sabittir. Ayrıca izotropik bir evren için bozunum zamanla sifıra eşit olmalıdır,  $\frac{\sigma^2}{\Theta^2}\Big|_{t \rightarrow \infty} = 0$  (Barrow, 1982). Elde edilen model için bozunum zaman sonsuza giderken sıfırdan farklı olduğundan dolayı model izotropiye yaklaşmaz.

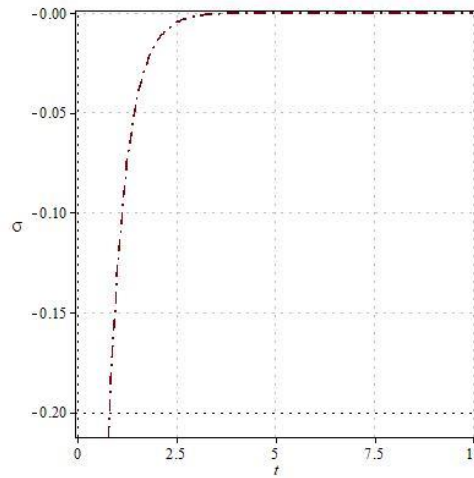
Elde edilen normal madde dağılımı için basınç ve yoğunluk değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere normal madde dağılımı için basınç ve yoğunluk zamanla artmaktadır. Şekil 1'de  $c_1$  sabiti pozitif değere sahiptir. Yukarıda bahsedildiği üzere  $c_1$  sabiti pozitif olduğu durumda oluşturulan model çöken bir modele karşılık gelmektedir. Bu durumda normal madde dağılımı için basınç ve yoğunluk artarken,  $c_1$  negatif seçildiği zaman basınç ve yoğunluk zamanla azalmaktadır ki bu durum da oluşturulan model genişlemektedir. Aynı zamanda her iki durum için  $\rho \geq 0$  koşulu sağlanmaktadır. Domain wall için gerilim fonksiyonunun zamana göre değişimi Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'de görüldüğü üzere gerilim fonksiyonu negatif değer almaktadır. Bu durumda domain wall görünür değildir. Bu sonuç, Zeldovich vd. (1975) yaptıkları çalışmayla uyumludur. Ayrıca grafikte görüldüğü üzere domain wall için gerilim fonksiyonu zamanla sifıra yaklaşır ve yok olur.

Elde edilen model için skaler alanın zaman göre değişim grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere skaler alan zamanla artmaktadır.  $t = 0$  anında Seaz-Ballester skaler alan sabitken,  $t \rightarrow \infty$  durumunda ise skaler alan da sonsuza gitmektedir. Böylece skaler alanın başlangıç tekiliğinden de muaf olduğu söylenebilir.

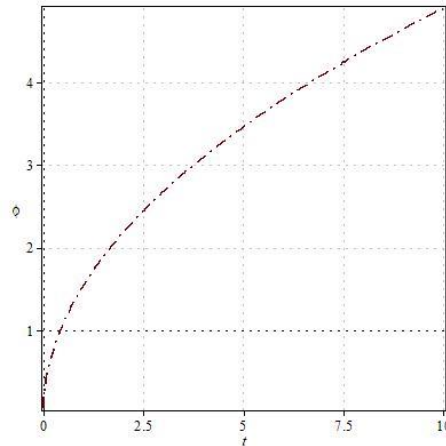
**Şekil 1:** Normal Madde Dağılımı için basınç ve yoğunluğun zamana göre değişimi. ( $c_1 = 1.1$ ,  $c_2 = 0.8$ ,  $c_3 = 1$ ,  $c_4 = 1.2$ ,  $\nu = 2$ ,  $\gamma = 1.2$  ve  $\omega = 2$ )



**Şekil 2:** Domain wall için gerilim fonksiyonunun zamana göre değişimi. ( $c_1 = -1.1$ ,  $c_2 = 0.8$ ,  $c_3 = 1$ ,  $c_4 = 1.2$ ,  $\nu = 2$  ve  $\gamma = 1.2$ )



**Şekil 3:** Seaz-Ballester skaler alanının zamana göre değişimi. ( $c_4 = 1.2$ ,  $c_5 = 1$  ve  $\nu = 2$ )





## Sonuç

Bu çalışmada, Saez-Ballester teori kapsamında domain wall bulunan statik olmayan Einstein-Rosen evrenini inceledik. Öncelikle model için alan denklemleri oluşturuldu. Daha sonrasında alan denklemlerinin tam çözümleri elde edildi. Oluşturulan model için yavaşlama parametresi negatif işaretli elde edildi. Oluşturulan modelin ivmeli olarak hızlandığı fakat genişleme ya da çökme davranışının çözümlerden gelen keyfi sabitlerin değerine göre değiştiği gösterilmiştir. Aynı zamanda Saez-Ballester teoriye göre domain wall bulunan Einstein-Rosen evreninde izoropiye izin vermemektedir. Ayrıca normal madde dağılımı için basınç ve yoğunluğun evrenin davranışa paralel olarak keyfi sabitin seçimine göre zamanla azalan ya da artan özellik göstereceği elde edildi. Domain wall için gerilim fonksiyonu negatif olduğu ve Zeldovich vd. (1975) yaptıkları çalışmayla Saez-Ballester teoride elde edilen bu sonuçların uyumlu olduğu ve domain wall dağılımının görünür olmadığı gösterildi. Saez-Ballester teorinin skaler alanın başlangıç tekilliğinden muaf olduğu elde edildi.

## KAYNAKÇA

- Kiran, M., Reddy, D.R.K., Rao, V.U.M. ve Rao M.P.V.V.B. (2015). Stationary spherically symmetric one-kink model in Saez-Ballester theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 355,2186.
- Rao V.U.M., Kumari, G.S.D. ve Sireesha K.V.S. (2011). Anisotropic universe with cosmic strings and bulk viscosity in a scalar–tensor theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 335,635–638.
- Brans, C.H. ve Dicke, R.H. (1961). Mach's principle and a relativistic theory of gravitation. *Phys. Rev.* 124, 925.
- Saez, D. ve Ballester, V.J. (1986). A simple coupling with cosmological implications. *Phys. Lett. A* 113, 467.
- Tripathy, S.K., Nayak, S.K., Sahu, S.K. ve Routray, T.R. (2009). Massive String Cloud Cosmologies in Saez-Ballester Theory of Gravitation. *Int. J. Theor. Phys.* 48, 213–225.
- Raju, P., Sobhanbabu, K. Ve Reddy, D.R.K. (2016). Minimally interacting holographic dark energy model in a five dimensional spherically symmetric space-time in Saez–Ballester theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 361, 77.
- Barrow, J.D. (1982). The isotropy of the universe. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 23, 344.
- Reddy, D. R. K., Naidu, R. L. ve Rao, V. U. M. (2006). Axially Symmetric Cosmic Strings in a Scalar-Tensor Theory. *Astrophys. Space Sci.* 306, 185-188.
- Adhav, K. S., Nimkar, A. S. ve Naidu, R. L. (2007). Axially symmetric non-static domain walls in scalar–tensor theories of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 312, 165-169.
- Tripathy, S. K., Sahu, S. K. ve Routray, T. R. (2008). String cloud cosmologies for Bianchi type-III models with electromagnetic field. *Astrophys. Space Sci.* 315, 105-110.
- Rao, V. U. M., Santhi, M. ve Vinuth, T. (2008). Exact Bianchi type-II, VIII and IX perfect fluid cosmological models in Saez-Ballester theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 317, 27.
- Rao, V. U. M., Kumari, G. S. D. ve Sireesha, K. V. S. (2011). Anisotropic universe with cosmic strings and bulk viscosity in a scalar–tensor theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 335, 635-638.
- Naidu, R. L., Satyanarayana, B. ve Reddy, D. R. K. (2012). Bianchi Type-III Dark Energy Model in a Saez-Ballester Scalar-Tensor Theory. *Int. J. Theor. Phys.* 51, 2857-2862.
- Jamil, M., Ali, S., Momeni, D. ve Myrzakulov, R. (2012). Bianchi type I cosmology in generalized Saez–Ballester theory via Noether gauge symmetry. *Eur. Phys. J. C* 72, 1998.
- Rao, V. U. M., Kumari, G. S. ve Neelima, D. (2012). A dark energy model in a scalar tensor theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 337, 499.
- Pradhan, A., Singh, A. K. ve Chouhan, D. S. (2013). Accelerating Bianchi Type-V Cosmology with Perfect Fluid and Heat Flow in Saez-Ballester. *Theory. Int. J. Theor. Phys.* 52, 266.

- Kiran, M., Reddy, D. R. K. ve Rao, V. U. M. (2014). Minimally interacting holographic dark energy model in a scalar- tensor theory of gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 354, 577-581.
- Hill, C.T., Schramm, D.N. ve Fry, J.N. (1989). Cosmological structure formation from soft topological defects. *Comments Nucl. Part. Phys.* 19, 25.
- Vilenkin, A. (1981). Gravitational field of vacuum domain walls and strings. *Phys. Rev. D* 23, 852.
- Widrow, L.M. (1989). General-relativistic domain walls. *Phys. Rev. D* 39, 3571.
- Clancy, D., Feinstein, A., Lidsey, J. E. ve Tavakol, R. (1999). Inhomogeneous Einstein-Rosen string cosmology. *Phys.Rev. D*, 60 043503.
- Reddy, D. R. K., Murthy, C.S.V.V.R. ve Venkateswarlu, R. (2006). Einstein–Rosen Universe in a Scalar-Tensor Theory of Gravitation. *Astrophysics and Space Science* 301, 79–82.
- Reddy, D. R. K. (2006). On Einstein–Rosen Cosmic Strings in a Scalar Tensor Theory of Gravitation. *Astrophys. Space Sci.* 305, 139–141.
- Katore, S. D. ve Shaikh, A. Y. (2011). Einstein Rosen String Cosmological Model in Barber’s Second Self-Creation Theory, *International Journal of Modern Physics A* 26, 1651–1657.
- Singh, K. P. ve Singh, C. G. (2017). Some Cylindrically Symmetric Vacuum Solutions of Brans-Dicke Scalar Fields in Robertson-Walker Universe. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1701/1701.03350.pdf> (Erişim tarihi: 03.07.2017).
- Çağlar, H. ve Aygün, S. (2016a). Non-existence of Brans-Dicke theory in higher dimensional FRW universe. *Astrophys. Space Sci.* 361, 200.
- Çağlar, H. ve Aygün, S. (2016a). Non-existence of Brans-Dicke theory in higher dimensional FRW universe. *Chinese Physics C* 40, 045103.
- Yilmaz, I. (2005). Domain wall solutions in the nonstatic and stationary Gödel universes with a cosmological constant. *Phys. Rev. D* 71, 103503.
- Okuyama, N. Ve Maeda, K. (2004). Domain Wall Dynamics in Brane World and Non-singular Cosmological Models. *Phys. Rev. D* 70, 064030.
- Bolotin, Y. L., Cherkaskiy, V. A., Lemets, O. A., Yerokhin D. A. ve Zazunov, L. G. (2015). Cosmology In Terms Of The Deceleration Parameter. Part I. <https://arxiv.org/pdf/1502.00811.pdf> (Erişim tarihi: 03.02.2015).
- Zeldovich, Y. B., Kobzarev, I. Y. ve Okun, L. B. (1975). Cosmological consequences of spontaneous violation of discrete symmetry. *Sov. Phys. JETP.* 40, 1.

# “Uzunmusa” Fındık Çeşidinin Yaprakları Üzerine Bir Araştırma

Dr. Yaşar AKÇİN

Nuriye Halit Çebi Özel Eğitim Meslek Lisesi, Ordu, Türkiye  
Email:akcinyasar@gmail.com

## Özet

Fındık (*Corylus* L.) bitkisi Betulaceae familyasına ait bir bitkidir. Cins ülkemizde *C. avellana* L., *C. colurna* L. ve *C. maxima* Mill. türleri ile temsil edilmektedir. *Corylus avellana* türünün Türkiye’de 20 farklı standart fındık çeşidi bulunmaktadır. Bitkilere ait çeşitlerin morfolojik, genetik yapılarının incelenmesi yanında son zamanlarda çeşitlerin anatomik özelliklerinin belirlenmesi ve diğer verilerle birlikte çeşitlerin özelliklerinin tespitinde kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, ülkemizde yayılış gösteren *Corylus avellana* türüne ait ‘Uzunmusa’ çeşidinin yaprak yapısal özellikleri ayrıntılı şekilde incelenmiştir. “Uzunmusa” çeşidi bilateral yaprak tipine sahiptir. 2-3 sıralı sünger parankiması ile 3 sıralı yoğun kloroplast içeren hücrelerarası boşlukları bulunmayan palizat parankiması gözlenmiştir. Mezofil içerisinde iletim demetleri düzenli olarak sıralanmış ve iletim demetlerinin çevresinde demet kınları bulunmaktadır. Büyük damar bölgelerinde çok sayıda druz kristalleri görülmüştür. Yapraklar üzerinde tek ve nadiren iki hücreli uzun ve kısa örtü tüyleri ve salgı tüyleri bulunmaktadır. Üst epidermis hücreleri dikdörtgenimsi, alt epidermis hücreleri ise dalgalı çeper yapısına sahiptir. Stomalar yaprakların sadece alt yüzeyinde bulunmaktadır ve alt yüzey için stoma indeksi hesaplanmıştır. Yapraklarda bulunan stomalar anomositik tiptedir.

**Anahtar kelimeler:** *Corylus avellana*, Fındık, Çeşit, Stoma

## Abstract

Hazelnut (*Corylus* L.) is a plant belonging to the Betulaceae family. The genus is represented by *C. avellana* L., *C. colurna* L. and *C. maxima* Mill. species in Turkey. *Corylus avellana* species has 20 different standard types of hazelnuts in Turkey. In addition to examining the morphological and genetic structures of the varieties belonging to plants, it has recently become widespread to determine the anatomical characteristics of the varieties and to determine the characteristics of the varieties together with other data. In this study, the leaf structural features of the "Uzunmusa" variety belonging to the *Corylus avellana* species that spread in our country were examined in detail. "Uzunmusa" variety has bilateral leaf type. 2-3 rows of sponge parenchyma and 3 rows of dense chloroplasts palisade parenchyma without intercellular spaces were observed. Within the mesophyll, vascular bundles are arranged regularly and there are bundles sheaths around the vascular bundles. Numerous druse crystals were seen in the large vein regions. There are single and rarely two-celled long and short glandular hairs and glandular hairs on the leaves. Upper epidermis cells are rectangular, lower epidermis cells have wavy walls. The stomata are found only on the lower surface of the leaves and the stoma index has been calculated for the lower surface. Leaves have anomocytic type stoma.

**Key words:** *Corylus avellana*, Hazelnut, Varietes, Stoma.

## Giriş

Fındık (*Corylus* L.) bitkisi Betulaceae familyasına ait bir bitkidir. *Corylus* cinsi çok yıllık, çalı formunda bir bitkidir. Fındık Ülkemizde üç tür ile temsil edilmektedir. Bu türler *C. avellana* L., *C. colurna* L. ve *C. maxima* Mill. türleridir (Güner, Aslan, Ekim, Vural, Babaç, 2012: 219). Özellikle *Corylus avellana* türü meyveleri için Avrupa ve Karadeniz havzasında yaygın olarak yetiştirilmektedir. Türün Türkiye’de 20 farklı standart fındık çeşidi bulunmaktadır (Balık, Balık, Beyhan, Erdoğan, 2016; İslam, 2018:261). Betulaceae familyasına ait cinslerin anatomik özellikleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Hürkul, İlhan, Köroğlu, 2010; Razaz, Naqinezhad, Mahmoudi Otaghvari, Hosseinzadeh Colagar, Abbas Azimi, 2015). Uzunova (1999) Avrupa’da yayılış gösteren Corylaceae familyasına ait bazı türlerin yaprak epidermislerini incelemiştir. Avcı ve Aygün (2014) Türkiye’de yetişen 18 fındık çeşidinin stoma yoğunlukları üzerine çalışma yapmışlardır. Bitkilere ait çeşitlerin morfolojik, genetik yapılarının incelenmesi yanında son zamanlarda çeşitlerin anatomik özelliklerinin belirlenmesi ve diğer verilerle birlikte çeşitlerin özelliklerinin tespitinde kullanılması yaygınlaşmıştır. Çeşitlerin iç yapılarının belirlenmesi bu bitkilerin tanınmasına,

birbirinden ayırt edilmesine ve yapılacak diğer çalışmalara yardımcı olacaktır. Farklı cinslere ait çeşitlerin yaprak morfolojik ve anatomik özelliklerin incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. (Klimkove, Korszun, Bykowska, 2015; Oliveira, 2018; Akçin, 2019). Bu çalışmada, ülkemizde yayılış gösteren *Corylus avellana* türüne ait ‘Uzunmusa’ çeşidinin yaprak yapısal özellikleri ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

‘Uzunmusa’ (*C. avellana*) çeşidine ait örnekler 2018 yılı Mayıs ayında Giresun Fındık Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Bitkilerin yaprakları %70’lik alkole konularak tespit edilmiştir. Anatomik incelemeler için örneklerin yapraklarından hem enine hem de yüzeysel kesitler alınmıştır. Kesitlerin fotoğrafları Nikon FDX-35 marka mikroskop ile çekilmiştir. Ölçümler NIS Elements Imaging Software 3.00 SP5 programı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerin ortalamaları ve standart sapmaları Tablo1’de verilmiştir. Bitkilerde aynı yaştaki yapraklarının alt ve üst yüzeylerindeki 1mm<sup>2</sup>’ye düşen stoma ve epiderma hücre sayıları bulunmuş, stoma indeksi hesaplanmıştır (Meidner ve Mansfield, 1968).

### Bulgular

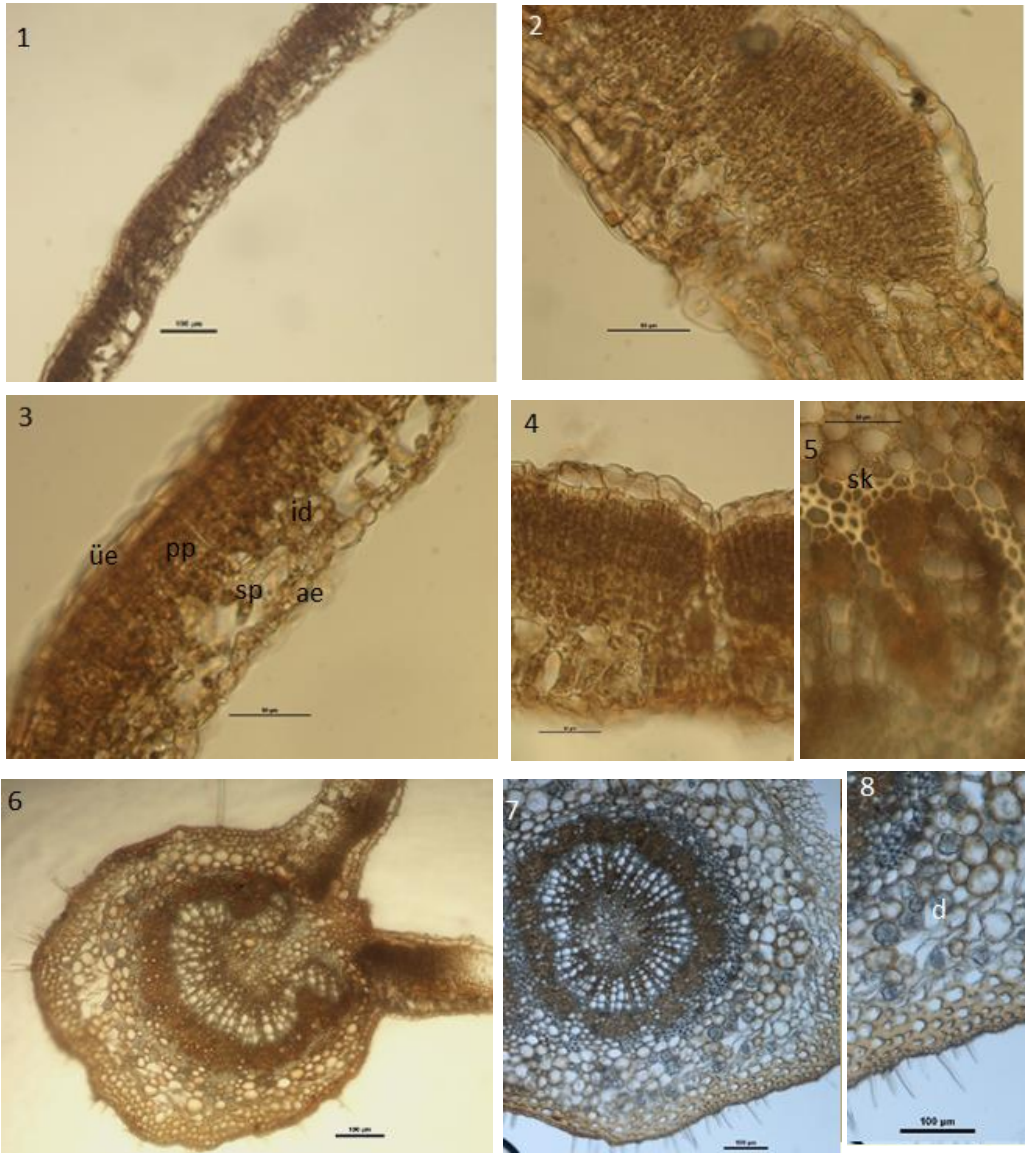
“Uzunmusa” çeşidinde alt ve üst epidermis hücreleri tek sıralıdır. Üst epidermis hücreleri dikdörtgenimsi, alt epidermis hücreleri ise dalgalı çeper yapısına sahiptir. Yaprak mezofili bilateral tiptedir. 3 sıralı yoğun kloroplast içeren hücrelerarası boşlukları bulunmayan palizat parankiması hücreleri ile 2-3 sıralı sünger parankiması hücreleri bulunmaktadır. Sünger parankimasında hücreler arası boşluklar çok fazladır. Özellikle alt epidermise yakın olan kısımlarda bol miktarda hava boşlukları vardır. Mezofil içerisinde iletim demetleri düzenli olarak sıralanmıştır. İletim demetlerinin çevresinde demet kınları bulunmaktadır. Demetlerin olduğu bölgelerde alt epidermis ve üst epidermis içeriye doğru hafif girintiler yapmıştır ve bu yüzden yaprakların abaksiyal ve adaksiyal kısımları dalgalı yapıdadır. Orta damar bölgesinde daire şeklinde büyük bir iletim demeti bulunmaktadır. İletim demetinin dışında parankima hücreleri içinde druz kristalleri vardır. İletim demetlerinin içinde ve mezofil kısmında salgı yapılarına rastlanılmıştır (Çizelge 1, Şekil 1-8)). Stomalar yaprakların sadece alt yüzeyinde bulunmaktadır Yapraklar hipostomatik tiptedir. Stoma hücreleri 18.31±1.19 X 21.83±5.02 µm ebatlarındadır. Stoma hücreleri komşu hücrelerine göre anomositik tiptedir. Yaprakların alt yüzeyinde 1 mm<sup>2</sup>’de ortalama 225±6 stoma hücresi ve 2295±25 epidermis hücresi bulunmaktadır. Yaprakların alt yüzeyi için stoma indeksi 8,92 olarak bulunmuştur (Çizelge 2, Şekil 9-10). Epidermis hücreleri üzerinde tek hücreli uzun ve kısa örtü tüyleri bulunmaktadır. Nadiren iki hücreli örtü tüylerine de rastlanılmaktadır. Salgı tüyleri sapsız veya çok kısa saplı yapıdadır (Şekil 11-14).

**Çizelge 1. ‘Uzunmusa’ çeşidinin yaprak anatomik özellikleri.**

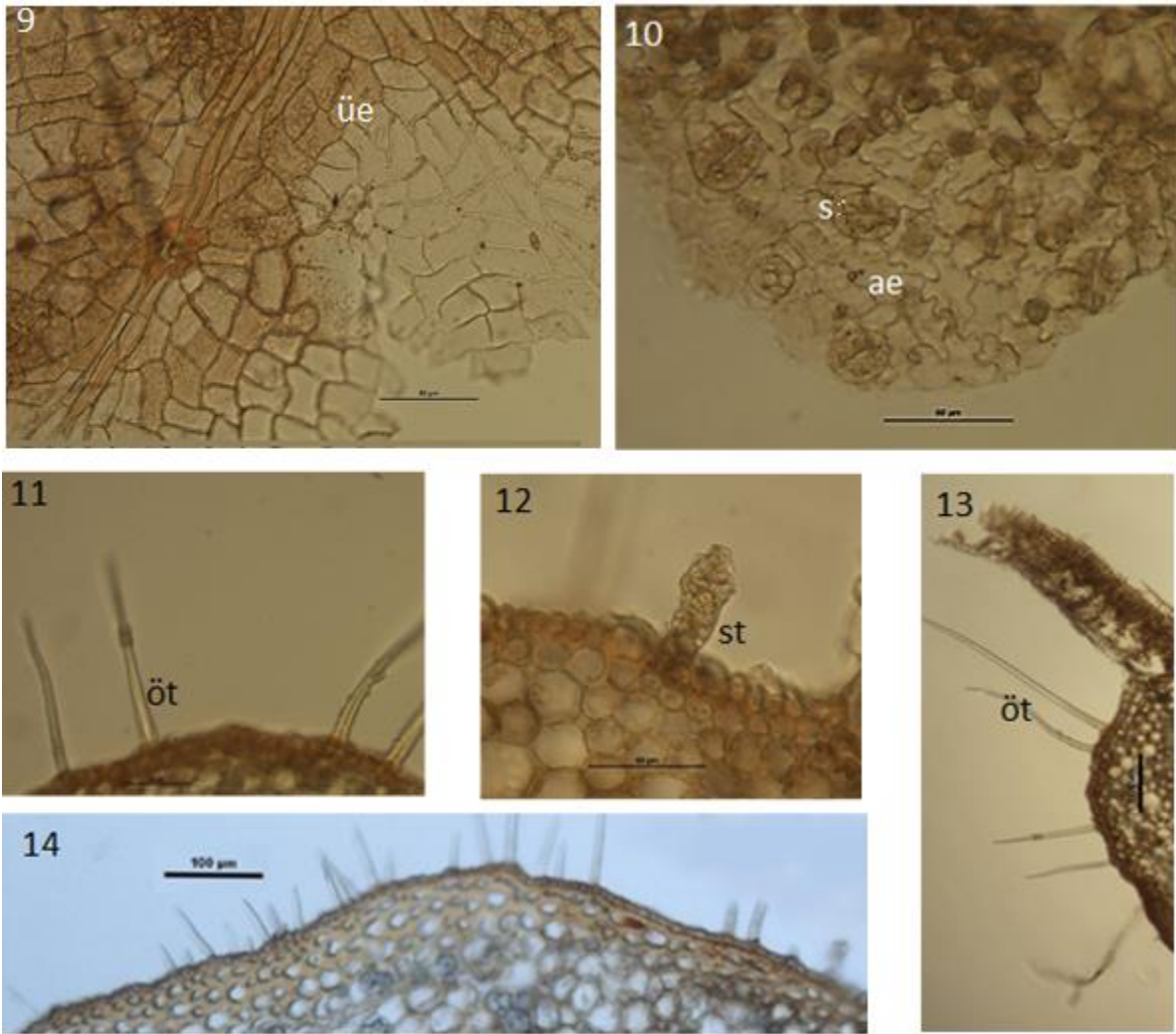
	En/Çap (ortalama ± Std. sp)	Boy (ortalama ± Std. sp)
Üst epidermis hücresi	8.86 ± 3.57	13.98 ± 6.64
Palizat parankiması hücresi	5.81 ± 1.77	24.05 ± 6.64
Sünger parankiması hücresi	11.15 ± 0.82	-
Alt epidermis hücresi	10.08 ± 1.66	14.65 ± 2.74

Çizelge 2. Uzunmusa çeşidinin yaprak üst ve alt yüzeylerinin stoma ve epidermis hücrelerinin özellikleri.

	Yaprak üst yüzey	Yaprak alt yüzey
	Ortalama	Ortalama
Stoma hücre sayısı (1 mm <sup>2</sup> )	-	225±6
Epidermis hücre sayısı	2985±30	2295±25
Stoma hücreleri en (µm)	-	18.31±1.19
Stoma hücreleri boy (µm)	-	21.83±5.02
Stoma indeksi		8,92



Şekil 1-8. Uzunmusa fındığının yaprak özellikleri. 1-5. Yaprak enine kesit, 6-7. Yaprak orta damar, 8. Druz kristali. üe. üst epidermis, ae. alt epidermis, pp. palizat parankimasi, sp. sünger parankimasi, sk. Sklerankima hücresi, d. druz kristali, id. İletim demeti.



Şekil 9-14. Uzunmusa fındığı yaprak özellikleri. 9. Yaprak üst yüzey, 10. Yaprak alt yüzey, 11-14. Örtü ve salgı tüyleri. üe. üst epidermis, ae. alt epidermis, s. Stoma, öt. Örtü tüyü, st. Salgı tüyü.

### Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma ile “Uzunmusa” çeşidinin bazı yaprak anatomik özellikleri ayrıntılı şekilde ortaya konulmuştur. İncelediğimiz “Uzunmusa” fındık çeşidi ordu ili yöresinde yetişmekte olup meyveleri iri, dolgun ve ince kabuklu bir çeşittir. İnce kabuklu ve dolgun içli olduğu için randımanı yüksektir. Çıtlak meyve sayısı fazladır. Orta derecede verimli ve meyveleri lezzetlidir. Bu çeşit hastalıklara ve ilkbahar geç donlarına duyarlıdır. “Uzunmusa” çeşidinde meyvelerin protein ve yağ oranı yüksektir (Köksal, 2002: 81). Çeşidin yaprak yapısına baktığımızda yaprakların dorsiventral tipte olduğu belirlenmiştir. *Corylus avellana* türünün “karafındık” çeşidi ile yapılan çalışmada da yaprakların dorsiventral tipte olduğu tespit edilmiştir (Akçin, 2019). “Uzunmusa” çeşidinde mezofil tabakası 3 sıralı yoğun kloroplast içeren hücrelerarası boşlukları bulunmayan palizat parankiması ile 2-3 sıralı sünger parankimasından oluşurken, “Karafındık” çeşidinde palizat parankiması sıra sayısı 3-4 iken sünger parankiması 2-3 sıra hücre tabakasından oluşmaktadır (Akçin, 2019:142).

Metcalf ve Chalk, (1979) fındığın dahil olduğu Betulaceae familyasında musilaj içeren salgı yapılarının bulunduğunu belirtmişlerdir. İncelediğimiz yapraklarda da özellikle iletim demetlerinde ve mezofil yapısında salgı içeren hücrelere rastlanmıştır. Ayrıca yapraklarda özellikle orta damar bölgelerinde druz kristalleri görülmüştür (Akçin (2019:142) “Karafındık” çeşidinde de druz kristallerinin bulunduğunu belirtmiştir. Betulaceae familyasında anomositik tip stoma olduğunu belirtilmiştir (Watson ve Dallwitz, 1991) Akçin (2019:142) “Karafındık” çeşidinde genellikle anomositik tip stomalara rastlanmakla beraber parasitik tip stomalarında görüldüğünü ifade etmiştir. İncelediğimiz “Uzunmusa” çeşidinde sadece anomositik stomalara rastlanmıştır ve stomalar yaprakların sadece alt yüzeylerinde bulunmaktadır. Yapılan



çalışmalarda Betulaceae ve Corylaceae familyalarında yaprakların genelde hipostomatik olduğu bazı türlerde de amfistomatik yaprakların bulunduğu bildirilmiştir. (Razaz ve diğerleri, 2015:46-48; Yıldız, 2016:50-54). İncelediğimiz fındık çeşidinde alt yüzeyinde stoma indeksi 8.92 olarak bulunmuştur. Fındık kültürleri ile yapılan çalışma da çeşitlerde stoma indeksi bakımından belirgin farklar bulunduğu belirtilmiştir (Avcı ve Aygün, 2014:) “Karafındık ile yapılan çalışmada da stoma indeksi 7.06 olarak tespit edilmiştir (Akçin, 2019:142). Bu çalışma ile “Uzunmusa” çeşidinin bazı yaprak anatomik özellikleri ayrıntılı şekilde ortaya konulmuş ve çalışmanın fındık çeşitlerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılacak yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Akçin, Y. (2019). ‘Karafındık’ çeşidinin (*Corylus avellana* L.) bazı yaprak özellikleri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8, 141-144
- Avcı, N. ve Aygün, A. (2014). Determination of Stomatal Density and Distribution on Leaves of Turkish Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cultivars. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 454-459.
- Balık, H. İ., Balık, S. K., Beyhan, N. ve Erdoğan, V. (2016). Fındık Çeşitleri. Klasman Matbaacılık, Trabzon, 96 s.
- Çağlar, S., Sütyemez, M., Bayazit, S., 2004. Seçilmiş bazı ceviz (*Juglans regia*) tiplerinin stoma yoğunlukları. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 169-174.
- Güner, A., Aslan S., Ekim T., Vural, M. ve Babaç, M.T. (Eds). (2012). Turkish Plant List. Istanbul, Turkey: *Nezahat Gökyiğit Botanical Garden and Flora Research*
- Hürkul, M., İlhan, M. ve Köroğlu, A. (2010). Aktarlarda satılan huş ağacı yaprağı (*Betulae folium*): etnobotanik veriler; morfolojik ve anatomik çalışmalar. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 39 (4), 275-290.
- İslam, A. (2018). Hazelnut culture in Turkey. *Akademik Ziraat Dergisi* 7(2), 259–266. doi:10.29278/azd.476665.
- Klimko, M., Korszun, S. ve Bykowska, J. (2015). Comparative morphology and anatomy of the leaves of *Ginkgo biloba* L. cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 14(4), 169-189.
- Köksal, İ. (2002). Türk Fındık çeşitleri. Fındık Tanıtım Grubu yayınları, Ankara, 136 s.
- Meidner, H. ve Mansfield, T.A. (1968). Physiology of stomata. London: McGraw Hill
- Metcalf, C.R. ve Chalk, L. (1979). Anatomy of the Dicotyledons. Vol. 1. *Oxford University Press*, 276 pp.
- Oliveiraa, I., Meyerb, A., Afonsoa, S. ve Gonçalves, B. (2018). Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rainfed conditions. *Scientia Horticulturae* 229, 226–232.
- Razaz, M., Naqinezhad, A., Mahmoudi Otaghvari, A., Hosseinzadeh Colagar, A. ve Abbas Azimi, R. (2015). Comparative Anatomy of *Carpinus orientalis* Mill. (Betulaceae) Populations in Iran. *Journal of Genetic Resources*, 1(1), 45-54.
- Uzunova, K. R. (1999). A comparative study of leaf epidermis in European Corylaceae. *Feddes Repert.* 110(3), 209-218.
- Watson, L. ve Dallwitz, M.J. (1991). The families of Angiosperm: Automated descriptions, with interactive identification and information. *Australian Systematic Botany*, 4, 681- 695.
- Yıldız, U. (2016). Ordu Ve Çevresinde Farklı Yüksekliklerde Yayılış Gösteren *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner subsp. *barbata* (C.A.Meyer) Yalt. Alttürü Üzerinde Morfolojik, Anatomik ve Mikromorfolojik Taksonomik Bir Araştırma. *Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış)*, Ordu, 116 s.

# Küresel Motor Çeşitleri

Sibel AKKAYA OY<sup>f</sup>

<sup>f</sup>Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Ordu Üniversitesi, 52400, Ordu, Türkiye, sibelakkayaoy@gmail.com

## Özet

Günümüzde endüstrileşen dünyada üretimden diğer alt sektörler kadar kullanılan birçok sistem otomasyon sistemleri aracılığıyla robotik uygulamalara kaymaktadır. Gelişen ve hızla ilerleyen bu teknolojiler karşısında ülkemizde de yavaş yavaş robotik uygulamaların artış gösterdiği bir eğilim oluşmuştur. Endüstrinin bu ihtiyacına cevap verebilmek için bu robotik sistemlerde kullanılan aktüatörlerin ihtiyaca göre tasarlanması gerekir. Bunun sonucunda küresel motorlara olan ilgide gittikçe artmaktadır. Küresel motor üç serbestlik dereceli hareket yetenekleri ile bu alanda önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada farklı yapıdaki küresel motorlarla ilgili bir araştırma yapılmıştır. Aynı zamanda prototipi gerçekleştirilmiş olan 8 mm çapında iki kutuplu sabit mıknatıslı rotor ve üç kutuplu statordan oluşan hava nüveli küresel bir motor tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küresel motor, stator, rotor, kutup,

## Spherical motor types

## Abstract

Today, many of the systems used up to other industrialized production sub-sector in the world is shifting to robotics applications through automation systems. In the face of these developing and rapidly advancing technologies, there has been a trend in our country where robotic applications are gradually increasing. The industry needs to respond to this need to be designed according to the needs of actuators used in this robotic system. This area is an important place with three degrees of freedom motion capabilities of the spherical motor. This study is made that a different structure research on spherical motor. At the same time, an air-core spherical motor consisting of an 8 mm diameter two polar permanent magnet rotor and a three-pole stator was introduced.

Keywords: Spherical motor, Stator, Rotor, Pole

## 1. Giriş

Küresel motorun zaman içerisindeki gelişimini incelediğimizde Williams ve Laithwaite'nin 1950'li yıllarda değişken hızlı indüksiyon motorlar üzerine çalışması, indüksiyon motorun küresel geometri ile geliştirilmesine olanak sağlamıştır [1]. Rotorun yapısı küreye yakın bir şekilde yapılmıştır. Bu rotor enine ve boyuna yönde bakır tel ile sarılmıştır. Williams ve Laithwaite'nin bu çalışmalarına dayanarak Vachtsevanos ve arkadaşları üç serbest dereceli küresel motor tasarlamışlardır [2]. Daha sonra Davey ve arkadaşları ideal dağıtılan akım modelini kullanarak bu motorun elektromanyetik alan analizini yapmışlardır [3]. Kaneko ve arkadaşları üç serbestlik dereceli hareket edebilecek bir küresel DC servo motor geliştirmişlerdir [4]. Bu rotor montajı merkez shaft etrafına yapılmıştır. İlk olarak sabit mıknatıslı küresel motordan burada bahsedilmiştir. Foogia indüksiyon tip motor üzerinde hareket karakteristik oranının konik 60° olması için çalıştı. Üç serbestlik dereceli bir elektromanyetik motor tasarlamışlardır ve bu motor  $\pm 30^\circ$  ye kadar hareket edebilmektedir. Oldukça geniş hareket alanına sahip olmasına rağmen deneysel sonuçlar bu motorun prototipinin fazla gürültüsü olduğunu ve 5 saniyeden daha fazla tepkime zamanına sahip olduğunu göstermiştir [5]. Hollis ve arkadaşları doğru akım prensiplerine dayanan ve maksimum eğilmesi  $\pm 5^\circ$  olan motor geliştirmişlerdir [6]. Doğru akım küresel motorun hareket alanının sınırlılığı ve küresel indüksiyon motorunun karmaşık mekaniksel yapıya sahip olması ve üretimindeki zorluklar yüzünden Lee ve arkadaşları küresel adım motor kavramını ortaya atmışlardır ve adım motorunu temel alarak değişken relüktanslı küresel adım motor tasarlamışlardır [7-8]. Lee ve Wang tork modeli ve rotor dinamikleri açısından değişken relüktanslı küresel motorun dinamik modelini sunmuşlardır [9]. Lee ve Kwan yarıküresel stator üzerine eşit olarak yirmiden daha fazla kutup yerleştirebilmek için bir program geliştirmişler ve üç serbestlik dereceli hareketi sağlayabilmek için de rotor kutuplarını iki sabit mıknatıstan tasarlamışlardır [10]. Lee ve Kwan aynı zamanda birbirine yakın olan rotor ve stator arasındaki yerel etkileşimi temel alan bir teori geliştirmişlerdir. Zhou ve Lee çoklu serbestlik dereceli değişken relüktans küresel motorun gerçek zamanlı hareket kontrolü



için yüksek hassasiyetli kontrol stratejileri ve yatak destek mekanizmalarını sunmuştur [11]. Lee ve Kwan değişken relüktanslı küresel motor tarafından üretilen torku önceden tahmin edebilmek için kalıcılık modelinin önemli olduğu kavramını ileri sürmüşlerdir [10]. Bu kavram üzerine Pei daha fazla teorik araştırma yapmıştır [12] ve Roth ise bu modeli deneysel olarak açıklamıştır [13]. Toyoma ve arkadaşları iki serbestlik derecesiyle hareket eden ultrasonik küresel motoru geliştirmiştir [14]. Mashimo ve arkadaşları çok serbestlik derece ile hareket eden ultrasonik motor tasarlamışlardır [15]. Küresel motor çalışmalarında Georgia Teknoloji Enstitüsünün araştırmacıları geniş ölçüde atıf almışlardır. Bunlar arasında bulunan Wang ve arkadaşları sargı düzenlemesi ve çok basit rotor montajı ile basit bir küresel motor geliştirmişlerdir. Bu motor iki ve üç serbestlik dereceli hareket edebilen sabit mıknatıslı küresel motordur [16]. Bu rotor tamamen nadir-toprak manyetik malzemeden oluşmuştur. Ting ve arkadaşları yeni bir piezoelektrik küresel motor çeşidi için stator tasarlamışlardır [17]. Jinjun ve arkadaşları manyetik kutup tasarımının küresel motorda üretilen torkun yönüne etkisini incelemişlerdir [18]. Akkaya, 8 mm çapında iki kutuplu sabit mıknatıslı rotor ve çok kutuplu statordan oluşan hava çekirdekli küresel bir motor, tasarlamıştır [19] Li va arkadaşları küresel bir paralel manipülatör temelinde oluşturulmuş yeni bir küresel hareket üretici tasarımını sunmuşlardır [20] Gan ve arkadaşları, çıkış torku mevcut küresel motorlarından nispeten daha yüksek olan yeni bir kademeli tip sabit mıknatıslı küresel motor (T-PMSPM) önermektedir [21]. Kim ve arkadaşları, iki eğim hareketi serbestlik derecesi oluşturabilen yeni bir küresel aktüatörün tasarımını ve uygulamasını sunmuşlardır [22].

## 2. FARKLI YAPIDAKI KÜRESEL MOTOR TIPLERİ

Geçmişten günümüze kadar doğru akım ya da değişken relüktanslı motor tipi gibi birçok küresel motor tipi geliştirilmiştir.

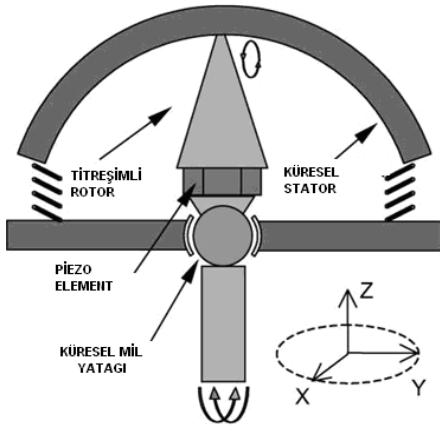
### 2.1. Ultrasonik Küresel Motor

Ultrasonik motorun düşük hızda yüksek tork elde etmesi ve tepki verme süresinin kısa olması gibi avantajları bulunmaktadır [23]. Bu avantajlarından dolayı son zamanlarda bu motorla ilgili çalışmalar artmıştır. Flynn ultrasonik/motor üzerine çalışmıştır [24]. Huang ve arkadaşları düzlem içi eksenel olmayan simetrik modu kullanan yeni bir küresel stator çoklu DOF ultrasonik motor geliştirdi [25].

Ultrasonik piezoelektrik küresel motorun yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. İki temel işlevi vardır;

- 1) Küresel dış iskelet üzerinde özel bir noktayı yönlendirir.
- 2) Dönme ekseninde sürekli bir dönüş sağlar.

Duruma bağlı olarak stator dört parça dairesel piezoelektrik parça içerir. Rotor, yarı küresel stator ve merkezine bağlı küresel mil yatağına sahip destekleyici gövde içermektedir.



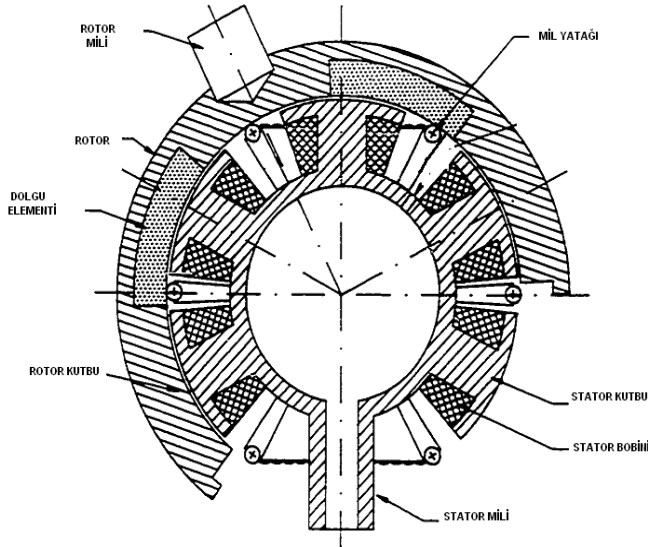
Şekil 1. Ultrasonik küresel motorun kavramsal şeması.

Rotor konik biçimli osilatör piezo elektrik element ve milden oluşmaktadır. Piezo elektrik element osilatör ve mil arasında bağlanmıştır. Yarı küresel stator küresel mil ile eş merkezli olarak osilatörün karşısında bükülmektedir. Piezo elektrik element kalınlık yönünde kutuplandırılmıştır ve  $90^\circ$  dört parçaya bölünerek dışı metalleştirilmiştir. Ultrasonik motorlar yüksek tork yoğunluğu, düşük tepkime süresi ve direkt kullanılabilen kapasite özelliklerini bize sunmuştur. Elektromanyetik küresel motorla kıyaslandığında ultrasonik küresel motorlar daha büyük sargı yapısına, basit yapısından dolayı hafifliğe ve kontrol kolaylığına sahiptirler.

### 2.2. Değişken Relüktanslı Küresel Motor

Değişken relüktanslı küresel motoru geliştirmekteki ilk amaç üç serbestlik derecesinde harekete sahip modelin teorik tasarımını keşfetmek, eğilim derecesini büyütmek ve gövde yapısını basitleştirmektir. Lee ve Wang tork modeli ve rotor dinamikleri açısından değişken relüktanslı küresel motorun dinamik modelini sunmuşlardır [26]. Değişken relüktanslı küresel motorda stator ve rotor kutupları küresel yüzeye eşit olarak dağıtılır. Bunun sonucunda motorda stator sargılarının çokluğuna göre her yönde eşit olarak yüksek kararlılık elde edilir [27]. Değişken relüktanslı küresel motorun genel karakteristiğine bakıldığında değişken relüktans

motorların çalışma prensibinin bu motor için de geçerli olduğu görülmektedir. Bu prensip stator sargılarının tek tek enerjilendirilmesidir. Şekil 2’de değişken relüktanslı küresel motorun yapısı verilmiştir. Şekildeki küresel motor iki tane küre içermektedir. Bu iki küre eş merkezlidir ve hava boşluğunda biri diğerini sargıların çekiminden dolayı desteklemektedir.

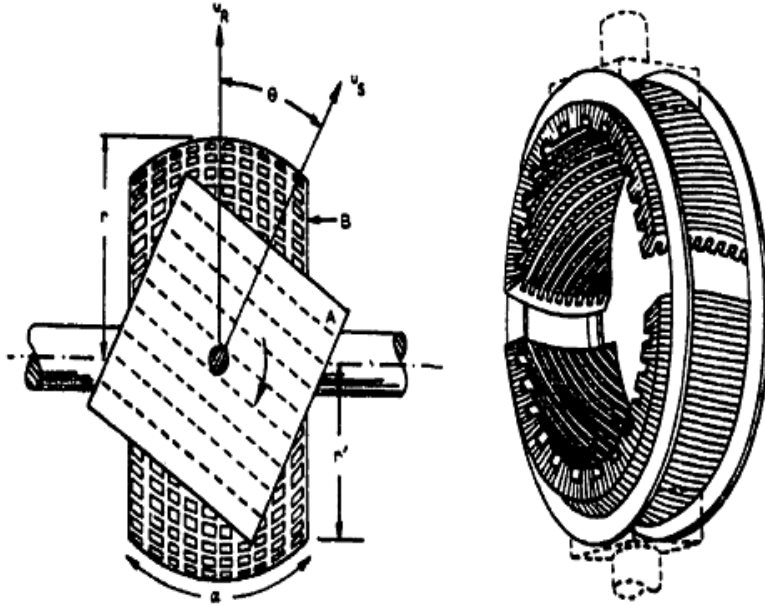


Şekil 2. Değişken relüktanslı motorun yapısı.

Bir takım ferromanyetik kutuplar stratejik olarak dış kürenin iç yüzeyine dağıtılmış ve başka bir kutup takımı da iç kürenin dış yüzeyine dağıtılmıştır. İç küreye stator denilmektedir. Stator üstündeki kutuplar veya stator kutupları ayrı ayrı enerjilendirilebilen sargılarla çevrelenmiştir. Diğer küreye ise rotor denir. Rotor kutbunun hiç sargısı yoktur. Güç iletimi için mil stator ve rotora bağlanır. Dairesel bir açıklık stator miline ulaşmak için rotor tarafından kesilir. Mil yatakları aralarına birer stator kutbu girecek şekilde monte edilmiştir. Bu mil yatakları rotora gereğinden fazla güç vermektedir bundan dolayı rotorun kontrolünü kaybetmesi ve kayması engellenir. Stator üzerindeki ufak kablo geçiş delikleri sargı gücünün boşluğun merkezinden stator miline doğru geçmesini sağlar. Bu delikler aynı zamanda havalandırma görevini yapmaktadırlar. Mil yatağının dönmesi için küresel yüzey düzgünleştirilir, rotor kutupları arasında ki boş alanlar metal olmayan sert bir madde ile doldurulur. Rotorun boyut uyumu Şekil 2’de gösterilmiştir. Mekanizmada iki adet sürgülü dairesel yatak, bir adet sabitleyici ve üç adet enkoder vardır. İki adet sürgülü yatak rotorla bitişik eksenlere dik monte edilmiştir. Bu iki eksen rotorun  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinat düzlemlerinden  $x$  ve  $y$  ekseninde uzanmakta olup sırasıyla  $x$  yolu ve  $y$  yolu denir. Sabitleyicinin kayması  $x$  yolu boyunca sınırlandırılmıştır. Sabitleyicinin statorun çapına benzeyen bir deliği vardır. Stator mili bu delikten geçerek  $y$  yolunda yuvalanır. Rotor, statora göre dönmeye başladığında stator mili rotora göre eğilmek için  $x$  ve  $y$  yolunu iterler. Bu eğim eksenlere yerleştirilen iki enkoder yardımıyla ölçülür. Bu ölçümler  $\theta_x$  ve  $\theta_y$  sembolleri ile gösterilir. Stator milinin devir sayısı, sabitleyicinin üstüne monte edilen üçüncü bir enkoder ile ölçülür ve  $\theta_z$  olarak adlandırılır.

### 2.3. Küresel İndüksiyon Motor

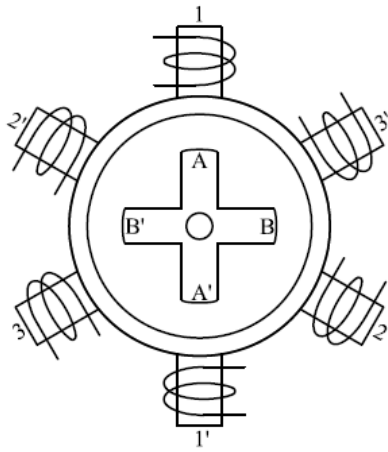
Küresel indüksiyon motorda tork dönüş yönüne bağlı olarak değişir ve yine dönüş yönüne bağlı olarak dönüş açısındaki hatalar da değişir [28]. Bu motorda stator hareketlidir. Küresel indüksiyon motorun boyutları çok büyüktür. Bu nedenle güç tüketimi ve bakır kayıpları fazladır. Çok güç tüketimi ve bakır kayıpları olan bu motorda istenilmeyen eddy kayıpları da fazladır. Şekil 3. Küresel motorun geometrisi verilmiştir.



Şekil 3. Küresel indüksiyon motorun geometrisi

#### 2.4. Küresel Adım Motoru

Johns Hopkins üniversitesi araştırmacıları küre şeklinde her yöne dönme kabiliyetine sahip bir motor geliştirmişlerdir. Bu motorda kullanılan elektro mıknatıslar bilgisayar tarafından kontrol edilebilmektedir ve bu motor robotların bileklerine büyük ölçüde esneklik ve hassasiyet vermiştir. Yano çok yüzlü cisim tabanlı küresel adım motoru tasarlamıştır [29]. Lee ve arkadaşları da robotik uygulamalar için bu motor üstünde çalışmalar yapmıştır [10]. Küresel adım motorun çalışma prensibi adım motorunun çalışma prensibi ile aynıdır. Şekil 4’de küresel adım motorun temel yapısı verilmiştir.



Şekil 4. Küresel adım motoru çalışma prensibi şeması

Şekil 4’de görüldüğü gibi elektromıknatıslar stator üzerine  $120^\circ$  açı ile yerleştirilmiştir. Stator kutuplarından farklı olarak simetrik şekilde rotor kutupları oluşturulmuştur. Elektromıknatıs 2 ve 2’ ’ye akım uygulandığında elektromıknatıs 2 B kutbunu, elektromıknatıs 2’ ise B’ kutbunu kendine doğru çeker. Rotor B kutbundan B’ kutbuna doğru saat yönünde hareket eder. Elektromıknatıs 2 ve 2’ ’ye uygulanan akım kesilip aynı anda elektromıknatıs 3 ve 3’ ’ye akım uygulandığında elektromıknatıs 3, A’ kutbunu kendine doğru çekerken elektromıknatıs 3’ ise A kutbunu kendine doğru çeker. Böylece enerjilenen stator üzerindeki elektromıknatıslar rotoru döndürecek biçimde bir tork üretirler.

Şekil 5’te küresel adım motoru görülmektedir. Manyetik kuvvetler ve karmaşık bilgisayar yazılımları motorun işlevini yapmaktadırlar. Bir kürenin içine 80 adet daimi mıknatıs yerleştirmişlerdir. Her biri numaralandırılmış 16 adet yüklü mıknatıs küreleri koninin üst kısmına yerleştirilmiştir. İki veya daha fazla

elektro mıknatısı aktif hale getirmek için kürenin içindeki sabit mıknatıslar kullanıcı tarafından tetiklenerek elektromıknatısların çekilmesi sağlanır [30]. Bu oluşan çekim sayesinde top yeni şeklini almıştır.



Şekil 5. Küresel adım motoru

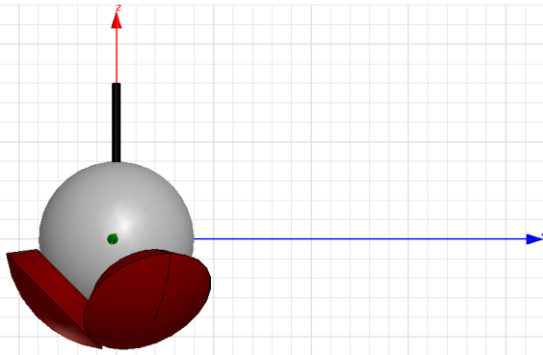
Araştırmacılar robotların bileklerinde üç boyutlu hareketi sağlayan küresel adım motorun yakın bir zamanda klasik motorun yerini alacağını düşünmektedirler. Şu anda robot bileklerinin üç boyutlu hareketi için altı ya da daha fazla klasik motora ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel motor tıpkı bir insan omzunun eklemleri gibi ve hatta dirseği gibi hareket etmektedir. Üç küresel motorun robot bileklerine verdiği hareket çeşidi altı klasik motorun robot bileklerine verdiği kadar fazladır. Küresel motorla daha az sayıda eklem yeri kullanılabilir çünkü her bir küresel motorun hareket alanı daha fazladır. Altı veya daha fazla klasik motorla çok ufak bir miktarda kıvrılma yapılabilir. Küresel adım motoru uygulamalarına kamera sistemlerinde, lazer kesicilerde rastlanır.

## 2.5. Küresel Nokta Motoru

Temel teorisi, manyetik alan yönü sabit mıknatısı yönlendirmek için sarılmış olan üç sargıya uygun akım oranları uygulamaktır. Küresel nokta motoru iki tipte tasarlanmıştır. Birincisinde sargılar arasında bir sabit mıknatıs vardır. İkinci tip tasarımda ise sabit mıknatıslar arasında hareketli sargı vardır. Küresel nokta motoru iki eksen boyunca serbest dönebilen küçük fotoğraf makinesi algılayıcısını yönlendirmek için tasarlanmıştır [31]. Tasarlanan küresel nokta motorunun tasarım kriterlerinde bazı problemler ortaya çıkmıştır. Tasarım zorluklarını şöyle ifade edebiliriz. Motorun merkez pozisyonunda hareket ve eğimin aynı anda mümkün olmamasıdır. A ve B sargıları eğimi kontrol ederken, A ve C sargıları hareketi kontrol etmektedir. Bu yapılar ile küresel nokta motoru  $x$  ve  $y$  ekseninde  $\pm 45^\circ$  lik hareketler yapılabilir.

## 2.6. Tasarlanan Sabit Mıknatıslı Küresel Motor

Şekil 6'da iki kutuplu sabit mıknatıslı rotor ve üç kutuplu statordan oluşan hava nüveli küresel bir motor gösterilmiştir [32].



(b)

Şekil 6. a) Küresel motor yapısı b) Küresel motor prototipi

Küresel motor tasarımında stator sargı makaraları ve bu sargı makaralarının yerleştirildiği stator Delrin malzemeden yapılmıştır. Delrin malzemenin seçilmesinde en önemli neden manyetik geçirgenliğin hava ile aynı değerde olmasıdır. Aynı zamanda tasarlanan küresel motor boyutlarının çok küçük olmasından dolayı

kullanılacak olan malzemenin mekanik dayanımının da iyi olması gerekir. Delrin üstün mekanik, termal, elektriksel, kimyasal özellikleri ve üniversal tezgâhlarda kolay işlenebilir olması uygulamada tercih nedeni olmuştur. Rotor sabit mıknatıstan oluşmaktadır ve NS olarak iki kutuptan meydana gelmektedir. Statorun çapı 11 mm, rotorun çapı ise 8 mm. dir. Tork değeri ise 30µNm dir.

## SONUÇ

Endüstriyel ve robotik uygulamalarda çok serbestli dönme hareketleri oldukça önemlidir. Normal elektrik motorları sabit bir eksen etrafında dönebilirken, küresel motor belli bir nokta etrafında her yöne dönüş sağlayabilir. Buda küresel motor kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Tasarlanan küresel motorlar güvenlik kameralarında, kişisel bilgisayar üzerine monte edilen bilgisayar kameralarında, robot bileklerinde ve lazer kesicilerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada küresel motorun tarihçesi verilerek farklı yapıdaki küresel motorlar tanıtılmıştır. Prototipi gerçekleştirilen bir küresel motor da kısaca tanıtılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Wang J, Jewell GW, Howe D. Analysis, design and control of a novel spherical permanent-magnet actuator. *IEE Proc.-Electr. Power Appl.* 1998;145(1):61-71.
2. Vachtsevanos G, Davey K, Power R. Development of a novel intelligent robotic manipulator. *IEEE Control Systems Magazine* 1987;7:9-15.
3. Davey K, Vachtsevanos G, Power R. The analysis of fields and torques in spherical induction motors. *IEEE Transactions on Magnetics* 1987;23(1):273-282.
4. Kaneko Y, Yamada I, Itao K. A spherical DC servo motor with three Degrees of freedom. *ASME Dynamic Systems and Controls Division* 1988;11: 398-402.
5. Foggia A, Pei J. New three degree of freedom electromagnetic actuator. Conference Record IAS Annual Meeting. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting* Oct.2-7 1988, Pittsburgh, PA, USA, 137-141.
6. Hollis RL, Ralph L. Magnetically levitated fine motion robot wrist with programmable compliance. United States Patent. 1989.
7. Lee KM, Vachtsevanos G, Kwan CK. Development of a spherical wrist stepper motor. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 26-29 April 1989, Philadelphia, USA. 267-272.
8. Lee KM, Pei J. Kinematic analysis of a three degree-of-freedom spherical wrist actuator. *Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments* 19-22 June 1991. Pisa, Italy. 72-77.
9. Lee KM, Wang X, Wang NH. Dynamic modeling and control of a ball-joint-like variable-reluctance spherical motor. *Symposium on Mechatronics, ASME Winter Annual Meeting*, 1993. New Orleans, USA. 71-79.
10. Lee KM, Kwan CE. Design concept development of a spherical stepper for robotic applications. *IEEE Transactiona on Robotics and Automation*. 1991;1(7):175-181.
11. Zhou Z, Lee KM. Real-time motion control of a multi-degree-of-freedom variable reluctance spherical motor. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 1996, Minneapolis, Minnesota, USA. 2859-2864.
12. Pei J. Methodology of Design and Analysis of Variable-Reluktance Spherical Motors”, Ph.D. Thesis, Mechanical engineering, Georgia Tech, USA, 1990.
13. Roth R, Lee KM. Design optimisation of a three degrees of freedom variable reluctance spherical wrist motor. *Transcations of the ASME Journal of Engineeringfor Industry*. 1995;117:378-388.
14. Toyoma S, Sugitani S, Zhang G, Miyatani Y, Nakamura K. Multi degree of freedom spherical ultrasonic motor. *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 21-27 1995 ,Nagoya, Japan. 2935-2940.
15. Mashimo T, Toyama S, Ishida H. Design and implementation of spherical ultrasonic motor. *IEEE Transactions on Ferroelectrics and Frequency Control* 2009; 56(11):2514-2521.
16. Wang J, Jewel G, Howe D. Modeling of a Novel Spherical Permanent Magnet Actuator. *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1997, New Mexico, USA, 1120-1125.
17. Ting Y, Tsai YR, Hou BK, Lin SC, Lu CC. Stator design of a new type of spherical piezoelectric motor. *IEEE Transactions on Ferroelectrics and Frequency Control* 2010;57(10):2334-2342.

18. Jinjun G, Kim DH, Son H. Effects of Magnetic Pole Design on Orientation Torque for a Spherical Motor. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 2013;18(4):1420-1425.
19. Akkaya Oy S , Gürdal O. Design and Application of a Two Pole Spherical Permanent Magnet Motor. *TEM Journal* 2018;7(1):53-58.
20. Li X, Liu J, Chen W, Bai S. Integrated design, modeling and analysis of a novel spherical motion generator driven by electromagnetic principle. *Robotics and Autonomous Systems* 2018;106:69-81.
21. Gan L, Pei Y, Chai F. Tilting torque calculation of a novel tiered type permanent magnet spherical motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2019;67(1):421-431.
22. Kim HY, Kim Y, Gweon DG, Jeong J. Development of a Novel Spherical Actuator with Two Degrees of Freedom. *Transaction on Magnetics* 2015;20(2):532-540.
23. Takesue N, OharaT, Ishibashi R, et al. Position Control Methods of Spherical Ultrasonic Motor. *International Conference on Intellignet Robots and Systems*. Oct. 2010, Taipei, Taiwan. 3061-3066.
24. Flynn AM. Performance of Ultrasonic Mini Motors Using Design of Experiments. *Smart Material Structures* 1998;7:286-294.
25. Huang Z, Shi S, Chen W, et al. Development of a novel spherical stator multi-DOF ultrasonic motor using in-plane non-axisymmetric mode. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2020;140: 106658.
26. Lee KM, Wang X, Wang NH. Dynamic Modeling and Control of a Ball Joint Like Variable Reluctance Spherical Motor. *Symposium on Mechatronics ASME Winter Annual Meeting* 1993, New Orleans, Louisiana USA, 71-79.
27. Zhou Z. Real-Time Control and Characterization of a Variable Reluctance Spherical Motor. Phd Thesis Georgia Institute of Technology, USA, 1995.
28. Ikeshita S, Gofuku A, KamegawaT, Nagai T. Development of a Spherical Motor Driven by Electro Magnets. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2010;24:43-46.
29. Yano T. Proposal of Polyhedron Based Spherical Stepping Motors. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* June 11-13 2008, Italy, 1433-1438.
30. Stein D. Design of Spherical Stepper Motor System”, Phd Thesis The Johns Hopkins University, USA, 2001.
31. Oner Y. Sabit Mıknatsızlı Küresel Motorun Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Manyetik Analizi, Tasarımı ve Uygulaması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2004.
32. Akkaya Oy S. Robotik sistemler için sabit mıknatıslı küresel motor, sürücü tasarımı ve uygulaması, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

## Başlangıç Değer Problemi. Kirchhoff Formülü

Çınar Davaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı

Özet

Bu bölümde iki ve üç uzay değişkenli dalga denklemi için, başlangıç değer probleminin çözümünü kuracağız. Üç boyutlu dalga denklemi için,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x = (x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3, t > 0 \quad (1)$$

$$u(x, 0) = \Phi(x); x \in \mathbb{R}^3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x); x \in \mathbb{R}^3 \quad (3)$$

başlangıç değer probleminin,  $x \in \mathbb{R}^3$ ,  $t > 0$  için  $u \in C^2$  sınıfından olan  $u(x, t)$  çözümünü arayacağız. Burada  $\Phi \in C^3(\mathbb{R}^3)$  ve  $\Psi \in C^2(\mathbb{R}^3)$  dir. Bunun için ilk olarak bir yardımcı teorem ile (1) – (3) başlangıç değer problemini özel başlangıç koşullu,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x \in \mathbb{R}^3, t > 0 \quad (4)$$

$$u(x, 0) = 0; x \in \mathbb{R}^3 \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = P(x); x \in \mathbb{R}^3 \quad (6)$$

başlangıç değer problemine indirir.  $k \geq 2$  olan herhangi bir tamsayı ve  $P \in C^k(\mathbb{R}^3)$ ;  $u_p, x \in \mathbb{R}^3$  ve  $t \geq 0$  için  $C^k$  sınıfından olmak üzere, (4) – (6) başlangıç değer probleminin çözümü;

$$u_p(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} P(y) d\sigma(y)$$

Kirchhoff formülü ile verilir. Burada  $S(x, t) = \{y: |y - x| = t\} \mathbb{R}^3$  de  $x$  merkezli  $t$  yarıçaplı küre yüzeyidir.  $d\sigma, S(x, t)$  küresinin yüzey alan elementidir.  $y$ , bu küre üzerinde integrasyonun değişken noktasıdır.  $u_p(x, t)$  çözümünün (4) – (6) özel başlangıç koşullu başlangıç değer problemini sağladığı yardımcı teorem ile gösterilir. Dolayısı ile (1) – (3) başlangıç değer probleminin çözümü,

$$u(x, t) = \frac{\partial u_\Phi}{\partial t} + u_\Psi(x, t)$$

fonksiyonu ile verilir. O halde üç boyutlu dalga denklemi için (1) – (3) başlangıç değer probleminin çözümü,

$$u(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} \Psi(y) d\sigma(y) + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_{S(x,t)} \Phi(y) d\sigma(y) \right]$$

formülü ile verilir.

Anahtar Kelimeler: Dalga denklemi, başlangıç değer problemi, Kirchhoff formülü, indirgeme metodu

### Başlangıç Değer Problemi. Kirchhoff Formülü

Bu bölümde iki ve üç uzay değişkenli dalga denklemi için başlangıç değer probleminin çözümünü kuracağız. Şimdi üç boyutlu dalga denklemi için,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad x = (x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3, t > 0 \quad (1)$$

$$u(x, 0) = \Phi(x); \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x); \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (3)$$

başlangıç değer problemini göz önüne alalım. Bu problemin  $x \in \mathbb{R}^3, t \geq 0$  olmak üzere  $u \in C^2$  sınıfından olan  $u(x, t)$  çözümünü arayalım. Çözüm için elde edilecek formülden de görüleceği gibi,  $u(x, t)$  nin istenen düzgünlükte olması için  $\Phi \in C^2(\mathbb{R}^3)$  ve  $\Psi \in C(\mathbb{R}^3)$  olmalıdır (Anar, 2005; Colton, 1988; Denemeyer, 1968).

İlk olarak bir yardımcı teorem ile (1) – (3) başlangıç değer problemini özel başlangıç koşullu,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3, t > 0 \quad (4)$$

$$u(x, 0) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = P(x); \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (6)$$

başlangıç değer problemine indirgenir.

#### Temel Teorem

$x \in \mathbb{R}^3, t \geq 0$  için tanımlanan ve  $u_p \in C^2$  sınıfından olan  $u_p(x, t)$  fonksiyonu (4) – (6) başlangıç değer probleminin çözümü olsun. O zaman

$$v(x, t) = \frac{\partial u_p}{\partial t}$$

fonksiyonu,

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3, t \geq 0 \quad (7)$$

$$v(x, 0) = P(x); \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (9)$$

başlangıç değer problemini sağlar. Burada  $x \in \mathbb{R}^3$  ve  $t \geq 0$  için  $v \in C^2$  sınıfındadır.

#### İspat

$v(x, t)$  fonksiyonu (7) dalga denklemini sağlar. Çünkü sabit katsayılı bir homogen kısmi diferansiyel denklemin çözümünün türevi de bir çözümdür.  $u_p(x, t)$  fonksiyonu (6) başlangıç koşulunu sağladığından,

$$v(x, 0) = \frac{\partial u_p}{\partial t}(x, 0) = P(x)$$



olur. Ayrıca,

$$\frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = \frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, 0) = \left( \frac{\partial^2 u_p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u_p}{\partial x_3^2} \right) \Big|_{t=0} = 0$$

sağlanır. Dikkat edilirse,  $u_p$  nin (4) dalga denklemini sağladığını,  $u_p$  ve  $u_p$  nin uzay değişkenlerine göre türevinin  $t = 0$  da sıfır değerini aldığı kullanıldı.

### Yardımcı Önerme

$x \in \mathbb{R}^3$  ve  $t \geq 0$  için  $u_\Phi \in C^2$  ve  $u_\Psi \in C$  fonksiyonları sırasıyla,

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u_\Phi(x, t) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3, t > 0$$

$$u_\Phi(x, 0) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u_\Phi(x, 0) = \Phi(x); \quad x \in \mathbb{R}^3$$

ve

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u_\Psi(x, t) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3, t > 0$$

$$u_\Psi(x, 0) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u_\Psi(x, 0) = \Psi(x); \quad x \in \mathbb{R}^3$$

başlangıç değer problemlerinin çözümleri olsunlar. O zaman,

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u(x, t) = 0 \tag{10}$$

$$u(x, 0) = \Phi(x) \tag{11}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x) \tag{12}$$

başlangıç değer probleminin çözümü,

$$u(x, t) = \frac{\partial u_\Phi}{\partial t}(x, t) + u_\Psi(x, t)$$

fonksiyonudur.

İspat

$$u(x, t) = \frac{\partial u_\Phi}{\partial t}(x, t) + u_\Psi(x, t)$$

fonksiyonu (10) dalga denklemini sağlar. Ayrıca,

$$u(x, 0) = \frac{\partial u_\Phi}{\partial t}(x, 0) + u_\Psi(x, 0) = \Phi(x) + 0 = \Phi(x)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial u_\Phi}{\partial t}(x, 0) + \frac{\partial u_\Psi}{\partial t}(x, 0) = \frac{\partial}{\partial t} \Phi(x) + \Psi(x) = 0 + \Psi(x) = \Psi(x)$$

başlangıç koşullarını da sağlar. Yani  $u(x, t)$  bir çözümdür.

### Kirchhoff Teoremi

$k \geq 2$  olan herhangi bir tamsayı ve  $P \in C(\mathbb{R}^3)$  olsun. O zaman,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3, t > 0 \quad (13)$$

$$u(x, 0) = 0; \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = P(x); \quad x \in \mathbb{R}^3 \quad (15)$$

başlangıç değer probleminin çözümü,

$$u_p(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} P(y) d\sigma(y) \quad (16)$$

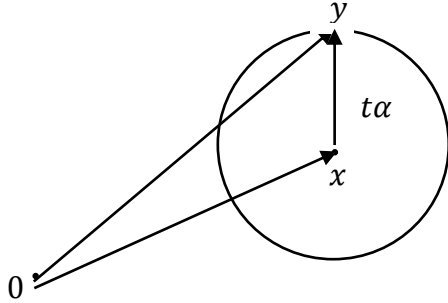
formülü ile verilir ve  $u_p, x \in \mathbb{R}^3$  ve  $t \geq 0$  için  $C^2$  sınıfındadır.

(16) formülü Kirchhoff Formülü olarak bilinir. (16) formülünde,

$S(x, t) = \{y: |y - x| = t\}$ ,  $\mathbb{R}^3$  de  $x$  merkezli,  $t$  yarıçaplı küre yüzeyidir.  $d\sigma, S(x, t)$  küresinin yüzey alan elementidir.  $y, S(x, t)$  küresi üzerinde integrasyonun değişken noktasıdır. (16) formülü, daha kullanışlı olması için, integrasyonun yeni değişkenleri ile,

$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3), |\alpha| = 1$  birim vektörü ve  $y \in S(x, t)$  olmak üzere;

$y = x + t\alpha$  veya  $y_1 = x_1 + t\alpha_1, y_2 = x_2 + t\alpha_2, y_3 = x_3 + t\alpha_3$  yazılır.



Şekil 1  $x$  merkezli,  $t$  yarıçaplı  $S(x, t)$  küresi

$y$  noktası  $S(x, t)$  küresi üzerinde değiştiğinde  $\alpha$  vektörü,  $S(0,1) = \{\alpha: |\alpha| = 1\}$  birim küresi üzerinde değişir.  $S(0,1)$  küresinin yüzey alan elementine  $d\alpha_1$  denirse,  $d\sigma(y) = t^2 d\alpha_1$  olur. Bu durumda Kirchhoff formülü,

$$u_p(x, t) = \frac{t}{4\pi} \int_{S(0,1)} P(x + t\alpha) d\alpha_1(\alpha) \quad (17)$$

biçimini alır.

Kirchhoff formülünün bir diğer yazılış biçimi,  $P$  fonksiyonunun  $S(x, t)$  küresi üzerindeki ortalama değeri  $M[P, S(x, t)]$  olmak üzere,

$$M[P, S(x, t)] = \frac{1}{4\pi t^2} \int_{S(x,t)} P(y) d\sigma(y) = \frac{1}{4\pi} \int_{S(0,1)} P(x + t\alpha) d\alpha_1(\alpha) \quad (18)$$

ile

$$u_p(x, t) = tM[P, S(x, t)] \quad (19)$$

biçimini alır.

İspat

$u_p(x, t)$  nin,  $u_p(x, 0) = 0$  ve  $\frac{\partial}{\partial t} u_p(x, 0) = P(x)$  başlangıç koşullarının sağlandığı gösterilir.  $P(x)$  in sürekliliği kullanılarak ortalama değer teoreminden,

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} M[P, S(x, t)] = P(x) \quad (20)$$

olduğu gösterilebilir; yani  $\alpha^* \in S(0,1)$  olmak üzere,

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} M[P, S(x, t)] = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{1}{4\pi} \int_{S(0,1)} P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha) = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{1}{4\pi} 4\pi P(x + t\alpha^*) = P(x)$$

olur.

Böylece (19) denkleminde,

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} u_p(x, t) = \lim_{t \rightarrow 0^+} tM[P, S(x, t)] = 0$$

elde edilir. Yani  $u_p(x, 0) = 0$  koşulu sağlanır.

Şimdi diğer koşulun sağlandığı gösterilir:

$P$  nin  $i$ . değişkenine göre kısmi türevini  $D_i P$  ile gösterilirse,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} P(x + t\alpha) &= \frac{\partial}{\partial t} P(x_1 + t\alpha_1, x_2 + t\alpha_2, x_3 + t\alpha_3) \\ &= D_1 P(x + t\alpha)\alpha_1 + D_2 P(x + t\alpha)\alpha_2 + D_3 P(x + t\alpha)\alpha_3 \\ &= [D_1 P(x + t\alpha), D_2 P(x + t\alpha), D_3 P(x + t\alpha)]. (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \\ &= \vec{\nabla} P(x + t\alpha) \cdot \vec{\alpha} \end{aligned}$$

olur.

(17) nin  $t$  ye göre türevi,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} u_p(x, t) &= \frac{1}{4\pi} \int_{S(0,1)} P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha) + \frac{t}{4\pi} \int_{S(0,1)} \frac{\partial}{\partial t} P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha) \\ &= \frac{1}{4\pi} \int_{S(0,1)} P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha) + \frac{t}{4\pi} \int_{S(0,1)} \nabla P(x + t\alpha) \cdot \alpha d\sigma_1(\alpha) \end{aligned} \quad (21)$$

elde edilir.

$t \rightarrow 0^+$  yaklaştığında, (21) in ilk terimi, (20) den dolayı  $P(x)$  e yaklaşır.  $P(x)$  in türevi sürekli olduğundan (21) in ikinci terimindeki integral sınırlıdır. Böylece  $t \rightarrow 0^+$  yaklaştığında ikinci terim sıfıra gider. Yani, (15) başlangıç koşulu sağlanır.

$u_p$  nin dalga denklemini sağladığını göstermek için, (21) şöyle yazılır.

$$\frac{\partial u_p}{\partial t}(x, t) = \frac{1}{t} u_p(x, t) + \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} \nabla P(y) \cdot \alpha d\sigma(y) \quad (21)$$

$S(x, t)$  küresinin birim dış normal  $\alpha$  vektörü olduğundan, divergens teoremi uygulanabilir.

Yani burada  $S(x, t)$  küresinden  $B(x, t)$  yuvarına geçilir.  $S(x, t)$  bölgenin sınırını ifade ederken  $B(x, t)$  bölgenin içini ifade eder.

O zaman divergens teoremi uygulanırsa,

$B(x, t) = \{y: |y - x| < t\}$ ,  $\mathbb{R}^3$  de  $x$  merkezli  $t$  yarıçaplı yuvar olmak üzere,

$$\frac{\partial u_p}{\partial t}(x, t) = \frac{1}{t} u_p(x, t) + \frac{1}{4\pi t} \int_{B(x,t)} \nabla^2 P(y) dy \quad (22)$$

elde edilir.

Şimdi (22) nin  $t$  ye göre türevi alınırsa,

$$\frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t) = -\frac{1}{t^2} u_p(x, t) + \frac{1}{t} \frac{\partial u_p}{\partial t}(x, t) - \frac{1}{4\pi t^2} \int_{B(x,t)} \nabla^2 P(y) dy + \frac{1}{4\pi t} \frac{\partial}{\partial t} \int_{B(x,t)} \nabla^2 P(y) dy$$

burada (22) değeri yerine konulursa,

$$\frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \frac{\partial}{\partial t} \int_{B(x,t)} \nabla^2 P(y) dy$$

elde edilir. Buradaki integralin  $t$  ye göre türevini hesaplamak için küresel koordinatlara geçilir.

$B(x, t) = \{y: |y - x| < t\}$ ,  $t \geq 0$ ,  $0 \leq \phi \leq \pi$  ve  $0 \leq \theta \leq 2\pi$  küresel koordinatlarda,

$$y_1 - x_1 = t \sin \phi \cos \theta$$

$$y_2 - x_2 = t \sin \phi \sin \theta$$

$$y_3 - x_3 = t \cos \phi$$

hacim elementi  $dy = t^2 \sin \phi dt d\phi d\theta$ , yüzey alanı  $d\sigma = t^2 \sin \phi d\phi d\theta$  ve

$$\vec{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (\sin \phi \cos \theta, \sin \phi \sin \theta, \cos \phi)$$

olmak

üzere,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_{B(x,t)} \nabla^2 P(y) dy &= \frac{\partial}{\partial t} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^t \nabla^2 P(y) \rho^2 \sin \phi d\rho d\phi d\theta \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_0^{2\pi} \nabla^2 P(y) d\theta \int_0^\pi \sin \phi d\phi \int_0^t \rho^2 d\rho \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{t^3}{3} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \nabla^2 P(y) \sin \phi d\phi \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \nabla^2 P(y) t^2 \sin \phi d\phi \\ &= \int_{S(x,t)} \nabla^2 P(y) d\sigma(y) \end{aligned}$$

elde edilir. O halde,

$$\frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} \nabla^2 P(y) d\sigma(y)$$

veya

$$\frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t) = \frac{t}{4\pi} \int_{S(0,1)} \nabla^2 P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha)$$

şeklinde yazılabilir.

Şimdi (17) nin iki yanına,  $x$  e göre Laplasiyen  $\nabla^2$  operatörü uygulanırsa,

$$\nabla^2 u_p(x, t) = \frac{t}{4\pi} \int_{S(0,1)} \nabla^2 P(x + t\alpha) d\sigma_1(\alpha) = \frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t)$$

$$\nabla^2 u_p(x, t) - \frac{\partial^2 u_p}{\partial t^2}(x, t) = 0$$

elde edilir.

Yani  $u_p(x, t)$  çözüm olduğundan dalga denklemini sağlar.

Böylece (1) – (3) başlangıç değer probleminin çözümü yardımcı teoremlerle elde edilmiş oldu.

### **Teorem: Boyut İndirgeme (Descent) Metodu**

$\Phi \in C^3(\mathbb{R}^3)$  ve  $\Psi \in C^2(\mathbb{R}^3)$  olsun. O zaman üç boyutlu dalga denklemi için olan,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x \in \mathbb{R}^3, t > 0$$

$$u(x, 0) = \Phi(x); x \in \mathbb{R}^3$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x); x \in \mathbb{R}^3$$

başlangıç değer probleminin,  $x \in \mathbb{R}^3$  ve  $t \geq 0$  bölgesinde  $u \in C^2$  çözümü,

$$u(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} \Psi(y) d\sigma(y) + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x,t)} \Phi(y) d\sigma(y) \right] \quad (23)$$

formülü ile verilir.

Şimdi iki boyutlu dalga denklemi için başlangıç değer probleminin çözümü indirgeme metodu ile üç boyutlu başlangıç değer probleminin çözümünden elde edilir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x \in \mathbb{R}^2, t > 0 \quad (24)$$

$$u(x, 0) = \Phi(x); x \in \mathbb{R}^2 \quad (25)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x); x \in \mathbb{R}^2 \quad (26)$$

probleminin başlangıç verileri  $\Phi(x) = \Phi(x_1, x_2)$  ve  $\Psi(x) = \Psi(x_1, x_2)$   $\mathbb{R}^3$  de tanımlansın. Fakat  $x_3$  değişkenine bağlı olmasınlar. Bu fonksiyonlar Kirchhoff formülünde yerine konursa üç boyutlu dalga

denkleminin çözümü bulunur; fakat bu çözüm,  $x_3$  değişkenine bağlı olmadığından aslında iki boyutlu (24) dalga denkleminin çözümü bulunmuş olur. Eğer,  $P(x) = P(x_1, x_2)$  ise Kirchhoff formülü,

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x, t)} P(y) d\sigma(y) \\ &= \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, x_2, x_3; t)} P(y_1, y_2) d\sigma(y) \\ &= \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, x_2, 0; t)} P(y_1, y_2) d\sigma(y) \end{aligned}$$

olur.

$S(x_1, x_2, 0; t) = \{(y_1, y_2, y_3): (y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2 + y_3^2 = t^2\}$  olduğundan,

$$y_3 = \pm \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}$$

elde edilir.

$$d\sigma(y) = \sqrt{1 + \left(\frac{\partial y_3}{\partial y_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y_3}{\partial y_2}\right)^2} dy_1 dy_2$$

yüzey alan elementini hesaplamak için,

$$\frac{\partial y_3}{\partial y_1} = \frac{(-2)(y_1 - x_1)}{2\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} = \frac{-(y_1 - x_1)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}}$$

$$\left(\frac{\partial y_3}{\partial y_1}\right)^2 = \frac{(y_1 - x_1)^2}{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}$$

$$\frac{\partial y_3}{\partial y_2} = \frac{(-2)(y_2 - x_2)}{2\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} = \frac{-(y_2 - x_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}}$$

$$\left(\frac{\partial y_3}{\partial y_2}\right)^2 = \frac{(y_2 - x_2)^2}{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}$$

ifadeleri  $d\sigma(y)$  eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$d\sigma(y) = \frac{t}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2$$

olur.

Böylece,

$$\begin{aligned} u_p(x, t) &= \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, x_2, 0; t)} P(y_1, y_2) d\sigma(y) \\ &= \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, x_2, 0; t)} P(y_1, y_2) \frac{t}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 \\ &= \frac{1}{4\pi} \int_{S(x_1, x_2, 0; t)} \frac{P(y_1, y_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 \end{aligned}$$

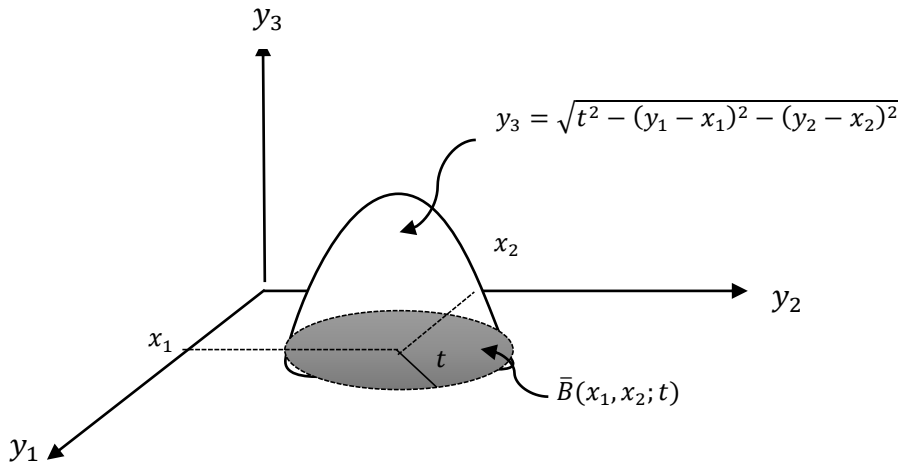
$P(y_1, y_2)$  değeri, sadece  $(y_1, y_2)$  noktasına bağlı olduğu için kürenin aşağısında ve yukarısında aynı değeri almaktadır. Yani kürenin tüm yüzeyinde integral almak yerine sadece üst kısmında integral alınıp 2

ile çarpılırsa aynı sonuca ulaşılır. Üst kısmında integral alırken de  $x_3 = 0$  olduğundan  $S(x_1, x_2, 0; t)$  küresi aslında,  $\mathbb{R}^2$  de izdüşümü olan  $(x_1, x_2)$  merkezli  $t$  yarıçaplı  $\bar{B}(x_1, x_2; t)$  kapalı yuvarına dönüşür. Dolayısı ile,

$$\bar{B}(x_1, x_2; t) = \{(y_1, y_2): (y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2 \leq t^2\} \text{ olmak üzere,}$$

$$\begin{aligned} u_p(x, t) &= \frac{1}{4\pi} \int_{\bar{B}(x_1, x_2; t)} \frac{2P(y_1, y_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{\bar{B}(x_1, x_2; t)} \frac{P(y_1, y_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 \end{aligned} \quad (27)$$

elde edilir. (27) formülünde  $u_p(x, t) = u_p(x_1, x_2; t)$  dir.  $\bar{B} = (x_1, x_2; t)$ ,  $\mathbb{R}^2$  de  $(x_1, x_2)$  merkezli  $t$  yarıçaplı disk olur.



Şekil 2  $(x_1, x_2)$  merkezli,  $t$  yarıçaplı  $\bar{B} = (x_1, x_2; t)$  kapalı yuvarı

Şimdi (24) – (26) başlangıç değer probleminin çözümü aşağıdaki teorem ile verilir.

### Teorem

$\Phi \in C^3(\mathbb{R}^2)$  ve  $\Psi \in C^2(\mathbb{R}^2)$  olsun. O zaman,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x \in \mathbb{R}^2, t > 0$$

$$u(x, 0) = \Phi(x); x \in \mathbb{R}^2$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x); x \in \mathbb{R}^2$$

iki boyutlu dalga denklemi için başlangıç değer probleminin  $(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$  ve  $t \geq 0$  bölgesinde

$u \in C^2$  çözümü,

$$u(x_1, x_2; t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\bar{B}=(x_1, x_2; t)} \frac{\Psi(y_1, y_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{\bar{B}=(x_1, x_2; t)} \frac{\Phi(y_1, y_2)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} dy_1 dy_2 \right] \quad (28)$$

formülü ile verilir.

Şimdi de indirgeme (descent) metodu ile bir boyutlu dalga denklemi için başlangıç değer probleminin çözümünü yine üç boyutlu problemin çözümü indirgenerek elde edilir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad x_1 \in \mathbb{R}, t > 0 \quad (29)$$

$$u(x_1, 0) = \Phi(x_1); \quad x_1 \in \mathbb{R} \quad (30)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x_1, 0) = \Psi(x_1); \quad x_1 \in \mathbb{R} \quad (31)$$

O zaman (16) Kirchhoff formülünde  $P(x) = P(x_1)$  olacağından,

$$u_p(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, x_2, x_3; t)} P(y) d\sigma(y) = \frac{1}{4\pi t} \int_{S(x_1, 0, 0; t)} P(y_1) d\sigma(y)$$

yazılabilir.

$S(x_1, 0, 0; t) = \{(y_1, y_2, y_3): (y_1 - x_1)^2 + y_2^2 + y_3^2 = t^2\}$  olduğundan,

$y_3 = \pm \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}$  ve

$$d\sigma(y) = \sqrt{1 + \left(\frac{\partial y_3}{\partial y_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y_3}{\partial y_2}\right)^2} dy_1 dy_2$$

şeklinde bulunur.

$d\sigma(y)$  yüzey alan elementini hesaplamak için,

$$\frac{\partial y_3}{\partial y_1} = \frac{(-2)(y_1 - x_1)}{2\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} = \frac{-(y_1 - x_1)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}}$$

$$\left(\frac{\partial y_3}{\partial y_1}\right)^2 = \frac{(y_1 - x_1)^2}{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}$$

$$\frac{\partial y_3}{\partial y_2} = \frac{(-2)y_2}{2\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} = \frac{-y_2}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}}$$

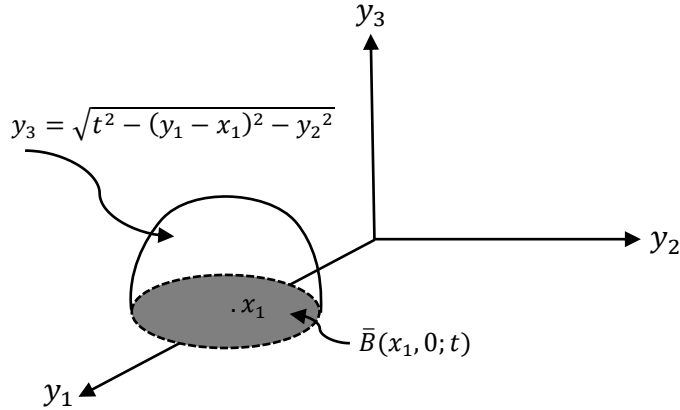
$$\left(\frac{\partial y_3}{\partial y_2}\right)^2 = \frac{y_2^2}{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}$$

ifadeleri  $d\sigma(y)$  eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$d\sigma(y) = \frac{t}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} dy_1 dy_2$$



olur.



Şekil 3  $x_1$  merkezli,  $t$  yarıçaplı  $\bar{B}(x_1, 0; t)$  kapalı yuvarı

O halde,

$$u_p(x, t) = u_p(x_1, t)$$

$$= \frac{1}{4\pi t} \left[ \int_{y_3 = \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} P(y_1) d\sigma(y) + \int_{y_3 = -\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} P(y_1) d\sigma(y) \right]$$

veya

$\bar{B}(x_1, 0; t) = \{(y_1, y_2): (y_1 - x_1)^2 + y_2^2 \leq t^2\}$  olduğundan  $\bar{B}(x_1, 0; t)$  üzerinde,  
 $x_1 - t \leq y_1 \leq x_1 + t$  ve  $-\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2} \leq y_2 \leq \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2}$  arasında değişir.

Dolayısı ile,

$$u_p(x_1, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{\bar{B}(x_1, 0; t)} \frac{2tP(y_1)}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} dy_1 dy_2$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{x_1 - t}^{x_1 + t} P(y_1) dy_1 \int_{-\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2}}^{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2}} \frac{1}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - y_2^2}} dy_2$$

olur.

$y_2 = \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2} \sin \theta$  dönüşümü ile ikinci integral,

$dy_2 = \sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2} \cos \theta d\theta$  olmak üzere,

$$\begin{aligned}
& \int_{-\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2}}^{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2}} \frac{dy_2}{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2-y_2^2}} = 2 \int_0^{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2}} \frac{dy_2}{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2-y_2^2}} \\
& = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2} \cos \theta d\theta}{\sqrt{[t^2-(y_1-x_1)^2] - [t^2-(y_1-x_1)^2] \sin^2 \theta}} \\
& = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{t^2-(y_1-x_1)^2} \cos \theta d\theta}{\sqrt{[t^2-(y_1-x_1)^2](1-\sin^2 \theta)}} = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{\cos^2 \theta}} = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \theta d\theta}{\cos \theta} \\
& = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\theta = \pi
\end{aligned}$$

elde edilir. Böylece,

$$u_p(x, t) = u_p(x_1, t) = \frac{1}{2} \int_{x_1-t}^{x_1+t} P(y_1) dy_1$$

olur.

### Teorem

$\Phi \in C^2(\mathbb{R})$  ve  $\Psi \in C^1(\mathbb{R})$  olsun. O zaman,  $x_1 \in \mathbb{R}$  ve  $t \geq 0$  bölgesinde, bir boyutlu dalga denklemi için (29) – (31) başlangıç değer probleminin çözümü,

$$u(x_1, t) = \frac{1}{2} \int_{x_1-t}^{x_1+t} \Psi(y_1) dy_1 + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{2} \int_{x_1-t}^{x_1+t} \Phi(y_1) dy_1 \right] \quad (32)$$

veya Leibnitz türev formülü ile,

$$u(x_1, t) = \frac{1}{2} \int_{x_1-t}^{x_1+t} \Psi(y_1) dy_1 + \frac{1}{2} [\Phi(x_1+t) + \Phi(x_1-t)]$$

olur. Bu çözüm D'Alembert çözümüdür.

Şimdiye kadar incelenen başlangıç değer problemlerinde,  $(x, t)$  noktasındaki,  $u(x, t)$  çözümünün bağımlılık bölgesi dikkate alındığında şu görülür:  $u(x, t)$  çözümü, tepesi  $(x, t)$  de olan, gerileyen karakteristik koninin  $t = 0$  yüzeyi ile arakesiti olan parçası üzerindeki başlangıç verilerine bağlıdır. Bu başlangıç yüzeyi,  $\mathbb{R}^n$  x-uzayında  $\bar{B}(x, t)$ ,  $x$  merkezli  $t$  yarıçaplı kapalı yuvardır. (23), (28) ve (32) formüllerinden de görüleceği gibi  $n = 1$ ,  $n = 2$  ve  $n = 3$  için  $u(x, t)$  çözümü,  $\bar{B}(x, t)$  de verilen başlangıç verilerine bağlıdır.

### Örnek

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x = (x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3, t > 0$$

$$u(x, 0) = \Phi(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2; x \in \mathbb{R}^3$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x) = x_1 x_2; \quad x \in \mathbb{R}^3$$

denklemleri ile tanımlanan başlangıç değer problemi göz önüne alınırsa,

Çözümü (23) Kirchhoff formülü ile,

$$u(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{|y-x|=t} \Psi(y) d\sigma(y) + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{4\pi t} \int_{|y-x|=t} \Phi(y) d\sigma(y) \right]$$

olarak verilmişti. Bu formülde  $S(x, t)$  küresi,

$$S(x, t) = \{(y_1, y_2, y_3): (y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2 + (y_3 - x_3)^2 = t^2\}$$

dir. Başlangıç verileri formülde yerine yazılırsa,

$$u(x, t) = \frac{1}{4\pi t} \int_{|y-x|=t} y_1 y_2 d\sigma(y) + \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{4\pi t} \int_{|y-x|=t} (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) d\sigma(y) \right]$$

olur.

Küresel koordinatlara geçilirse,  $0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq \theta \leq 2\pi$  olmak üzere,

$$y_1 - x_1 = t \sin \varphi \cos \theta$$

$$y_2 - x_2 = t \sin \varphi \sin \theta$$

$$y_3 - x_3 = t \cos \varphi$$

$d\sigma = t^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$  ile,

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \frac{1}{4\pi t} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (x_1 + t \sin \varphi \cos \theta)(x_2 + t \sin \varphi \sin \theta) t^2 \sin \varphi d\theta d\varphi \\ &+ \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{1}{4\pi t} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} [(x_1 + t \sin \varphi \cos \theta)^2 + (x_2 + t \sin \varphi \sin \theta)^2 + (x_3 + t \cos \varphi)^2] t^2 \sin \varphi d\theta d\varphi \right\} \\ u(x, t) &= \frac{1}{4\pi t} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (x_1 x_2 + x_1 t \sin \varphi \cos \theta + x_2 t \sin \varphi \sin \theta + t^2 \sin^2 \varphi \cos \theta \sin \theta) t^2 \sin \varphi d\theta d\varphi \\ &+ \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{1}{4\pi t} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (x_1^2 + 2x_1 t \sin \varphi \cos \theta + t^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \theta + x_2^2 + 2x_2 t \sin \varphi \sin \theta \right. \\ &\quad \left. + t^2 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta + x_3^2 + 2x_3 t \cos \varphi + t^2 \cos^2 \varphi) t^2 \sin \varphi d\theta d\varphi \right] \\ u(x, t) &= \frac{t}{4\pi} \left\{ x_1 x_2 \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi \int_0^{2\pi} d\theta + x_1 t \int_0^\pi \sin^2 \varphi d\varphi \int_0^{2\pi} \sin \theta d\theta + x_2 t \int_0^\pi \sin^2 \varphi d\varphi \int_0^{2\pi} \cos \theta d\theta \right. \\ &\quad \left. + t^2 \int_0^\pi \sin^3 \varphi d\varphi \int_0^{2\pi} \cos \theta \sin \theta d\theta \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{t}{4\pi} \left[ x_1^2 \int_0^\pi \sin \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} d\theta + 2x_1 t \int_0^\pi \sin^2 \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} \cos \theta \, d\theta \right. \right. \\
& + t^2 \int_0^\pi \sin^3 \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \, d\theta + x_3^2 \int_0^\pi \sin \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} d\theta \\
& \left. \left. + 2x_3 t \int_0^\pi \cos \varphi \sin \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} d\theta + t^2 \int_0^\pi \cos^2 \varphi \sin \varphi \, d\varphi \int_0^{2\pi} d\theta \right] \right\}
\end{aligned}$$

olur.

$$\int_0^\pi \sin \varphi \, d\varphi = 2, \int_0^\pi \sin^3 \varphi \, d\varphi = \frac{4}{3}, \int_0^{2\pi} \sin \theta \, d\theta = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \, d\theta = \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta \, d\theta = \pi, \int_0^{2\pi} \cos \theta \, d\theta = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \cos \theta \sin \theta \, d\theta = 0, \int_0^\pi \cos \varphi \sin \varphi \, d\varphi = 0, \int_0^\pi \cos^2 \varphi \sin \varphi \, d\varphi = 0$$

integral değerleri ile,

$$u(x, t) = \frac{t}{4\pi} \{x_1 x_2 \cdot 2.2\pi + x_1 t \cdot 0 + x_2 t \cdot 0 + t^2 \cdot 0\}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{t}{4\pi} \left[ x_1^2 \cdot 2.2\pi + 2x_1 t \cdot 0 + t^2 \frac{4}{3} \pi + x_3^2 \cdot 2.2\pi + 2x_2 t \cdot 0 + t^2 \frac{4}{3} \pi + x_3^2 \cdot 2.2\pi \right. \right. \\
& \left. \left. + 2x_3 t \cdot 0 + t^2 \frac{2}{3} 2\pi \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$u(x, t) = \frac{t}{4\pi} (4\pi x_1 x_2) + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{t}{4\pi} \left( 4\pi x_1^2 + \frac{4}{3} \pi t^2 + 4\pi x_2^2 + \frac{4}{3} \pi t^2 + 4\pi x_3^2 + \frac{4}{3} \pi t^2 \right) \right\}$$

$$u(x, t) = x_1 x_2 t + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{t}{4\pi} (4\pi x_1^2 + 4\pi x_2^2 + 4\pi x_3^2 + 4\pi t^2) \right\}$$

$$u(x, t) = x_1 x_2 t + \frac{\partial}{\partial t} (x_1^2 t + x_2^2 t + x_3^2 t + t^3)$$

$$u(x, t) = x_1 x_2 t + x_1^2 t + x_2^2 t + x_3^2 t + 3t^2$$

elde edilir.

Örnek

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2, t > 0$$

$$u(x, 0) = \Phi(x) = x_1^3 x_2^2; x \in \mathbb{R}^2$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \Psi(x) = x_1^2 x_2^4 - 3x_1^3; x \in \mathbb{R}^2$$

denklemleri ile tanımlanan iki boyutlu dalga denklemi için başlangıç değer probleminin çözümü Kirchhoff formülü ile,

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{|y-x| \leq t} \frac{\Psi(y_1, y_2) dy_1 dy_2}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} + \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_{|y-x| \leq t} \frac{\Phi(y_1, y_2) dy_1 dy_2}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} \right]$$

olarak verilmişti. Bu formülde,  $|y - x| \leq t$  kapalı yuvarı,

$$\bar{B}(x, t) = \{(y_1, y_2) \in \mathbb{R}^2: (y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2 \leq t^2\}$$

dır.

Kutupsal koordinatlara geçilirse,  $0 \leq r \leq t, 0 \leq \theta \leq 2\pi$  olmak üzere,

$$\begin{aligned} y_1 - x_1 &= r \cos \theta \\ y_2 - x_2 &= r \sin \theta \\ dy_1 dy_2 &= r dr d\theta \text{ ile,} \end{aligned}$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{|y-x| \leq t} \frac{(y_1^2 y_2^4 - 3y_1^3) dy_1 dy_2}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} + \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_{|y-x| \leq t} \frac{(y_1^3 y_2^2) dy_1 dy_2}{\sqrt{t^2 - (y_1 - x_1)^2 - (y_2 - x_2)^2}} \right]$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_0^{2\pi} \frac{[(x_1 + r \cos \theta)^2 (x_2 + r \sin \theta)^4 - 3(x_1 + r \cos \theta)^3]}{\sqrt{t^2 - r^2}} r d\theta dr$$

$$+ \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \int_0^t \int_0^{2\pi} \frac{(x_1 + r \cos \theta)^3 (x_2 + r \sin \theta)^2}{\sqrt{t^2 - r^2}} r d\theta dr \right\}$$

$$\begin{aligned} u(x, t) &= x_1^3 x_2^2 + (3x_1 x_2^2 + x_1^3) t^2 + x_1 t^4 + (x_1^2 x_2^4 - 3x_1^3) t + \frac{1}{3} (x_2^4 - 9x_1 + 6x_1^2 x_2^2) t^3 \\ &\quad + \frac{1}{5} (2x_2^2 + x_1^2) t^5 + \frac{1}{35} t^7 \end{aligned}$$

elde edilir.

Kaynaklar

Anar, İ. E. (2005). *Kısmi Diferansiyel Denklemler*. Ankara: Palme Yayıncılık.

Colton, D. (1988). *Partial Differential Equations: An Introduction*. New York: Random House

Denemeyer, R. (1968). *Introduction to Partial Differential Equations and Boundary Value Problems*. McGraw: Hill Book Company.



# İnşaat Projelerinde Tespit Edilen Proje Risklerinin Proje Süresine Ve Maliyetine Etkisinin İncelenmesi

İnş. Müh. Elif Genç<sup>1</sup>, İnş. Müh. Feyza Erdem<sup>1</sup>, İnş. Müh. Harun Kartal<sup>1</sup>, İnş. Müh. Yasemin Çelebi<sup>1</sup>

Prof. Dr. Rifat Akbıyıklı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi

## Özet

İnşaat sektörü, yapısından dolayı risk faktörü ile ilişki içerisinde. İnşaat sektöründeki firmaların, risk yönetimine gereken önemi vermeleri, risk yönetimini projelerin ana bileşenlerinden biri olarak görmeleri firmaların sürekliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, risk yönetiminin inşaat sektörü içerisindeki farkındalığını artırmak, risk faktörünün projeye olumsuz etkilerinin ne derece olduğunu göstermek ve risk yönetiminin nasıl daha verimli kullanılabilmesi hakkında bilgi vermektir. Bu çalışma kapsamında, üç adet okul projesi üzerinde riskler tanımlanmış, nitel ve nicel risk analizlerinin yapılmıştır. Nitel ve nicel risk analizinin yapılabilmesi için Primavera Risk Analysis programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, proje planlamaları yapılırken riskin göz ardı edilemeyecek bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda inşaat projelerinde riskin proje süresine ve maliyetine olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: risk, risk analizi, risk yönetimi, inşaat maliyeti, proje yönetimi.

## Giriş

İnşaat sektörü proje bazlı bir sektördür. Her proje kendi içerisinde karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapının sebep olduğu birçok olumsuz etki bulunmaktadır. Bu olumsuz etkileri azaltabilmenin yollarından biri de risk yönetimini proje yaşam döngüsüne dâhil etmektir. İnşaat sektörü en riskli sektörlerden biri olmasına rağmen risk yönetimi sektör içerisinde çok fazla bilinmemekte, bilinse bile verimli kullanılamamaktadır. Bu çalışmanın amacı, risk yönetiminin inşaat sektörü içerisindeki farkındalığını arttırmak, risk faktörünün projeye olumsuz etkilerinin ne derece olduğunu göstermek ve risk yönetiminin nasıl daha verimli kullanılabilmesi hakkında bilgi vermektir. Bu çalışma kapsamında, üç adet okul projesi üzerinde riskler tanımlanmış, nitel ve nicel risk analizlerinin yapılmıştır. Nitel ve nicel risk analizinin yapılabilmesi için Primavera Risk Analysis programı kullanılmıştır.

## Risk

Risk ile ilgili literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Risk, kayba veya zarara yol açabilecek bir olayın meydana gelme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Risk, projenin hedefinden pozitif veya negatif etkiye sebep olabilecek önceden öngörülemeyen olay ya da durumları ifade etmektedir[1]. Dolayısıyla risk kavramı bir yandan zarar ve kayıp olarak görülse de bir yandan da fırsat ve kazanç olarak görülebilmektedir[2].

Risk, projenin hedeflenen sonucuna ulaşamama, kayba uğrama olasılığı ile bu olasılığın meydana gelmesi durumunda oluşacak olumsuz etkinin şiddetinin fonksiyonudur[3].

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Etki}$$

Bir olayda riskin varlığının kabul edilebilmesi için; belli bir olasılık ile meydana gelip gelemeyeceğinin tanımlanması gerekir. Risk, oluşacak sonuçların sapma büyüklüğünü ölçen bir kavramdır[4].

İnşaat sektörü de diğer sektörlerde olduğu gibi belirsizlik ve risklere maruz kalmaktadır. Her inşaat projesi içerisinde risk barındırmaktadır. Ancak, bu riskler yönetilebilir, en aza indirgenebilir, paylaşılabilir, transfer edilebilir veya kabullenilebilir[5].

## Risk Yönetimi

Riskin ortaya çıkmadan önce öngörülerek etkisinin en aza indirilmesi esastır. Riskin azaltılmasına yönelik olan çalışmalar hem sorunların oluşmadan önlenmesini sağlar hem de önemli fırsatları yakalama şansı sunar.

Risk yönetiminin faydası iki ana başlıkta değerlendirilebilir. Birincisi, risklerin ortaya çıkmadan önlenmesi veya olumsuz etkilerinin en aza indirilmesidir. İkincisi ise, risklerin ana nedenlerinin tespit edilmesidir[3].

PMI'ya göre "Risk yönetimi, proje kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını, bilgi bazlı karar vermeyi, belirsizlikleri ve belirsizliklerin yaratacağı olumsuz etkileri daha kabul edilebilir bir düzeye indirgemeyi sağlamaktadır."[6]

Risk yönetimi aşağıdaki temel faaliyetleri içerir:

- Risk yönetiminin planlanması
- Risklerin tanımlanması
- Risklerin oluşma olasılığı ve sonuca etkilerinin belirlenmesi
- Risklerin önem derecesinin belirlenmesi
- Risklerin sayısallaştırılması
- En kritik risklerin belirlenmesi
- Risklerin temel nedenlerinin belirlenmesi
- Riskleri en aza indireyecek faaliyetlerin ve önlemlerin planlanması, uygulanması
- Risk azaltma ve yönetim faaliyetlerinin etkinliğinin izlenmesi
- Risk yönetim sisteminin sürekli iyileştirilmesi

Risk kavramı literatür kapsamında incelendiğinde genellikle olumsuz etkisiyle ele alınmaktadır. Ancak risklerin olumsuz etkilerinin yanında olumlu etkileri de bulunmaktadır. Risklerin doğru değerlendirilmesi, kalitenin daha ucuza temin edilebilmesi ve proje başarısının artırılması sağlamaktadır[7].

### **Risk Yönetim Süreçleri**

PMI'a göre proje risk yönetim süreçleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Risk yönetimini planlama
2. Risk tanımlama
3. Risk analizi
4. Risklere cevap planı oluşturma
5. Risk izleme ve kontrol etme[8]

#### **-Risk yönetimini planlama**

Risk yönetiminde ilk yapılması gereken proje risk yönetim planının oluşturulmasıdır. Proje risk yönetim planı proje başlangıcında geliştirilir, risk yönetimi süresince uygulanır ve gerektiğinde güncellenebilir[9].

Risk yönetimi planlama aşaması kendi içinde 3 basamağa ayrılır. İlki, projenin başlangıç anında hazırlanan, risk yönetim stratejisi ve risk yönetiminin nasıl uygulanacağını faaliyetlerinin planlanmasıdır. Bu aşamanın ürünü, "risk yönetim planı"dır. İkincisi, tespit edilen ve analizi yapılan risklerin, meydana gelme olasılığını ve etkisini en az seviyeye getirmek amacıyla tepkisinin planlanmasıdır. Bu aşamanın ürünü, "risk azaltma planı"larıdır. Üçüncü planlama aşaması, tespit edilen risklerin, problem haline gelmesi durumunda, atılacak adımların tespit edilmesi ve planlanmasını amaçlayan önlemlerin planlanmasıdır. Bu aşamanın ürünü "önlem planları"dır[10].

#### **-Risk tanımlama**

Risk tanımlama süreci, projede karşımıza çıkabilecek tüm risklerin belirlenmeye çalışıldığı süreçtir. Proje üzerinde olumlu veya olumsuz etkiye sebep olacak risk olaylarının tanımlanması ve bu risklerin özelliklerinin ortaya koyulmasıdır[8]. Riskleri tanımlamak için birçok parametre incelenmelidir. Bunlardan bazıları; risk yönetim planları, aktivite maliyet tahminleri, aktivite süre tahminleri, paydaş listesi, maliyet yönetim planı, zaman çizelgesi yönetim planı, kalite yönetim planı, proje belgeleri (örneğin çalışma performans raporları, kazanılmış değer raporları, ağ diyagramları), yayımlanmış bilgiler, akademik çalışmalar, risk kontrol listeleri, risk kayıtları, eski tecrübeler, danışmanlık vs[11].

Bu sürecin sonucunda elde edilecek veriler ile risk kayıt raporu oluşturulur. Bu raporun içerisinde muhtemel riskler, belirlenen risklerin ana nedenleri ve güncellenmiş risk sınıfları yer almaktadır[9].



### **-Risk analizi**

Tanımlama aşamasında belirlenen tüm risklerin proje hedefleri üzerindeki etkilerinin incelendiği sürece denmektedir[9]. Risk analizinin önemi, projenin amaçlarını gerçekleştirememesi durumunda ne tür sonuçların ortaya çıkabileceği konusunda bir anlam kazanılması sağlamaktadır[10].

Risk analizi, nitel analiz ve nicel analiz olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Nitel analiz, tanımlama aşamasında belirlenen risklerin olma olasılığına ve gerçekleşmesi durumunda proje üzerinde bırakacağı etkileri göz önünde bulundurarak riskleri önceliklendirmemizi sağlamaktadır. Nicel analiz sonucunda, önceliklendirilen riskler bir sonraki adım olan nicel risk analizinde kullanılmaktadır[8]. Nicel risk analizi, tanımlanan ve önceliklendirilen risklerin proje üzerindeki olasılık ve etkilerinin sayısallaştırılarak ortaya koyma sürecidir[12].

Nitel risk analizinde risklerin önceliklendirilmesi için risk matrisi kullanılmaktadır. Riskler hesaplanan risk skorları sayesinde risk matrisi içerisinde sınıflandırılmaktadır. Nicel risk analizinde ise monte carlo simülasyonu çoğunlukla tercih edilen bir yöntemdir. Monte Carlo Simülasyonu, proje yöneticilerinin ve risk analistlerinin belirsizlik ve riski açıklamasını sağlayan matematiksel bir yöntemdir. Teknik, projelerin zamanında ve bütçede bitirme olasılığını tahmin etmek için birçok farklı endüstride kullanılmaktadır[13]. Monte Carlo simülasyonunda, sisteme girişler, sistemin matematiksel bir modeli aracılığıyla çıktılara dönüştürülür. Bu model, sistemin önemli özelliklerinin yeterince ayrıntılı olarak temsil edileceği şekilde geliştirilmiştir. Monte Carlo simülasyonundaki ana adımlar, girdileri bir araya getirmek, sistemin bir modelini hazırlamak, girdileri ve modeli kullanarak deneyler yapmak ve çıktıyı analiz etmektir[14].

### **-Risklere cevap planı oluşturma**

Risk analizi adımları neticesinde elde edilen veriler tanımlanan riskleri için cevap planı oluşturmak için kullanılmaktadır. Proje amaçlarına olumsuz etki edebilecek riskler 4 çeşit risk cevabı ile tanımlanmaktadır. Bunlar; riskten kaçınma, riski transfer etme, riski hafifletme ve riski kabul etme şeklindedir.

Olumlu etki edebilecek riskler için de 4 çeşit risk cevabı tanımlanmaktadır. Bunlar; riskten faydalanma(riski sömürmek), riski paylaşmak, riski geliştirmek ve riski ihmal etmek [15].

### **-Risk izleme ve kontrol etme**

Risk izleme ve kontrol süreci proje başlangıcından bitişine kadar devam eden bir süreçtir. Sürekli olarak yeni risklerin tanımlanmasını ve tanımlanan risklerin kontrol edilmesini ve izlenmesini gerektirmektedir.

Proje ilerledikçe bu süreç sayesinde yeni riskler tanımlanır, analiz edilir, cevap planı geliştirilir. Daha önce tanımlanmış risklere verilen cevaplar izlenir, bu cevapların ne derece başarılı devam ettirilebilirliği, karar verilen cevap stratejilerinin ne derece doğru olduğu, organizasyonel süreçlerin risk yönetimiyle uyumluluğu, risk şartlarındaki değişimler, riskin etki alanındaki değişimler; kısacası proje risk yönetimi sürecine destek olan her bileşendeki değişim izlenir ve kontrol edilmeye çalışılır[9].

## **Proje Risk Analizi**

### **-Proje Bilgileri**

Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için 3 adet okul projesi kullanılmıştır. Projeler İstanbul Proje Koordinasyon Birimi(İPKB) tarafından ihale edilmiştir. Bu projeler paket olarak ihale edilmiştir. Projeler aynı gün başlayıp, aynı gün bitecek şekilde planlanmıştır. Her bir projenin süresi 420 gündür. Projelerin sırasıyla maliyetleri Proje 1 = 23.010.232,74₺, Proje 2 = 13.449.534,84₺, Proje 3 = 11.528.172,72₺'dir.

### **-Risklerin Tanımlanması**

Çalışma kapsamındaki projelere etki edebilecek riskleri tanımlayabilmek için öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması sonucunda, literatür içerisindeki çalışmalarda tespit edilmiş ve yayınlanmış riskler sınıflandırılıp bir araya getirilmiştir. Sınıflandırılmış riskler arasından beyin fırtınası tekniği ile analizi yapılacak 3 projeye etki edebilecek riskler belirlenmiştir. Bu kapsamda 16 adet risk tanımlanmıştır. Bu riskler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Analizi yapılacak risk listesi[17]

<b>Risk Sınıfları</b>
<b>Proje Yönetimi</b>

Yetersiz Tasarım Ve İmalat
Tablo 2.(devamı) Analizi yapılacak risk listesi[17]
Yetersiz Teknik Bilgi
Yetersiz Planlama
Tasarım ve Şantiye Arasındaki Çatışmalar
<b>Yasal</b>
İnşaat İzni Alınmasında Gecikme
Grev-Darbe
<b>Değişiklikler</b>
Miktar / İş Kapsamındaki Değişiklik
Ödeme / Nakit Akışı Programındaki Değişiklik
<b>İnşaat</b>
Öngörülme Zemin Koşulları
Doğal Afetler
Uygunuz Veya Verimsiz İnşaat Araçları Ve Yöntemleri
Olağanüstü Sert Hava Durumu
<b>Finansal</b>
Döviz Kuru Dalgalanması / Devalüasyonu
<b>Tedarik</b>
Geç Ekipman/Malzeme Tedariki
Malzeme / Ekipman Hasarı
<b>Sözleşme</b>
Sözleşme Hükümleri Arasındaki Anlaşmazlıklar

### -Nitel Risk Analizi

Tanımlanmış risklerin analizinin yapılabilmesi için öncelikle etki ölçeği ve türleri ile olasılık ölçeklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu etki ölçekleri ve türleri olarak süre ve maliyet parametrelerinden bir bütün olarak bahsedilmiştir. Bu ölçekler çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak 5 bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerdeki aralık değerleri proje süresinin ve maliyetinin büyüklüğü göz önüne alınarak belirlenmiş, olasılıkların aralıkları ise en makul gerçekleşme ihtimallerine göre belirlenmiştir. Tablo içerisinde süre parametresinin 3 projede ayrı ele alınmamasının nedeni projelerin aynı anda başlayıp bitirilmesidir. Proje 2 ve 3'ün maliyetleri birbirine yakın seyrettiği için maliyet parametresinin aralık değerleri aynı seçilmiştir. Tablo 2'de bu parametreler gösterilmiştir.

Tablo 3. Etki ve Olasılık Ölçekleri Aralıkları

		Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Etki Ölçeği	Süre	<=5	5-10	10-20	20-40	>40
	Proje 1 Maliyeti(₺)	<=3.000	3.000-15.000	15.000-30.000	30.000-150.000	>150.000
	Proje 2 Maliyeti(₺)	<=1.500	1.500-7.500	7.500-15.000	15.000-75.000	>75.000
	Proje 3 Maliyeti(₺)	<=1.500	1.500-7.500	7.500-15.000	15.000-75.000	>75.000
Olasılık Ölçeği		<=% 10	% 10-% 20	% 20-% 40	% 40-% 60	>% 60

Etki ölçeği ve türleri ile olasılık ölçekleri oluşturulduktan sonra risk skoru hesabının yapılabilmesi için her parametreye ve bölüme karşılık gelen değerler verilmiştir. Süre ve maliyet parametrelerine verilen

değerlerin aynı olmasının sebebi ikisinin de etki ölçüğü içerisinde bir bütün olarak ele alınmasından dolayıdır. Bu değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Parametreler ve bölümlerine karşılık gelen değerler

	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Süre	0,5	1	2	4	8
Maliyet	0,5	1	2	4	8
Olasılık	1	3	5	7	9

Tablo 2 ve Tablo 3'teki veriler kullanılarak risk skoru şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Risk skoru} = \text{Etki} \times \text{Olasılık}$$

Bu formüldeki “Etki” çarpanı hem süre parametresi olarak hem de maliyet parametresi olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. Risk skoru belirlenirken “Olasılık” çarpanı sabit kalacak şekilde “Etki” çarpanı yerine süre ve maliyet verileri ayrı ayrı girilerek elde edilen sonuçlarda büyük olan değer risk skoru seçilmiştir. Örnek olarak:

Proje 1

Risk 8 = “Ödeme/nakit akışı programındaki değişiklik” riski Proje 1 üzerinde hangi düzeyde etki yaratabileceği ve gerçekleşme olasılığının hangi düzeyde olabileceği tespit edilmiştir. Bu tespitler sonucunda:

Olasılık = %10-%20, Düşük

Süre = 20-40 gün, Yüksek

Maliyet = 15.000₺-30.000₺, Orta

olarak Tablo 2 aracılığıyla belirlenmiştir. Bu verilere karşılık gelen değerler ise Tablo 3'ten alınmıştır.

Olasılık = Düşük, 3

Süre = Yüksek, 4

Maliyet = Orta, 2

Risk skoru 1 = Süre x Olasılık = 4 x 3 = 12

Risk skoru 2 = Maliyet x Olasılık = 2 x 3 = 6



12 > 6 olduğu için Risk 8'in risk skoru = 12 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4'te 12 risk skoru 5'ten büyük 23'ten küçük olduğu için orta derece risk kategorisine dâhil olmuş ve rengi sarı olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Tolerans ölçüğü

	Skor	Renk
Yüksek	>23	Red
Orta	<5	Yellow
Düşük	<=5	Green

Diğer tüm proje ve risklerin risk skorları da bu şekilde belirlenmiş ve Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo 5'teki hesaplar 3 proje içinde geçerli kılınmıştır. Tablo 5 içerisinde yer olan “ÇD” kodu çok düşük, “D” kodu düşük, “O” kodu orta, “Y” kodu yüksek, “ÇY” kodu çok yüksek ve “N” kodu ihmal edilebilir olarak tanımlanmıştır.

Tablo 6. Risk skoru hesaplamaları

	Risk	Olasılık	Süre	Maliyet	Skor
1	Yetersiz Tasarım Ve İmalat	O	Y	Y	20

Tablo 7.(devamı) Risk skoru hesaplamaları

2	Yetersiz Teknik Bilgi	D	O	D	6
3	Yetersiz Planlama	D	O	O	6
4	Tasarım Ve Şantiye Arasındaki Çatışmalar	O	ÇD	ÇD	2,5
5	İnşaat İzni Alınmasında Gecikme	D	O	N	6
6	Grev-Darbe	D	Y	O	12
7	Miktar / İş Kapsamındaki Değişiklik	O	ÇY	ÇY	40
8	Ödeme / Nakit Akışı Programındaki Değişiklik	D	Y	O	12
9	Öngörülme Zemin Koşulları	ÇD	O	Y	4
10	Doğal Afetler	ÇD	ÇY	Y	8
11	Uyumsuz Veya Verimsiz İnşaat Araçları Ve Yöntemleri	ÇD	ÇD	D	1
12	Döviz Kuru Dalgalanması / Devalüasyonu	ÇY	D	Y	36
13	Geç Ekipman/Malzeme Tedariki	O	Y	D	20
14	Malzeme / Ekipman Hasarı	O	D	O	10
15	Sözleşme Hükümleri Arasındaki Anlaşmazlıklar	D	D	ÇD	3
16	Olağanüstü Sert Hava Durumu	D	O	N	6

Risk skorları belirlendikten sonra düşük risk düzeyinde 4 adet risk, orta risk düzeyinde 10 adet risk ve yüksek risk düzeyinde 2 adet risk tespit edilmiştir. Risk düzeyleri belirlendikten sonra riskler risk matrisi içerisinde uygun bölümlere yerleştirilmiştir. Tablo 6'da risk matrisi gösterilmiştir.

Tablo 8. Risk Matrisi

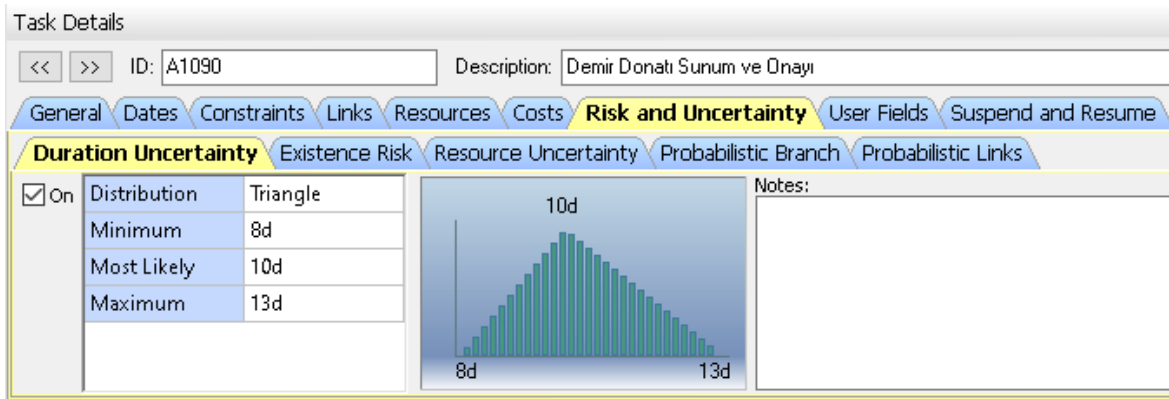
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Çok Yüksek				12-Döviz Kuru Dalgalanması	
Yüksek					
Orta	4- Tasarım ve Şantiye Arasındaki Çatışmalar		14-Malzeme/Ekipman Hasarı	1-Yetersiz Tasarım ve İmalat 13-Geç Ekipman/Malzeme Tedariği	7-Miktar/İş Kapsamındaki Değişiklik
Düşük		15-Sözleşme Hükümleri Arasındaki Anlaşmazlıklar	2-Yetersiz Teknik Bilgi 3-Yetersiz Planlama 5-İnşaat İzni Alınmasında Gecikme 16-Olağanüstü Sert Hava Durumu	6-Grev/Darbe 8-Ödeme/Nakit Akışı Programındaki Değişiklik	
Çok Düşük		11-Uyumsuz veya Verimsiz İnşaat Araçları ve Yöntemleri		9-Öngörülemeyen Zemin Koşulları	10-Doğal Afetler

## -Nicel Risk Analizi

Nicel risk analizinin yapılabilmesi için Primavera Risk Analysis programı kullanılmıştır. Bu program ile risk analizi yapılırken Monte Carlo Simülasyonu tekniği uygulanmıştır.

Primavera Risk Analysis bir projenin zamanda ve bütçede teslim edilme olasılığını tahmin eder, projenin başarısız olabileceği kilit alanları vurgular ve etkileri azaltmanın olabirliğini değerlendirir[13]. Acil durum ve risk yanıt planlarını belirlemek için hızlı ve kolay tekniklerin yanı sıra proje güven seviyelerini bildirmenin kapsamlı bir yolunu sunan Primavera Risk Analysis, analiz etmek için Monte Carlo simülasyonunu kullanmadan önce risk kayıtları ve risk şablonları yoluyla projeleri yükler. Daha sonra, risk histogramları, tornado ve saçılma grafikleri gibi çeşitli raporlar sağlar[16].

Primavera üzerinden planı yapılmış projeler, Primavera Risk Analysis programına aktarılmıştır. Program içerisine aktarılan planlamalar üzerinde hata kontrolleri yapılmıştır. Açık uçlu aktiviteler düzeltilip, diğer veriler değiştirilmeden kullanılmıştır. Kontroller yapıldıktan sonra aktiviteler ve kaynaklar üzerinde üçgen dağılım uygulanarak en düşük – olası – en yüksek süreler belirlenmiştir. Şekil 1’de örnek bir üçgen dağılım gösterilmiştir.



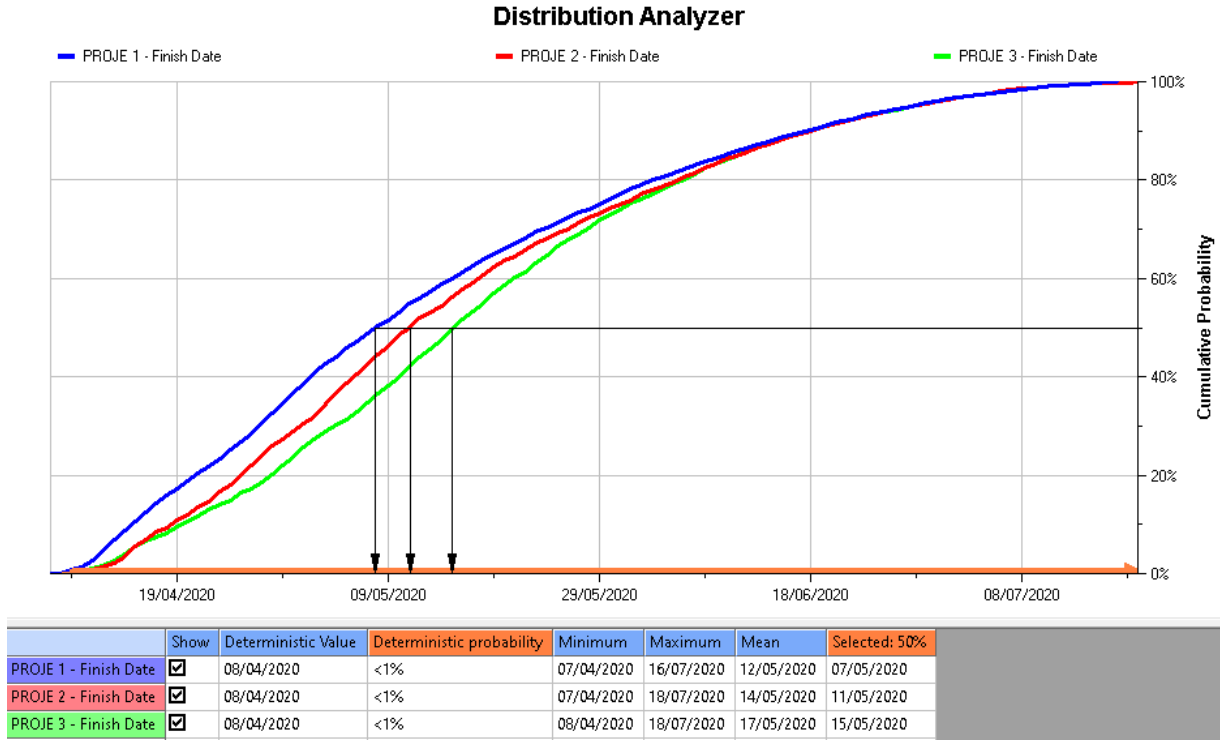
Şekil 1. Üçgen Dağılım Grafiği

Tüm veriler Primavera Risk Analysis programına aktarıldıktan sonra 1000 yineleme ile analiz yapılmıştır.

## Bulgular

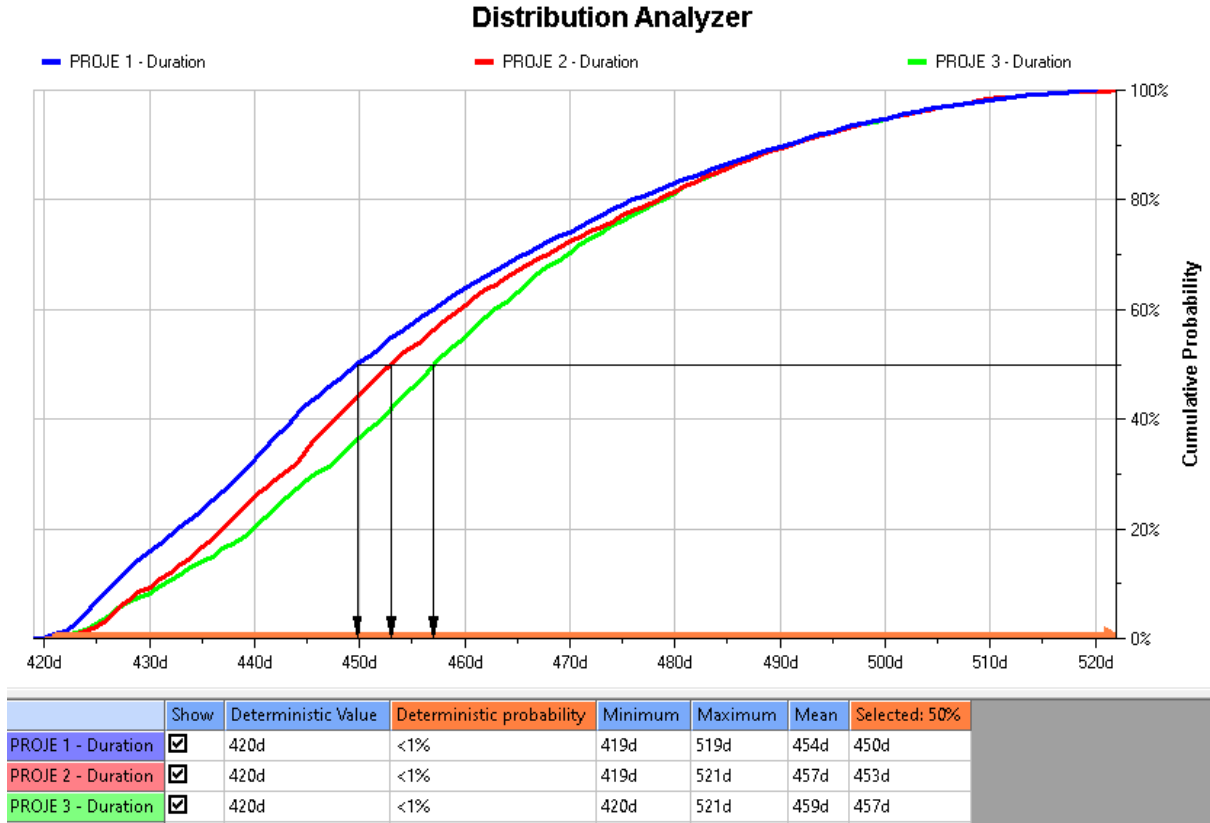
Analiz sonucunda Grafik 1’de üç projenin de bitiş tarihleri olasılıklarının karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir. Proje 1, 2 ve 3’ün riskler hesaba katılmadan yapılan planlamada proje bitiş tarihleri 08/04/2020’dir. Riskler hesaba katıldıktan sonra, planlanan proje bitiş tarihlerinin gerçekleşme olasılıklarının %1’den düşük olduğu görülmüştür. Grafikte projelerin %50 olasılık ile bitiş tarihleri Proje 1 = 07/05/2020, Proje 2 = 11/05/2020 ve Proje 3 = 15/05/2020 olduğu görülmüştür.

Grafik 1. Üç Projenin Bitiş Tarihleri Olasılıklarının Karşılaştırılması



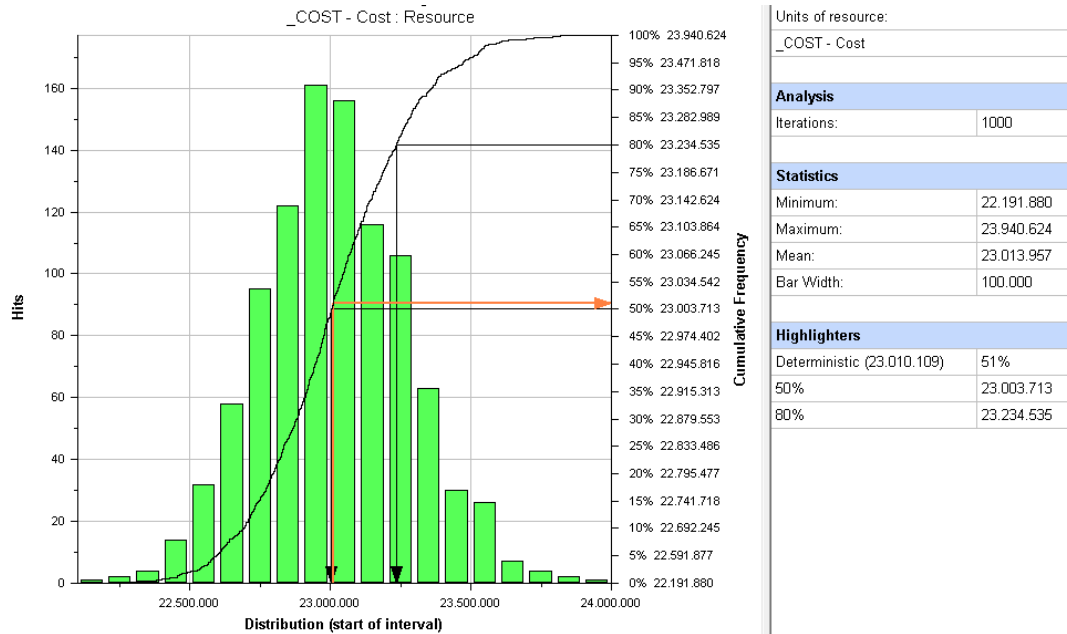
Grafik 2’de ise üç projenin süre olasılıklarının karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir. Proje 1, 2 ve 3’ün riskler hesaba katılmadan yapılan planlamada proje süreleri 420 gündür. Riskler hesaba katıldıktan sonra, planlanan proje sürelerinin gerçekleşme olasılıklarının %1’den düşük olduğu görülmüştür. Grafikte projelerin %50 olasılık ile süreleri Proje 1 = 450 gün, Proje 2 = 453 gün ve Proje 3 = 457 gün olduğu görülmüştür.

Grafik 2. Üç Projenin Süre Olasılıklarının Karşılaştırılması

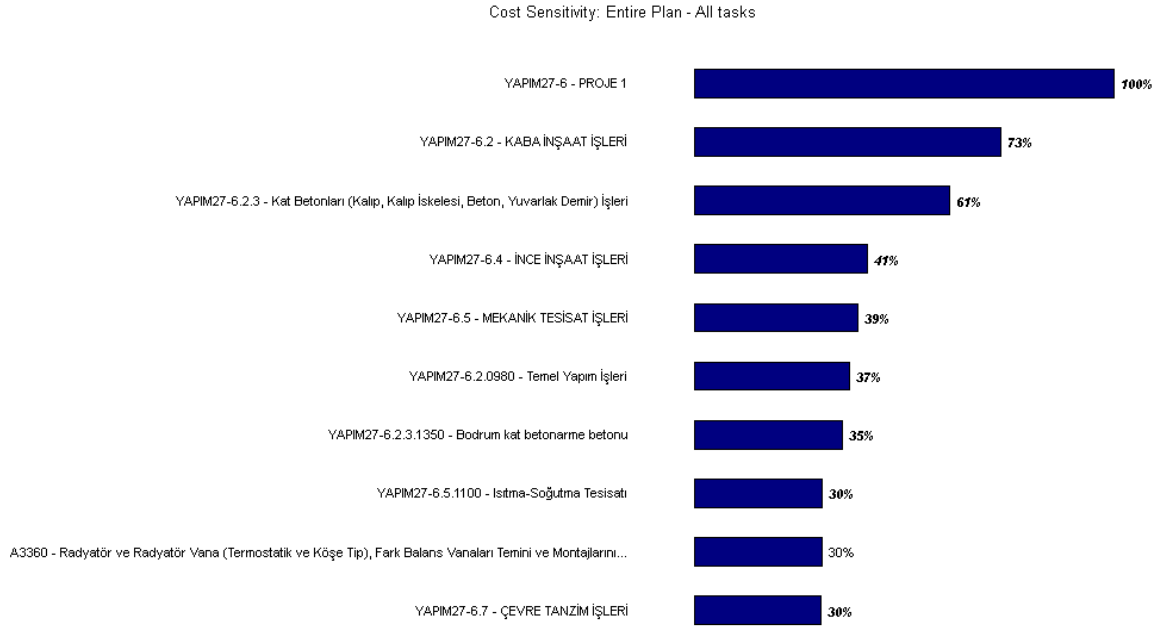


Grafik 3'te Proje 1 için maliyet-olasılık dağılımı grafiği gösterilmiştir. Dağılım grafiğinde Proje 1'in minimum tamamlanma maliyeti 22.191.880₺, en olası tamamlanma maliyeti 23.013.957₺ ve maksimum tamamlanma maliyeti 23.940.624₺ olduğu görülmektedir.

Grafik 3. Proje 1 Maliyet-Olasılık Dağılımı



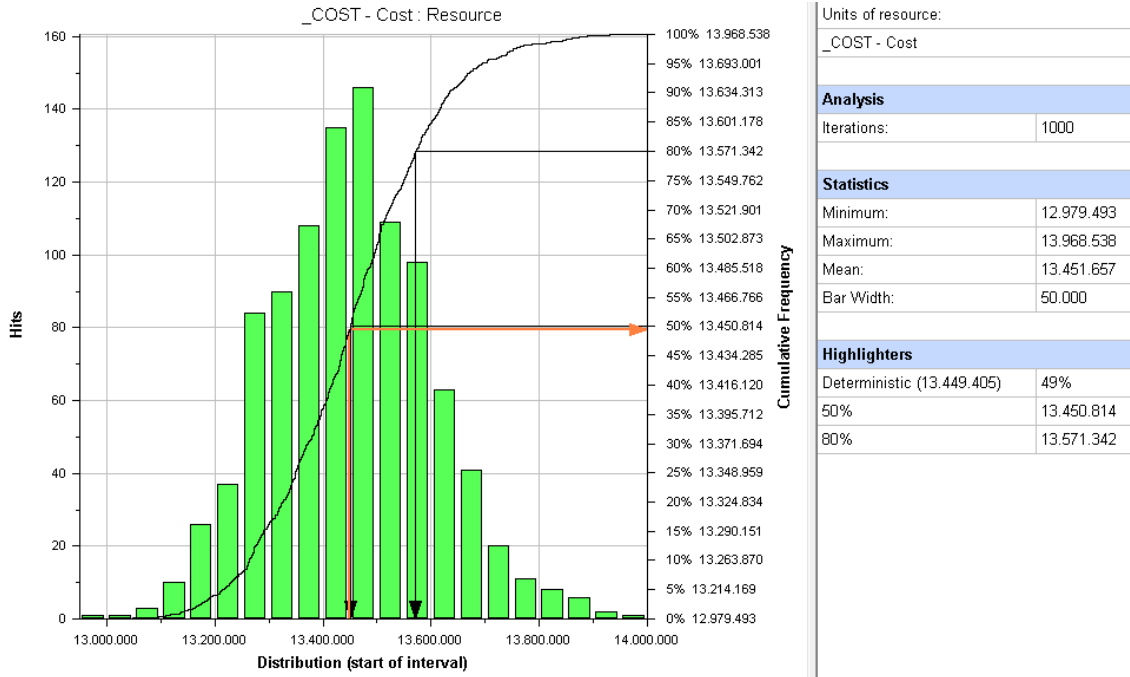
Şekil 2'de Proje 1 maliyetini en çok etkileyen aktiviteler görülmüştür. Kaba inşaat işleri, proje maliyetini %73 oran ile en fazla etki etme olasılığına sahip olan iş kalemi olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Proje 1 Maliyetini En Çok Etkileyecek Aktiviteler

Grafik 4'de Proje 2 için maliyet-olasılık dağılımı grafiği gösterilmiştir. Dağılım grafiğinde Proje 2'nin minimum tamamlanma maliyeti 12.979.493₺, en olası tamamlanma maliyeti 13.451.657₺ ve maksimum tamamlanma maliyeti 13.968.538₺ olduğu görülmektedir.

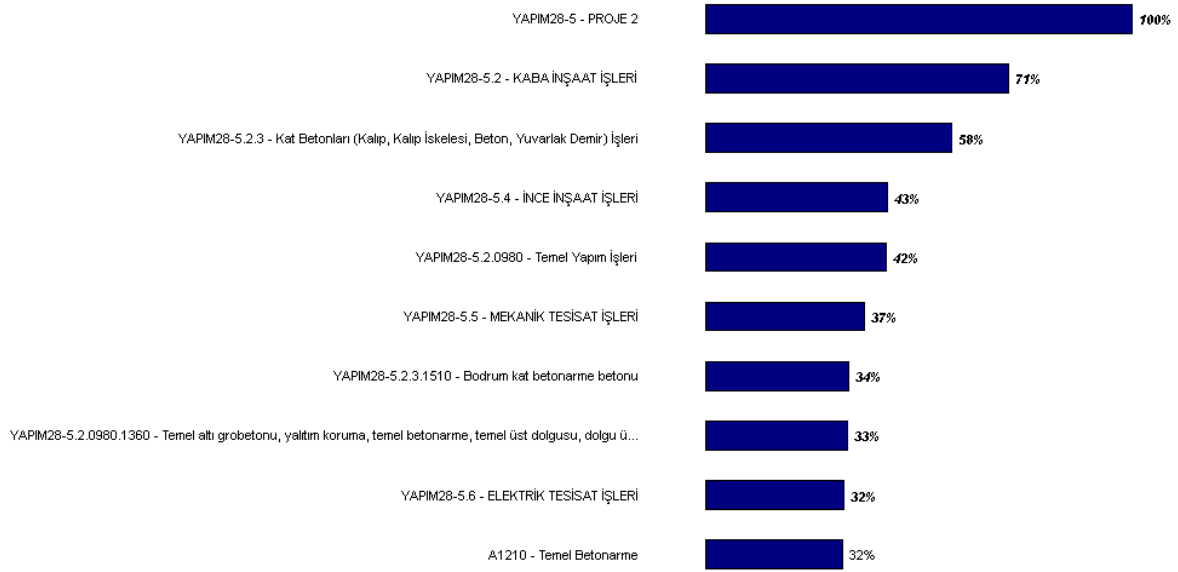
Grafik 4. Proje 2 Maliyet-Olasılık Dağılımı



Şekil 3'de Proje 2 maliyetini en çok etkileyen aktiviteler görülmüştür. İnce inşaat işleri, proje maliyetini %43 oran ile etki etme olasılığına sahip olan iş kalemi olduğu görülmüştür.



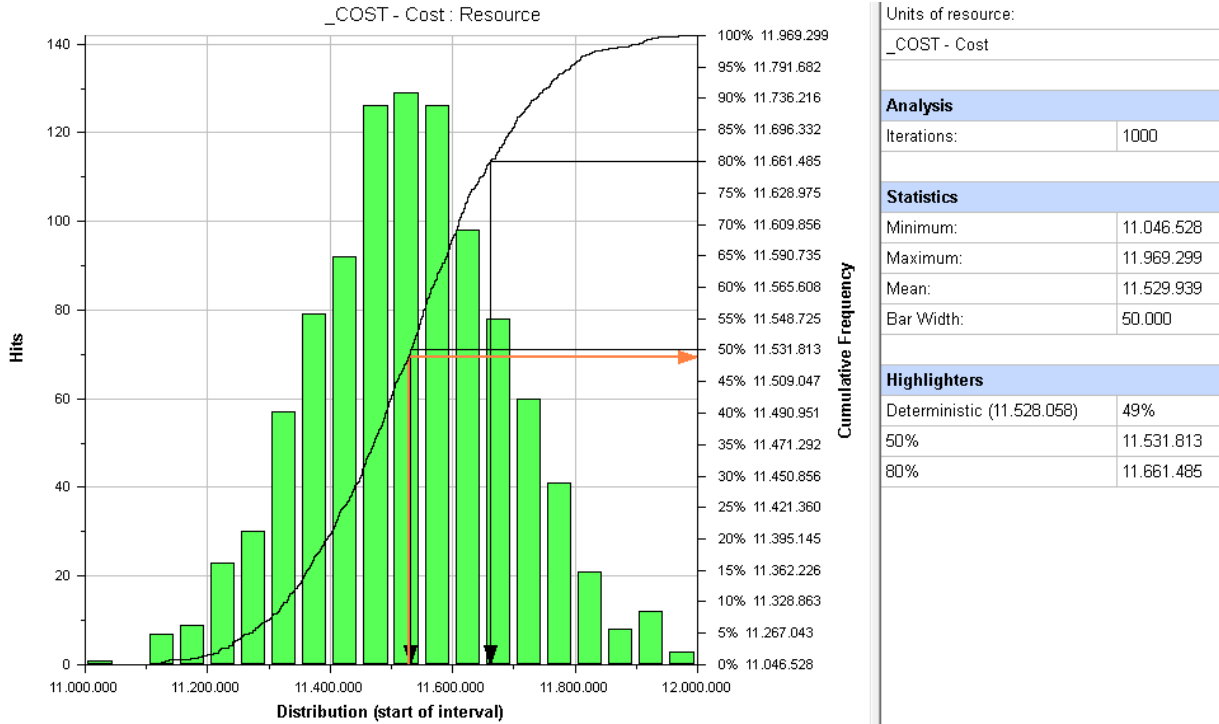
Cost Sensitivity: Entire Plan - All tasks



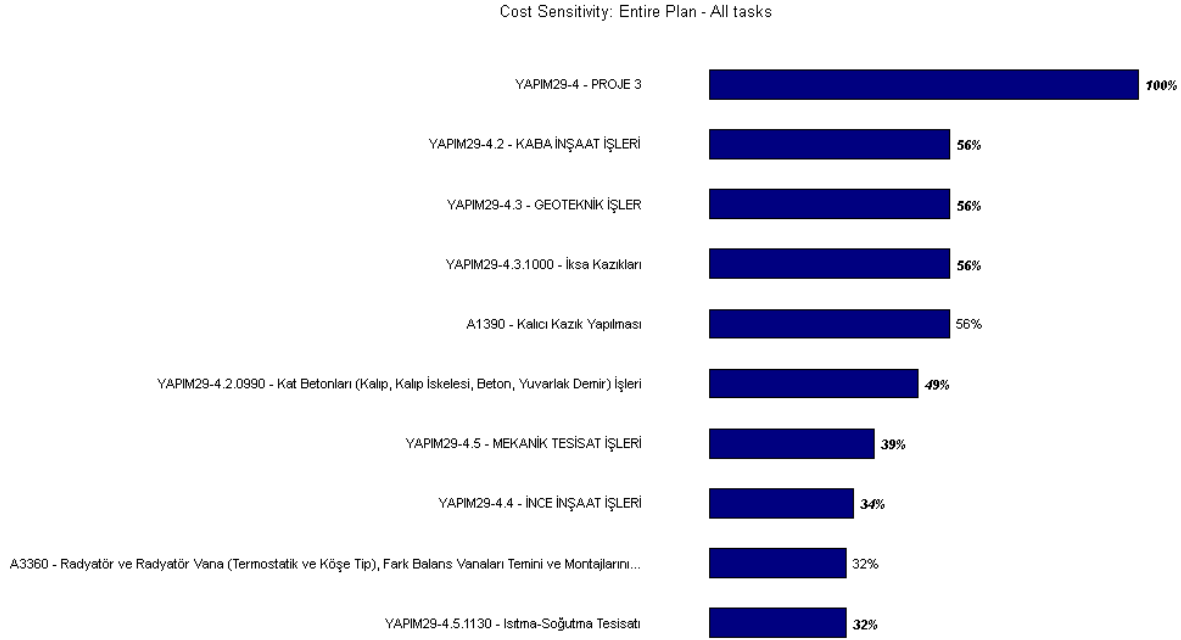
Şekil 3. Proje 2 Maliyetini En Çok Etkileyecek Aktiviteler

Grafik 5'te Proje 3 için maliyet-olasılık dağılımı grafiği gösterilmiştir. Dağılım grafiğinde Proje 3'ün minimum tamamlanma maliyeti 11.046.528₺, en olası tamamlanma maliyeti 11.529.939₺ ve maksimum tamamlanma maliyeti 11.969.299₺ olduğu görülmektedir.

Grafik 5. Proje 3 Maliyet-Olasılık Dağılımı



Şekil 4'de Proje 2 maliyetini en çok etkileyen aktiviteler görülmüştür. Geoteknik işler, proje maliyetini %56 oran ile en fazla etki etme olasılığına sahip olan iş kalemlerinden biri olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Proje 3 Maliyetini En Çok Etkileyecek Aktiviteler

## Sonuç

Yapılan analizler sonucunda, proje planlamaları yapılırken riskin göz ardı edilemeyecek bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında inşaat projelerinde riskin proje süresine ve maliyetine olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür.

Proje 1'in riskler hesaba katılmadan maliyeti 23.010.109 ₺ , riskler hesaba katıldıktan sonra proje maliyetinin %51 olasılıkla 23.010.109₺ olabileceği görülmüştür. Proje 2'nin riskler hesaba katılmadan maliyeti 13.449.405 ₺ , riskler hesaba katıldıktan sonra proje maliyetin %49 olasılıkla 13.449.405 ₺ olabileceği görülmüştür. Proje 3'ün riskler hesaba katılmadan maliyeti 11.528.058 ₺ , riskler hesaba katıldıktan sonra proje maliyetin %49 olasılıkla 11.528.058 ₺ olabileceği görülmüştür.

Proje 1, 2 ve 3'ün riskler hesaba katılmadan yapılan planlamada proje bitiş tarihleri 08/04/2020 ve proje süresi 420 gündür. Riskler hesaba katıldıktan sonra, planlanan proje bitiş tarihleri ve proje sürelerinin gerçekleşme olasılıklarının %1'den düşük olduğu görülmüştür.

Risk planlaması yapılmayan inşaat projelerinde öngörülemeyen maliyet ve süre artışı olabilmektedir. Tüm bu olumsuz etkilerin görülmemesi için her projenin planlanma aşamasına risk planlaması da dâhil edilmelidir.

## Kaynakça

- [1] Project Management Institute, "A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)," Project Management Institute, USA, 2000.
- [2] Akyıldız, B. "Anahtar teslim-sabit fiyat sözleşme usulünce alınan bir projenin risk değerlendirilmesinin yapılması için metot önerisi ve örnek uygulama," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [3] Fıkrıkoca, M. "Bütünsel Risk Yönetimi", Kalder – Pozitif Yayıncılık, ISBN:9752881297, Ankara, 2003.
- [4] Karaçar, P. "Türk inşaat sektöründe ihale sürecine yönelik risk yönetimi kapsamın alan çalışması," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [5] Düzcan, M. "Uluslararası ihalelerde risk priminin saptanmasında bulanık mantık yaklaşımı," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

- [6] Project Management Institute, "Project and program risk management- a guide to managing risks and opportunities," Project Management Institute. USA, 1992.
- [7] Çam, F. "İnşaat sektöründe proje risk yönetimi ve bir risk modellemesi örneği," Yüksek Lisans Tezi, İşletme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [8] Project Management Institute, "A guide to the project management body of knowledge," Project Management Institute, Inc., Newtown Square, PA, 2004.
- [9] Fırat, P. "Proje risk yönetiminde olgunluk seviyesi için yeni bir yaklaşım," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [10] Abdollahi, N. "Bir inşaat altyapı projesinde süre-maliyet iyileştirilmesi için bir risk yönetimi modeli," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [11] Zabun, A. Ö. "Proje yapım sürecinde risk yönetimi üzerinde örnek olay incelemeleri," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [12] Güler, G. "İnşaat projelerinde çalışanların risk yönetimi ve risk azaltıcı tedbirler karşısındaki tutumları: Antalya örneği," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2017.
- [13] Monaghan, P. "An introduction to Oracle's Primavera Risk Analysis," OAUG Forum, Collaborate, 2014.
- [14] Vijay, P.S., Sharad, K. J., Aditya, T. "Monte carlo simulation," Risk and Reliability Analysis, Virginia, ABD: Asce Press, 2007, böl. 11, ss. 437-486.
- [15] Hillson, D. 2001b. Extending the risk process to manage opportunities. Proceedings of the Fourth European Project Management Conference, PMI Europe 2001, London, UK.
- [16] Oracle Primavera, "Oracle's Primavera Risk Analysisi," 2013.
- [17] Yılmaz, E. S. "Risk identification and analysis of private hospital constructions in Turkey," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

# Geciken Argümlü Adımlarla Ayırık Optimal Yönetim Olayının Araştırılması

Hayale Aleskerova Hetem kızı

Azerbaycan Devlet İktisat Üniversitesi (UNEC) Türk Dünyası İktisat Fakültesi  
İktisat ve İşletme Kürsüsü

## Özet

Makale yönetilen sistemlerin diskret dinamik modelleri gerçek objelerin çok geniş alanını kapsamaya izin veren hem teorik, hem de uygulamalı açıdan önemli olan matematiksel modeller sınıfını içeriyor.

Bu tarz modeller birçok zamanlı proseslerin modellerinin hazırlanması sürecini, aynı zamanda uygulamalı hesaplamalar için kesilmez modellerin diskretleştirilmesi ve çeşitli hesaplamaların kurulması sürecinde ortaya çıkıyor.

Bildiğimiz gibi, pratikte uygulanan sürecin yeterli etkisi çok önemlidir. Bütün bunlar kendi açısından çok aşamalı (aşamalı, değişen içerikli) süreçlerin öğrenilmesinin gerekliliğine getirip çıkarıyor. Bu süreçler uygulamada çok yayındır. Bu tarz prosesler kozmonotikada, endüstride, ekonomide lokomozlu sistemler teorisinde, askeri alanda, ekonomide ves. Gibi alanlarda oluşuyor.

Hem geciken özellikli, hem de gecikme olmayan diskret sistemli aşamalı optimal yönetim konuları L.T. Aşepkov'un [1,2], A.İ. Gabelko'nun [3], İ.K. Gogodze'nin [4], G.K. Zaharov'un [5,6], K.B. Münsimov'un [7-11], Ş.F. Muharremov'un [12,13], T.A. Tadumadze'nin [14], G.L. Haratişvili'nin [15] ve diğerlerinin çalışmalarında çeşitli durumlarda öğrenilmiştir.

Makale geciken özellik çizgisi diskret sistemlerle tasvir olunan bazı optimal yönetim konularının araştırılmasından bahsetmektedir. Bu zaman kalite gerekçesinin çeşitli durumları (genel durum, hatlı, baskın, dalgalı) esas optimalite için çeşitli tipli, aynı zamanda diskret maksimum tipli, ilk oluşum zaruri ve yeterli şartlar sayılmıştır. Bakılan konularda aynı zamanda çeşitli özel durumlar da araştırılmıştır.

Mekanik bilimlerinin, fiziğin, teknolojinin, ekonominin, bilişim bilimlerinin bazı konuları gecikmeye ait fark denklem sistemleri ile ifade edilen aşamalı optimal yönetim konuları ile anlatılmaktadır.

**Anahtar Kelime:** geciken özellikli, gecikme olmayan diskret sistem, baskın, dalgalı, yönetilen sistemlerin diskret dinamik modelleri

Gecikmeli Bir Aşamalı Diskret Optimal İdareetme Konusunda Maksimum Prinsipi Şeklinde Zaruri Şartlar

Diyelim ki,

$$S(u, v) = \varphi_1(x(t_1)) + \varphi_2(y(t_2)), \quad (1)$$

fonksiyonelinin

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)x(t-N) + f(t, u(t)), \quad t \in T_1 = \{t_0, t_0+1, \dots, t_1-1\}, \quad (2)$$

$$x(t) = \alpha(t), \quad t \in E_{t_0} = \{t_0-N, t_0-N+1, \dots, t_0-1\},$$

$$y(t+1) = C(t)y(t) + D(t)y(t-N) + g(t, v(t)), \quad t \in T_2 = \{t_1, t_1+1, \dots, t_2-1\}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= \beta(t), \quad t \in E_{t_1} = \{t_1 - N, t_1 - N + 1, \dots, t_1 - 1\}, \\ y(t_1) &= G(x(t_1)) \end{aligned} \quad (4)$$

Sınırları içerisinde minimumunun bulunması talep ediliyor.

Burada  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(y)$  – sürekli türevlenebilir skaler fonksiyonlar,  $A(t)$ ,  $B(t)$  ( $C(t)$ ,  $D(t)$ ) ( $n \times n$ ) ( $m \times m$ )-ölçülü diskret matris fonksiyonları,  $f(t, u)$  ( $g(t, v)$ )  $n$  ( $m$ )-ölçülü bütün argümanlarına kıyasla kesilmez vektör fonksiyonları,  $\alpha(t)$  ( $\beta(t)$ )  $n$  ( $m$ )-ölçülü başlangıç fonksiyonlar,  $N$  – natural adet (gecikme),  $t_2 - t_0$  – natural adettir,  $G(x)$  – verilmiş kesilməz  $m$ -ölçülü vektör fonksiyonudur,  $u(t)$  ( $v(t)$ )  $r$  ( $q$ )-ölçülü kendi puanlarını boş olmayan, sınırlı  $U$  ( $V$ ) çokluğundan puanlar alan idareedici vektörlerdir, yani

$$\begin{aligned} u(t) &\in U \subset R^r, \quad t \in T_1, \\ v(t) &\in V \subset R^q, \quad t \in T_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Bu yaklaşımı ödeyen  $(u(t), v(t))$  çiftini mümkün idare olarak tanımlayacağız.

Diyelim ki, bütün  $(u(t), v(t))$  çiftine uygun (1)-(4) sisteminin tek çözümü var.

$(u(t), v(t), x(t), y(t))$  – belirtilmiş mümkün proses,  $(\bar{u}(t) = u(t) + \Delta u(t), \bar{v}(t) = v(t) + \Delta v(t), \bar{x}(t) = x(t) + \Delta x(t), \bar{y}(t) = y(t) + \Delta y(t))$  – işe mümkün proses olsun.

Şimdi ise aşağıdaki işaretleri ekleyelim:

$$\begin{aligned} H(t, x(t), u(t), \psi(t)) &= \psi'(t) f(t, u(t)), \\ M(t, y(t), v(t), p(t)) &= p'(t) g(t, v(t)), \\ N(t, x(t_1)) &= p(t_1 - 1) G(x(t_1)). \end{aligned}$$

Burada  $\psi(t)$  ( $p(t)$ ) vektör-fonksiyonları aşağıdaki ek sistemin çözümüdür:

$$\begin{aligned} \psi(t-1) &= \psi(t) A(t), \quad t \in T_1, \\ \psi(t_1-1) &= -\varphi_1'(x(t_1)) + N_x(t, x(t_1)), \\ \psi(t-1) &= \psi(t) A(t) + \psi(t+N) A(t+N), \quad t = t_0, t_0+1, \dots, t_1-1-N, \\ p(t-1) &= p(t) C(t), \quad t \in T_2, \\ p(t-1) &= p(t) C(t) + p(t+h) D(t+h), \quad t = t_1, t_1+1, \dots, t_2-1-N, \\ p(t_2-1) &= -\varphi_2'(y(t_2)). \end{aligned} \quad (6)$$

Bunlardan başka diyelim ki,

$$\begin{aligned} f(t, U) &= \{\alpha: \alpha = f(t, u), \quad u \in U\}, \\ g(t, V) &= \{\beta: \beta = g(t, v), \quad v \in V\}, \end{aligned} \quad (7)$$

Çoklukları kabarık çokluklardır.

Böylece, aşağıdaki karar kanıtlanıyor.

### **Teorem**

Eğer  $(u(t), v(t), x(t), y(t))$  mümkün prosesi boyunca (7) çoklukları kabarık çokluksa, o zaman  $(u(t), v(t))$  çiftinin (1)-(5) konusunda optimal yönetimi için zaruri şartlar

- 1)  $\sum_{t=t_0}^{t_1-1} \Delta_{w(t)} H[t] \leq 0, \quad w(t) \in U, \quad t \in T_1,$
- 2)  $\sum_{t=t_1}^{t_2-1} \Delta_{\omega(t)} M[t] \leq 0, \quad \omega(t) \in V, \quad t \in T_2,$

Yaklaşımının ödenmesidir.

Geciken Argümanlı Bir Aşamalı Diskret Hattı Optimal Yönetim Konusunda Optimallik İçin Yeterli Şart

Diyelim ki, idare olunan diskret obje

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)x(t-N) + f(t, u(t)), \quad t \in T_1 = \{t_0, t_0+1, \dots, t_1-1\}, \quad (1)$$

$$x(t) = \alpha(t), \quad t \in E_{t_0} = \{t_0-N, t_0-N+1, \dots, t_0-1\},$$

$$y(t+1) = C(t)y(t) + D(t)y(t-N) + g(t, v(t)), \quad t \in T_2 = \{t_1, t_1+1, \dots, t_2-1\}, \quad (2)$$

$$y(t) = \beta(t), \quad t \in E_{t_1} = \{t_1-N, t_1-N+1, \dots, t_1-1\},$$

$$y(t_1) = G(x(t_1)), \quad (3)$$

denklemler sistemi ile tanımlanıyor.

Burada  $A(t), B(t) (C(t), D(t)) - n \times n (m \times m)$ -ölçülü diskret matris fonksiyonlar,  $N -$  natural adet (gecikme),  $t_0, t_1, t_2 -$  belirtilen adetler, şöyle ki,  $t_2 - t_0$  farkı natural adettir,  $\alpha(t) (\beta(t)) - n (m)$ -ölçülü başlangıç fonksiyonlar,  $G(x) - m$  ölçülü kesilmez fonksiyondur.

$u(t) (v(t)) - r (q)$ -ölçülü kendi puanlarını boş olmayan, sınırlı  $U (V)$  çokluklarından alan yöneticidir, başka şekilde tanımlarsak,

$$\begin{aligned} u(t) &\in U \subset R^r, \quad t \in T_1, \\ v(t) &\in V \subset R^q, \quad t \in T_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Bu kıyaslamaları ödeyen  $(u(t), v(t))$  çiftine olağan yöneticiler diyeceğiz.

(1)-(3) sisteminin bütün olağan yönetenlere uygun çözümü üzerinde

$$S(u, v) = \varphi_1(x(t_1)) + \varphi_2(y(t_2)), \quad (5)$$

funksiyonlarını tayin edelim.

Burada  $\varphi_1(x)$  ve  $\varphi_2(y)$  - fonksiyonları kesilmez-farklanan kabarcık skalyar fonksiyonlardır.

(1)-(4) şartları içerisinde (5) fonksiyonuna minimum puan veren  $(u(t), v(t))$  çiftini optimal yönetim olarak tanımlayacağız

Diyelim ki,  $(u(t), x(t))$  belirtien mümkün süreçtir,

$(\bar{u}(t) = u(t) + \Delta u(t), \bar{x}(t) = x(t) + \Delta x(t))$  ile ise mümkün süreci işaretleyelim.

$(\psi(t), p(t))$  vektor-fonksiyonları ile

$$\psi(t-1) = A(t)\psi(t) + B(t+N)\psi(t+N),$$

$$\psi(t_1-1) = -\varphi'_{1x}(x(t_1)),$$

$$p(t-1) = C(t)p(t) + D(t+N)p(t+N),$$

$$p(t_2 - 1) = -\varphi'_{2,y}(y(t_2))$$

ek sisteminin çözümünü işaretleyelim.

$$H(t, u(t), \psi(t)) = \psi'(t) f(t, u(t)), \quad M(t, v(t), p(t)) = p'(t) g(t, v(t)),$$

Hamilton-Pontryagin fonksiyonlarını ekleyelim.

**Teorem.** Sunulan şartlar içeriğinde (1)-(5), konusunda  $(u(t), v(t))$  çiftinin optimal yönetimler olması için yeterli şart

$$\sum_{t=t_0}^{t_1-1} [H(t, \omega(t), \psi(t)) - H(t, u(t), \psi(t))] \leq 0,$$

$$\sum_{t=t_1}^{t_2-1} [M(t, w(t), p(t)) - M(t, v(t), p(t))] \leq 0$$

Yaklaşımlarının  $\omega(t) \in U, t \in T_1, w(t) \in V, t \in T_2$  için ödenilmesidir.

## Sonuç

Gecikmeye sahip bir hattı aşamalı ayrık optimal yönetim konusuna bakılmıştır. Artım yönteminin yardımı ile ilk olarak Pontryagin'in maksimum prensibi şeklinde zaruri şartlar alınmıştır. Daha sonra ise bakılan konu için optimallik için yeterli şartlar bulunmuştur.

## Kaynakça

1. Мансимов К.Б., Магеррамов Ш.Ф. Необходимые условия оптимальности особых управлений для одного класса дискретных ступенчатых систем управления // Препринт ИК НАН Азербайджана. 2001, 27 с.
2. Мансимов К.Б. Дискретные системы. Баку. Изд-во БГУ, 2013, 151 с.
3. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Принцип максимума в теории оптимального управления. Москва URSS. 2011, 272 с.
4. Магеррамов Ш.Ф., Мансимов К.Б. Оптимизация одного класса дискретных ступенчатых систем управления // Журн. Вычисл. Мат. и Мат. физики. 2001, № 3, с. 360-366.

# The Quantum Mechanical Rotation Operators Corresponding to $J_z^2$ and $J^2$ For All Spins

M. Kocakoç<sup>1</sup> · R. Tapramaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova University

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs University

<sup>1</sup>Corresponding author: mkocakoc@cu.edu.tr

<sup>2</sup>recept@omu.edu.tr

## Abstract

Quantum mechanical rotation operators are the subject of quantum mechanics, mathematics and pulsed and Fourier transform magnetic resonance spectroscopies namely pulsed FT-NMR, FT-EPR and ENDOR. The rotation operators of spin 1/2 are well known and can be found in related textbooks. But rotation operators of other spins greater than 1/2 can be found numerically by evaluating the series expansions of exponential operator obtained from Schrödinger equation, by evaluation of Wigner-d formula or by recently established expressions in polynomial forms discussed in the text. In a previous paper. Rotation operators  $R_x$ ,  $R_y$  and  $R_z$  for spins 1/2 to 5/2 was published previously and in this paper explicit symbolic expressions of rotation operators  $R_z^{(2)}$  and  $R^{(2)}$  corresponding to squares of spins  $J_z^2$  and  $J^2$  for all spins and even for all angular momentum operators are worked out via exponential operator for each element of related spin operators and utilizing simple linear curve fitting process.

**Keywords** Spin, Rotation operator, Quantum information theory

## 1 Introduction

Quantum mechanical rotation operators in explicit forms are the essential tools of microscopic systems and some operators were generated in standard Euler angles (Wigner, 1959). Rotation operators for angular momenta for spins 1/2, 1, 3/2 and 2 were generated from Wigner-d formula in some classical textbooks of quantum mechanics (Messiah, 2007; Sakurai and Napolitano, 2011; Morrison and Parker, 1987; Blance and Florez, 1997; Dachsels, 2006; Gimbutas and Greengard, 2009; Aubert, 2013). A recently published paper on rotation operators by Curtright *et al.*, 2014; Curtright and Van Korftryk, 2014) give rotation operator expressions in polynomial form for all angular momenta in Cartesian components as fonctions of rotation angles. In order to find out the rotation operators in a matrix form one has to sum up the polynomial terms given, which includes powers of related angular momentum operators.

Pulsed nuclear magnetic resonance, (pulsed-NMR), pulsed electron paramagnetic resonance (pulsed-EPR) and pulsed electron nuclear double resonance (pulsed-ENDOR) spectroscopies, however, utilizes rotation operators in rotating coordinate system or laboratory coordinate system where the spins are polarized along a definite orientation by a known external magnetic field. This direction is defined as z-axis and a series of magnetic pulses trains are applied consequently along laboratory x and/or y axes to rotate the polarized spins around related axes (Fukushima and Roeder, 1993; Gordon *et al.*, 2006; Oliviera *et al.*, 2007; Jones, 2001; Schweiger and Jeschke, 2001). Besides the spectroscopic applications, spin-based quantum-computing systems in which the pulsed magnetic resonance techniques constructed the pioneering pulse arrays, utilizes rotation operators implicitly in rotating Cartesian coordinate system (Oliviera *et all*, 2007; Jones,2001).

Besides the spin components itself, the squares of each components and especially the square of total spin  $S^2$  is important in quantum mechanics and in spectroscopies focusing on interactions including quadratic and higher order terms like quadrupole or crystal field interactions. In this paper we present the rotation operators  $R^{(2)}$  and  $R_z^{(2)}$  of squares of any spins  $J^2$  and  $J_z^2$  for all spin values from 1/2, 1, 3/2 and so on, and for all angular momentum operators. Explicit expressions of rotation operator matrix elements are determined with a straight forward algorithm: First expand the exponential operators into infinite series for both real and imaginary components, then sum up both series for an element for definite angles between an interval and fit the obtained variation to a proper function of sines and cosines



## 2 Materials and Methods

### 2.1 Rotation Operator Expression

We start rewriting the exponential rotation operator expression,

$$\hat{R}_\alpha = \exp(i \hat{J}_\alpha^2 \theta), \quad \alpha = z \text{ or null for total spin} \quad (1)$$

derived from time dependent Schrödinger equation  $-i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{\mathcal{H}}\psi$  where  $\hat{\mathcal{H}} = g\beta B_1 \hat{J}_\alpha$  is pulse Hamiltonian applied to a spin system polarized along laboratory  $z$  axis by an external magnetic field, where  $\hat{J}_\alpha$  ( $\alpha = z$  or null) is spin matrices.  $\hat{J}_\alpha$  is a symbol representing nuclear spin operator  $\hat{I}$ , electron spin operator  $\hat{S}$ , angular momentum  $\hat{L}$  or coupled spin operator  $\hat{J}$ ,  $g$  is Landé factor and  $\beta$  is nuclear or electron Bohr magneton. The rotation angle  $\theta$  is defined for rotating pulse duration  $t_p$  as  $\theta = g\beta B_1 t_p / \hbar = \omega_p t_p$  where  $g\beta B_1 / \hbar$  equivalent of puls frequency  $\omega_p$ .

The exponential function for nuclear spin in equation above can be rewritten by Euler formula,

$$R_\alpha = \exp(i \hat{J}_\alpha^2 \theta) = \cos(\hat{J}_\alpha^2 \theta_p) + i \sin(\hat{J}_\alpha^2 \theta_p), \quad \alpha = z \text{ or null} \quad (2)$$

and cosine and sine functions can be expanded into infinite power series

$$\begin{aligned} \cos(\hat{J}_\alpha^2 \theta_p) &= \mathbb{I} - \frac{1}{2!} \hat{J}_\alpha^4 \theta_p^2 + \frac{1}{4!} \hat{J}_\alpha^8 \theta_p^4 - \frac{1}{6!} \hat{J}_\alpha^{12} \theta_p^6 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n)!} \hat{J}_\alpha^{4n} \theta_p^{2n} \\ \sin(\hat{J}_\alpha^2 \theta_p) &= \frac{1}{1!} \hat{J}_\alpha^2 \theta_p - \frac{1}{3!} \hat{J}_\alpha^6 \theta_p^3 + \frac{1}{5!} \hat{J}_\alpha^{10} \theta_p^5 - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)!} \hat{J}_\alpha^{4n+2} \theta_p^{2n+1} \end{aligned} \quad (3)$$

where  $\mathbb{I}$  is the unit matrix with the same dimension as  $\hat{J}_\alpha$ .

Evaluation of power series given in above requires intensive calculation due to the powers of spin operator matrices. The rotation operators for spin-1/2 systems are rather easy because the elements of the powers of Pauli spin matrices are either zero or unity multiplied by a coefficient. As an example, Pauli matrices for spin-1/2 and corresponding explicit rotation operators are found in textbooks, (e.g. see Fukushima and Roeder, 1993; Gordon *et al.*, 2006; Oliviera *et al.*, 2007).

One of the ways of obtaining explicit expressions of the rotation operators for the spins greater than 1/2 can be found by a straightforward algorithm composed of two-step numerical calculations. In the first step the sine and cosine series given in Eqn. (3) are summed up numerically for each element of an operator matrix for angles between e.g. 0° and 360° with definite intervals and with the possible highest precision. The results for each angle are numerical values of real and imaginary elements of rotation matrices.

In the second step, variations of each element of the rotation matrices against rotation angles are fitted to a linear function of sines and cosines. The exact fitting functions  $r_{ij}(\theta)$  are given as, where  $\theta$  is rotation angle

$$r_{ij}(\theta) = \xi_s \sin(a\theta) + \xi_c \cos(a\theta) \quad (4) \quad \begin{array}{l} \text{angle} \\ \text{around } z \\ \text{axis, } a \text{ is} \end{array}$$

numbers and  $\hat{J}$  is the value of spin (nuclear  $\hat{I}$ , electronic  $\hat{S}$ , angular momentum  $\hat{L}$  or coupled spin).  $\xi_s$  and  $\xi_c$  are the coefficients of sine and cosine terms of linear fitting function which is determined by linear curve fitting process. Goodness of all fitting processes was controlled by regression coefficient or visually on simultaneous plots of original and fitted curves. The coefficient  $a$  in arguments of sine and cosine functions, Eqn. (4), is also need to be determined, but function is nonlinearly dependent on these coefficients. It is determined visually from the angular variations of each elements without any calculation.

### 3 Results and Discussion

First of all, we have to note that the rotation operators determined in this work are represented with  $R_z^{(2)}$  and  $R^{(2)}$  are not equal to the squares of  $R_z$  and sum of squares giving  $R^2$  respectively as given in Equation (5). Inequality is expected because of nonlinear relations of spins and corresponding rotation operators.

$$R_z^{(2)} \neq R_z^2, R^{(2)} \neq R^2 \quad (5)$$

#### 3.1 Rotation Operators $R_z^{(2)}$ : General Forms

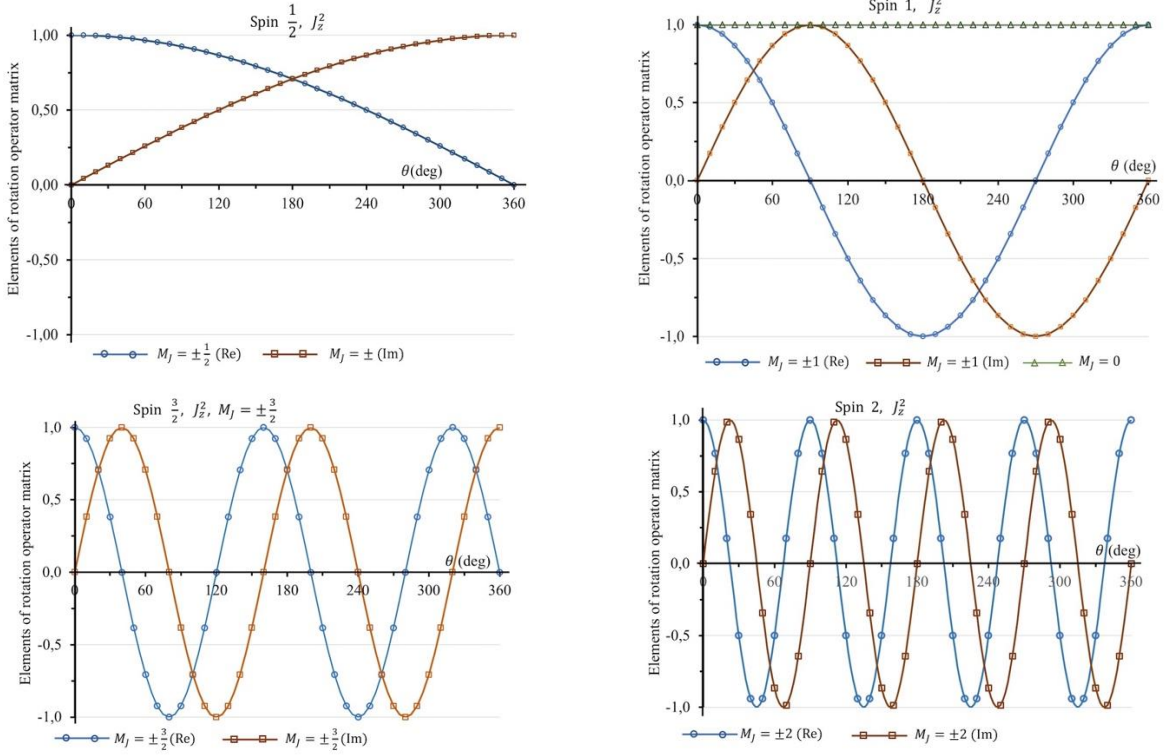
Matrix elements of rotation operator  $R_z^{(2)}$  for spins 1/2, 1, 3/2 and 2 as samples calculated by means of series expansions of Equation (3) are shown in Figure 1. A closer look and fitting process shows that rotation operators  $R_z^{(2)}$  of all spins are diagonal. The coefficients of sine and cosine terms are unity, but the coefficients of arguments are found to be  $M_J^2 \theta$  for squares of  $z$ -components of spins,  $J_z^2$ . The angular variations fitted to cosine and sine functions with the arguments  $M_J^2 \theta$  as given in Equation (6) for real and imaginary components for spins

$$\cos(M_J^2 \theta) + i \sin(M_J^2 \theta) = \exp(iM_J^2 \theta), \quad (M_J = J, J-1, J-2 \dots -J+1, -J). \quad (6)$$

given above, and the operators in matrix forms are given in Equation (7) for the sample spins whose variations are given in Figure 1. The calculations for higher spins, not included here for

simplicity result in the same conclusion as in Equation (6).

$$\begin{aligned}
 R_z^{(2)} \left( J = \frac{1}{2} \right) &= \begin{bmatrix} \exp[i(1/2)^2 \theta] & 0 \\ 0 & \exp[i(-1/2)^2 \theta] \end{bmatrix} \\
 R_z^{(2)} (J = 1) &= \begin{bmatrix} \exp[i(1)^2 \theta] & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \exp[i(-1)^2 \theta] \end{bmatrix} \\
 R_z^{(2)} \left( J = \frac{3}{2} \right) &= \begin{bmatrix} \exp[i(3/2)^2 \theta] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp[i(1/2)^2 \theta] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \exp[i(-3/2)^2 \theta] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp[i(-1/2)^2 \theta] \end{bmatrix} \\
 R_z^{(2)} (J = 2) &= \begin{bmatrix} \exp[i(2)^2 \theta] & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp[i(1)^2 \theta] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp[i(-1)^2 \theta] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \exp[i(-2)^2 \theta] \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (7)$$



**Figure 1.** Sample angular variations of  $R_z^{(2)}$  for squares of spins 1/2, 1, 3/2, 2. Here the variations of  $M_j = \pm 1, 0$  of spins  $J = 1$  and  $J = 2$  and those of  $M_j = \pm 1/2$  of  $J = 3/2$  and  $J = 1/2$  are the same, therefore are not given here to avoid repetition. Marks represent the calculated values at definite angles and continuous lines represent fitted function.

### 3.2 Rotation Operators $R^{(2)}$ : General Forms

Variations of matrix elements of rotation operators  $R^{(2)}$  for spins 1/2, 1, 3/2 and 2 as samples are shown in Figure 2. The operators are all diagonal and all diagonal elements are the same for each spin. The results of fitting process for sample spins are given in Equation (8). As seen, all operators are unit matrices multiplied by functions  $\cos(a\theta) + i \sin(a\theta) = \exp(ia\theta)$ , where the values of coefficients  $a$  are given in Equation (8).

$$\begin{aligned}
 R^{(2)}(J = 1/2) &= \exp\left(\frac{3i\theta}{4}\right) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & R^{(2)}(J = 1) &= \exp(2i\theta) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 R^{(2)}(J = 3/2) &= \exp\left(\frac{15i\theta}{4}\right) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & R^{(2)}(J = 2) &= \exp(6i\theta) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

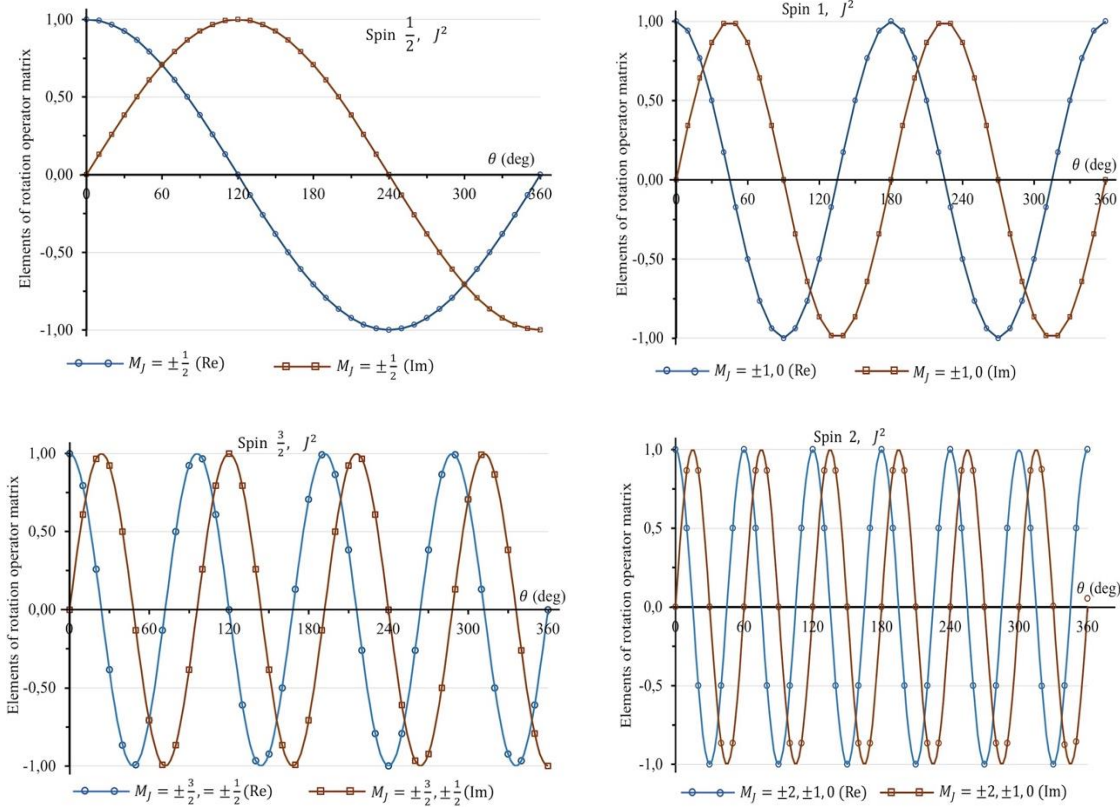
The results of calculations for other spins too, can be combined into a single function where the coefficients

$$\cos[J(J + 1)\theta] + i \sin[J(J + 1)\theta] = \exp[iJ(J + 1)\theta] \tag{9}$$

of arguments is  $a = J(J + 1)$ , given as

and operator forms as

$$R^{(2)}(J) = \exp[iJ(J+1)\theta] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{for all } J) \quad (10)$$



**Figure 2.** Sample angular variations of rotation operators  $R^{(2)}$  corresponding to  $S^2$  for spins  $1/2, 1, 3/2, 2$ . Marks represent the calculated values at definite angles and continuous lines represent fitted function.

#### 4 Conclusion

Quantum mechanical rotation operators  $R_z^{(2)}$  and  $R^2$  corresponding to  $\hat{J}_z^2$  and  $\hat{J}^2$  in explicit forms were constructed by numerical evaluations of exponential rotation operator as continuation of previously published works, where  $\hat{J}$  represents electron spin matrix  $\hat{S}$ , nuclear spin matrix  $\hat{I}$ , angular momentum matrix  $\hat{L}$  or coupled spin of  $\hat{S}, \hat{I}$  and  $\hat{I}$ . The exponential rotation operator was expanded in power series and numerical values for each operator elements at certain angles with definite intervals, and then the values were fitted to linear trigonometric polynomials of sines and cosines. Operator matrix of  $R_z^{(2)}$  is found to be diagonal with elements  $\exp[iM_J^2\theta]$ , where  $M_J = J, J-1 \dots -J$ , and that of  $R^2$  is found to be  $\exp[iS(S+1)\theta]$  for all  $M_J$ .

#### References

- Wigner E. P. (1959). Group theory and its applications to the quantum mechanics of atomic spectra. Los Alamos. New Mexico: Academic Press.
- Messiah A. (1967). North Holland Publishing Co. Orsay, France: Quantum Mechanics Vol. 2.

- Sakurai J. J., Napolitano J. J. (2011) *Modern Quantum Mechanics*. United States of America: Cambridge University Press.
- Morrison M. A., Parker G. A. (1987). A Guide to Rotations in Quantum Mechanics. *J. Aust. Phys.* 40, 465–498. doi:10.1071/PH870465
- Blanca M. A., Flórez M., Bermejo M. (1997). Evaluation of the rotation matrices in the basis of real spherical harmonics, *Theochem*. doi:10.1016/S0166-1280(97)00185-1
- Dachsel H. (2006). Fast and accurate determination of the Wigner rotation matrices in the fast multipole method. *J. Chem.Phys.* 124, 144115–1 to 144115–6. doi: 10.1063/1.2194548
- Gimbutas Z., Greengard L. (2009). A fast and stable method for rotating spherical harmonic expansions. *J. Comput. Phys.* 228, 5621–5627. doi:10.1016/j.jcp.2009.05.014
- Aubert G.(2013). An alternative to Wigner d-matrices for rotating real spherical harmonics. *AIP Advances* 3, 062121–1, 062121–25. doi: 10.1063/1.4811853
- Curtright T. L., Fairlie D. B., Zachos, C. K. (2014). Compact Formula for Rotations as Spin Matrix Polynomials. *SIGMA* 10, 1–15. doi:10.3842/SIGMA.2014.084
- Curtright T.L., Van Kortryk T.S.(2014). On Rotations as Spin Matrix Polynomials.*Mathematical Physics.* 48,2,025202. doi: 10.1088/1751-8113/48/2/025202
- Fukushima E., Roeder S. B. W. (1993). *Experimental pulse NMR: a nuts and bolts approach*. Broken Sound Parkway, NW: CRC Press.
- Gordon S., Rule H., Kelvin T. (2006). *Fundamentals of Protein NMR Spectroscopy*, Netherlands: Springer.
- Oliviera I., Sarthour R., Bonagamba T., Azevedo E., Freitas J. C. C. (2007). *NMR Quantum Information Processing* Netherlands: Elsevier.
- Jones J. A. (2001). NMR quantum computation. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 38, 325–360. doi: 10.1016/S0079-6565(00)00033-9
- Schweiger A., Jeschke G. (2001). *Principles of Pulse Electron Paramagnetic Resonance*. Oxford University Press. doi: 10.1002/jctb.936
- Kocakoç M. (2014) *Rotation Operators In Quantum Information Theory And Applicability of EPR Technique*(PhD tehesis), <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kocakoç M., Tapramaz R. (2016). Explicit expressions of quantum mechanical rotation operators for spins 1 to 2, *AIP Conference Proceedings* 1722, 200009. doi.org/10.1063/1.4944224

# Makro-Sentetik Fiberli Betonların Mekanik Davranışının İncelenmesi

Orhan KAHRAMAN<sup>1</sup>, Selçuk KAÇIN<sup>2</sup>, Mesut AYDIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, Iskenderun, Hatay, Türkiye*

<sup>2</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, Iskenderun, Hatay,*

<sup>3</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, Iskenderun, Türkiye*

*E-mail: orhankahraman.mfbe17@iste.edu.tr, selcuk.kacin@iste.edu.tr, mesutaydinmg@gmail.com*

## Özet

Bu çalışmada, makro-sentetik fiber kullanılarak üretilen betonların mekanik davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla önce referans (şahit) betonlar, daha sonra makro-sentetik (polipropilen) fiberli betonlar üretilmiştir. Katkı malzemesi olarak piyasada yaygın kullanılan forta ferro marka sentetik polipropilen fiber kullanılmıştır. Beton karışımlarında; en büyük agrega dane boyutu 4-11 mm agrega, çimento dozajı 400 kg/m<sup>3</sup> su/çimento oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Beton karışımlarına hacimce % 0.2, %0.4, % 0.6, % 0.8 fiberler ilave edilmiştir. Her fiber oranı için 3'er adet 10 cm ve 3'er adet 15 cm'lik küp numune, ayrıca 10\*10\*50 cm ebatlarında beton kirişler üretilmiştir. Elde edilen numunelere ultrasonik ses hızı ölçümü, beton test çekici, aşınma deneyleri uygulanmış, bu numunelerin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları test edilmiştir. Fibersiz (katkısız) betona göre fiberli betonların basınç ve eğilme dayanımlarında ciddi artışlar meydana gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makro-sentetik fiber, fiberli beton, basınç dayanımı, eğilme, mekanik davranış.

## Abstract

In this study, the mechanical behavior of fiber reinforced concrete was investigated experimentally. For this purpose, firstly reference concretes were produced, and then synthetic fiber reinforced concretes were produced. Polypropylene fiber were very common used as additives. Of concrete mixes; the largest aggregate particle size was 4-11mm aggregate, cement dosage 400kg/m<sup>3</sup>, water/cement ratio was kept constant as 0.5. 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% fibers were added to the concrete mixtures by volume. 3 cubic samples of 10 cm and 15 cm were produced from each series. On the other hand, concrete beams of 10\*10\*50cm in size were produced. Ultrasonic sound wave velocity measurement, concrete test hammer, abrasion tests were applied to the samples obtained, and the compressive and bending strength of these samples for 28 days were tested. There has been a significant increase in the compressive and flexural strength of fiber reinforced concrete compared to non-fiber concrete.

**Keywords:** Macro-synthetic fiber, fiber reinforced concrete, compressive strain, mechanical behaviour, flexure.

## 1. Giriş

Betonun basınç dayanımı yüksek olmasına karşın çekme direnci zayıftır. Ayrıca betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çatlak ve korozyon gibi özellikleri de iyileştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Betonun bu özelliklerini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalardan biri de katkı malzemelerinin kullanılmasıdır. Beton katkı malzemeleri arasında fiberlerin kullanımı oldukça yaygındır. Fiber çeşitleri arasında çelik fiber, sentetik fiber, karbon fiber, plastik fiber, bazalt fiberler bulunmaktadır. Farklı hacim oranlarında (20 kg/m<sup>3</sup> - 40 kg/m<sup>3</sup> - 60 kg/m<sup>3</sup>) çelik fiberlerle yaptığı çalışmada 4 adet prizma (10 cm x10 cm x 50 cm) ve 6 adet silindirik (d=10cm, h=15cm) numune üretmiştir. Yapılan eğilme testlerinde hacimce 60 kg/m<sup>3</sup> lif katkılı betonlarda enerji kapasitesi ve süneklik yönünden en yüksek değerlere ulaşıldığı gözlenmiştir [1]. Polipropilen lifle yapılan bir çalışmada ise yarı hafif beton ve lifsiz betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını kıyaslamıştır [2]. Yapılan bir çalışmada iki farklı oranda makro-sentetik lif katkılı betonarme kirişler üretilmiş, eğilme dayanımlarını ve çatlak durumlarını incelenmiştir [3]. Deneysel bir çalışmada polipropilen lifli betonarme kirişlerin referans kirişlere göre daha sünek davranış gösterdiğini ortaya konmuştur. Sonlu elemanlar programıyla da betonarme kirişlerin modellemesini yapmış Analitik modelle deneysel sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır. Buna göre analitik modelle deneysel çalışma sonuçlarının

birbiriyle uyumlu olduğunu belirtilmiştir [4]. Betona bazalt lif ilavesinin etkilerini incelenmiş, lif ilavesinin basınç ve yarmada çekme dayanımlarını arttırdığı sonucuna varmışlardır [5]. Hüsem ve ark. yüksek performanslı lif katkısının beton kırılma ve çatlak gelişimlerine etkisini araştırılmıştır. [6]. Yüksek dayanımlı betonlarla yapılan çalışmada lif etkisinin kırış eğilme davranışını nasıl etkilediğini incelenmiştir [7]. Sentetik polipropilen fiberler ile ilgili yapılan çalışmalarda aşınma direnci, sıcaklık etkisi, basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir [8-14].

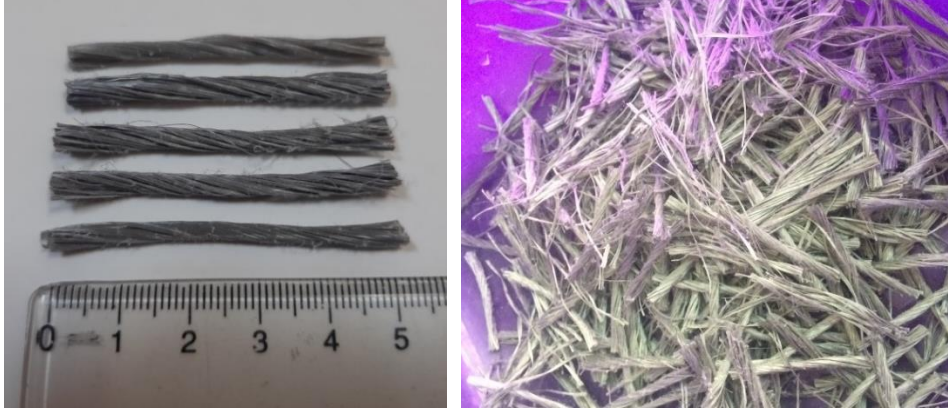
Bu çalışmada sentetik polipropilen fiberli beton kırışların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Hacimce % 0.2, % 0.4, % 0.6 ve % 0.8 fiberle hazırlanan 4 seri beton karışım harçlarıyla betonlar dökülmüştür. Numune boyutları 10 cm küp, 15 cm küp ve 10 cm \* 10 cm \* 50 cm prizma numune olmak üzere her seride 4'er adet numune üretilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde ultra ses hızı ölçümü (UPV) , beton test çekici (schmidt), aşınma, basınç ve eğilme deneyleri yapılarak mekanik davranışları irdelenmiştir.

## 2. Deneysel çalışmalar

### 2.1. Materyal

Beton karışımlarında kullanılan materyaller; Portland CEM I 42.5R çimento ( $d=3,1 \text{ kg/dm}^3$ ), 0-4 mm ve 4-11 mm kırmataş agrega, kopolimer yapıya sahip polipropilen makro-sentetik fiber, İskenderun şebeke suyu kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan polipropilen lif (PL) olup makro-sentetik fiberdir. 54mm uzunluğunda, polimer esaslı, uzun ömürlü, rötne ve ısıya bağlı çatlakları engelleyen sentetik malzemedir. (Şekil 1).



Şekil 2. Makro-sentetik polipropilen fiber

CEM I-42,5/R tipi portland çimentosuna ait teknik özellikler Tablo 1, fiberlere ait teknik özellikler Tablo 2'de yer almaktadır.



**Tablo 1.** Portland Çimentosu teknik özellikleri

Tipik Özellikler		Standart değer
Dayanım 2 gün	MPa	Min 20
Dayanım 28 gün	MPa	Min 42.5-62.5
Priz başlangıcı	dk	Min 60
Hacim genleşmesi	mm	Max 10
Özgül yüzey	cm <sup>2</sup> /gr	-
SO <sub>3</sub>	%	Max 4
Klorür	%	Max 5
Kızdırma Kaybı	%	Max 5
Çözünmeyen kalıntı	%	Max 5
C <sub>3</sub> A	%	Max 5
2C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF	%	Max 25
Özgül ağırlık	gr/cm <sup>3</sup>	3.14

**Tablo 2.** Makro-sentetik fiber (PL) teknik özellikleri

Karakteristik	Malzeme Özelliği
Ham Madde	% 100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 - 750 MPa
Elastisite Modülü	5,75 GPa
Yüzey Dokusu	Deforme Edilmiş Yüzey
Fiber Sayısı	220.000 Parça/kg
Yoğunluk	0,91 g/cm <sup>3</sup>
Erime Noktası	162-168 °C
Yanma Noktası	398 °C
Su Emilimi	Sıfır
Asit / Alkali Direnci	Mükemmel
Standart	ASTMC-1116

Polipropilen fiberler betonun; eğilme dayanımını arttırmak, enerji yutma kapasitesini iyileştirmek, sünekliliğini arttırmak, plastik rötre çatlaklarını azaltmak, donmaya karşı direnci arttırmak gibi faydalar sağladığından dolayı beton katkı malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

## 2.2. Yöntem

Deneyleerde 10 cm'lik kip numunelere; ultrasonik ses hızı ölçümü (Upv), aşınma deneyleri yapılmıştır. 15cm'lik küp numunelere beton test çekici (schmidt) ve basınç testi, üretilen kirişlere de 3 noktalı eğilme testleri uygulanmıştır. Beton karışımları İskenderun Teknik Üniversitesi Yapı



Laboratuvarı'nda 27dm<sup>3</sup> kapasiteli mikserle hazırlanmıştır. İlk karışım serisinde şahit (referans) numuneler üretilmiş olup bu numunelerde hiçbir katkı kullanılmamıştır. 2. Seride hacimce %0.2 polipropilen lif (PL2) katkısı karışıma ilave edilmiştir. 3. Seride hacimce %0.4 polipropilen (PL4) katkılı betonlar üretilmiştir. 4. Seride hacimce %0.6 lif katkılı betonlar üretilmiştir. 5. Seride hacimce %0.8 lif katkılı betonlar PL8 şeklinde adlandırılmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Beton karışımlarının kodlanması

Beton karışımı	Katkı adı ve oranı (%)
Şahit	-
PL2	Polipropilen lif, %0.2
PL4	Polipropilen lif, %0.4
PL6	Polipropilen lif, %0.6
PL8	Polipropilen lif, %0.8

Beton karışımları hazırlanırken homojen karışım elde etmek için, çimento, kum ve agrega kuru halde 5dk mikserde karıştırıldıktan sonra fiberler (lif) ilave edilmiştir (Şekil 3). Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları

İçerik	1m <sup>3</sup> betondaki malzeme miktarı (kg)
Çimento	400
İnce Agrega (0-4mm)	1022.4
İri Agrega (4-11mm)	694.45
Su	200



**Şekil 3.** Beton karışımlarının hazırlanması

Hazırlanan her seri karışımdan 4'er adet 10cm'lik küp numuneler alınmıştır. Küp numuneler 24 saat kalıbında bekledikten sonra kür havuzuna bırakılmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Numunelerin kür havuzuna bırakılması

Kür havuzundan 28 gün sonra çıkarılan numuneler önce tahribatsız deneylere (UPV, schmidt çekici, aşınma), ardından STM C39 (1994) standardına uygun bir şekilde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur.

UPV, ultrasonik dalga hızı deneyi olup TS EN 12504-4 'e göre dalga hızının ölçümü, betonun homojenliğinin, betondaki çatlak ve boşlukların varlığının, betonun zamanla değişen özelliklerinin ve dinamik fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şahit numunelerden başlanarak her küp için beşer adet ölçüm yapılmış olup ölçülen değerlerin ortalaması alınarak nihai değer elde edilmiştir (Şekil 5). Elde edilen değerler Tablo 5'te yer almaktadır.



**Şekil 5.** Ultrases hızı ölçüm testinin yapılması

**Tablo 5.** Ultrasonik ses hızı testi verileri (m/sn)

Numune	Ölçülen ort. değer
Şahit	4206.4
PL2	3588
PL4	3489
PL6	3390
PL8	3200

10cm'lik Şahit (referans) ve fiber katkılı beton numunelere aşınma testleri uygulanmıştır (Şekil 6). Aşınma yüzdeleri Tablo 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. Aşınma deney aleti ve aşınma miktarının ölçülmesi

Tablo 6. Aşınma miktarları (%)

Numune Türü	Ölçülen değerler			Ölçülen ort. değer
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	
Şahit	0.21	0.22	0.22	0.21
PL2	0.85	0.89	0.7	0.81
PL4	1	0.99	1.25	1
PL6	2.25	3.05	3.9	3.06
PL8	3.26	4.74	4.22	4.05

15cm'lik küp numunelere beton test çekici (schmidt) deneyleri uygulanmıştır (Şekil 7). Beton test çekici (schmidt) TS EN 12504-2'ye göre sertleşmiş betonun basınç dayanımı özelliklerinin hasarsız yöntem ile ölçümünde, betonun genel kalitesinin ve betondaki zayıf noktaların tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Alınan 10 schmidt çekici değerlerinin okuması ve tepme değerleri tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Beton test çekici deneyinin uygulanması

Tablo 7. Beton test çekici değerleri

Numune	Ölçülen ort. değer	Schmidt basınç dayanımı (Mpa)
Şahit	20	30
PL2	15	20
PL4	15	20
PL6	14	18
PL8	13	16

15cm'lik küp numunelere beton basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 8). Ortalama Basınç dayanımları tablo 8'de yer almaktadır.



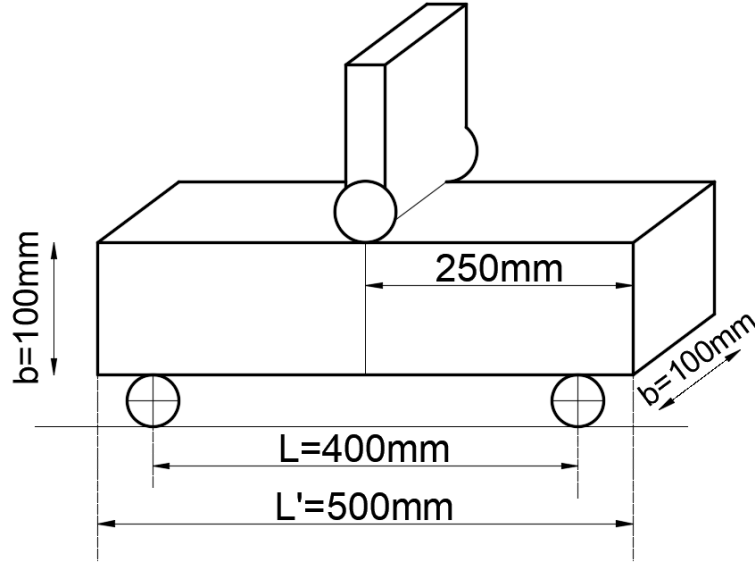
Şekil 8. Beton basınç dayanımlarının elde edilmesi

Tablo 8. Beton basınç dayanımları

Numune Türü	Ölçülen değerler			Ölçülen ort. değer (kN)
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	

Şahit	342.5	383.57	266.92	330.1
PL2	462.68	465.3	535.95	487.96
PL4	432.43	471.76	572.5	498.13
PL6	512	496.56	565.52	524.69
PL8	441.6	416.68	386.38	405.29

Beton kirişlere 3 noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Bu deney iki mesnet üzerinde duran numuneye tam ortasından düşey yönde yük verilmesi şeklinde uygulanır. Deney düzeneği Şekil 9 ve kirişin düzenekteki hali şekil 10'da yer almaktadır.  $L$ , Mesnetler arası mesafe,  $L'$ , kiriş boyu,  $h$ , kiriş yüksekliği ve  $b$  ise kiriş enini göstermektedir.



Şekil 9. 3 noktalı yükleme düzeneği





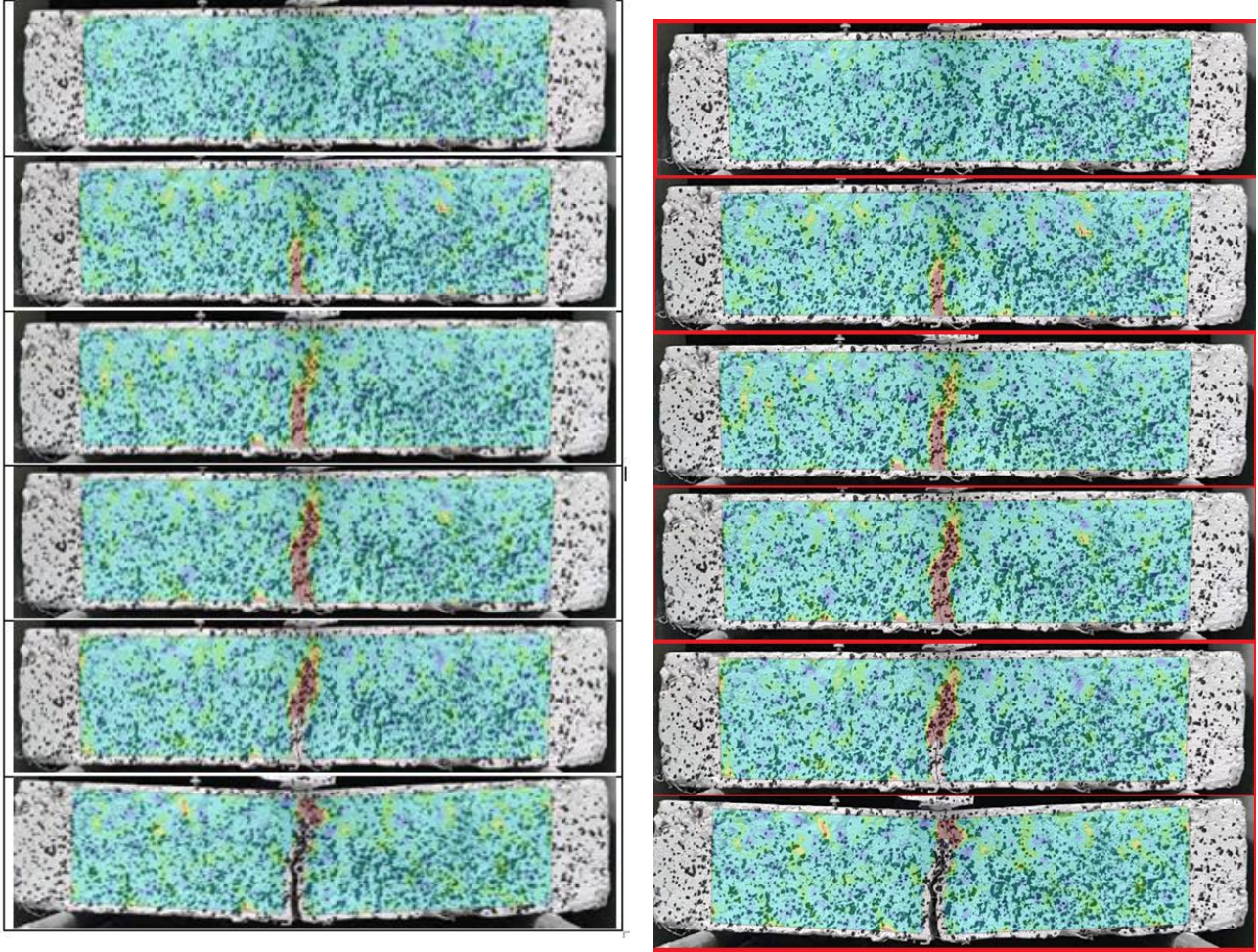
**Şekil 10.** Kirişlerin düzeneğe yerleştirilmesi ve kırılma durumları

Donatısız olarak 10cm\*10cm\*50cm boyutlarında üretilen kirişlere aktarılan maksimum yükler ve maksimum yükte ölçülen deplasmanlar tablo 9'da yer almaktadır.

**Tablo 9.** Kiriş ortasındaki maksimum yükler ve ölçülen deplasmanlar

Numune Türü	Ölçülen maksimum yükler (kg)			Ölçülen ort. değer (kg)	Kırılma anındaki deplasmanlar (mm)
	Numune 1	Numune 2	Numune 3		
Şahit	398.6	154.52	240.93	264.68	1
PL2	580.88	531.68	524.117	545.41	1.35
PL4	602.94	606.74	604.21	604.61	1.67
PL6	782	608	604.28	664.77	2.22
PL8	777	580.25	587.81	648.34	2.4

Görüntü işleme metodu görüntülerin alınıp bir takım işlem adımına tabi tutularak bilgisayarca tanımlanması ve istenilen amaca uygun olarak görüntülerin yorumlanması olarak tanımlanmaktadır [15-18]. Bu çalışmada görüntü işleme yönteminden yararlanılarak kirişlere ait yüzey gerilmeleri ve deplasmanlar bu yöntemle elde edilmiştir. Elde edilen verilerden %0.4 PL lifli kirişe ait yüzey gerilmeleri görüntüleri Şekil 11’de sunulmuştur.



Şekil 11. %0.4 PL lifli kirişlere ait kırılma anına dek yüzey gerilmeleri ve kırılma durumları

### 3. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, makro-sentetik fiber kullanılarak üretilen betonların mekanik davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla önce referans (şahit) olarak adlandırdığımız lifsiz betonlar, daha sonra makro-sentetik (polipropilen) fiberli betonlar üretilmiştir. Hacimce %0.2, %0.4, %0.6, %0.8 fiber, 0-4mm ince agrega ve su/çimento oranı 0.5 sabit alınarak beton karışımlarıyla numuneler üretilmiştir. Bu numunelerle ultrasonik ses hızı ölçümü, beton test çekici, aşınma deneyleri uygulanmış, bu numunelerin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda yer almaktadır:

- Küp numunelere yapılan UPV (ultra ses hızı) ölçümü tesleri sonuçları incelendiğinde referans (şahit) betona göre hacimce lif katkısı arttıkça ses hızının düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi referans betonun tokluğunun daha çok olması ve lif ilavesinin beton içerisinde boşluklar oluşturarak sesin hızını düşürmesidir.
- 10 cm’lik küp numunelere yapılan aşınma deneylerine göre referans betona göre fiberli betonlarda aşınma kayıpları artmıştır. En yüksek aşınma; hacimce % 0.8 PL lifli betonda olup % 3.71’dir.



- 15 cm'lik küp numunelere uygulanan beton test çekici (schmidt) deneylerine göre referans betona göre fiber ilavesi arttıkça schmidt dayanım değerleri düşmektedir. Bu durum polipropilen liflerin sertliği ile ilgilidir.
- 28 günlük beton basınç dayanım değerleri kıyaslandığında ise fiber katkısının referans (şahit) betona göre basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Buna göre şahit beton basınç dayanımı 330 kN iken, % 0.6 PL lifli betonda basınç değeri 524.69 kN olup en yüksek değere ulaşmıştır. En düşük değer ise 405.29 kN olup %0.8 PL lifli betondan elde edilmiştir.
- Kirişlere uygulanan 3 noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre şahit betona göre lif ilavesinin eğilme dayanımlarını arttırdığı belirlenmiştir. Taşıma kapasitesi en yüksek kiriş % 0.6 PL lifli kiriş olup şahit betona göre maksimum eğilme yükü 2.5 kat fazladır. % 0.2 PL lifte bu oran 2.7, % 0.4 PL lifte ise 2.27'dir. %0.8 PL lif ilavesinde ise eğilme yükü düşmüştür. Ancak yine de referans betona göre 2.4 kat yüksektir. Buna göre polipropilen lif katkısının kirişin eğilme dayanımı arttırdığı sonucuna varılmıştır. Kirişlerde meydana gelen yüzey gerilmeleri, çatlak ilerlemesi ve düşey deplasmanlar kırılma anına dek görüntü işleme yöntemiyle elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Alparslan, U. (2015). Çelik lif uç geometrisinin beton özelliklerine etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabaci, S., & Başyigit, C. (2010). Polipropilen Lif Katkili Yari Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2(1), 9-14.
- [3] Özcan, Z. (2018, May). Betonarme Elemanlarda Sentetik Makro Fiber Liflerin Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması. In 2nd International Symposium On Natural Hazards And Disaster Management, Sakarya University Culture And Congress Center, Sakarya-Turkey 04-06 May 2018.
- [4] Aryan, A. (2014). Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [5] Günaydın, O., & Güçlüer, K. (2018). Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. El-Cezeri Journal Of Science And Engineering, 5(2), 416-424.
- [6] Hüsem, M., & Demir, S. (2013). Çelik ve Polipropilen Liflerin Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonlarda Kırılma ve Çatlak Gelişimine Etkisi. Engineering Sciences, 8(4), 182-193.
- [7] Karabulut, M. Y., (2017). Sentetik lifin ultra yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin eğilme davranışına etkisinin incelenmesi, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [8] Navas, F. O., Navarro-Gregori, J., Herdocia, G. L., Serna, P., & Cuenca, E. (2018). An experimental study on the shear behaviour of reinforced concrete beams with macro-synthetic fibres. Construction and Building Materials, 169, 888-899.
- [9] Yazdanbakhsh, A., Altoubat, S., & Rieder, K. A. (2015). Analytical study on shear strength of macro synthetic fiber reinforced concrete beams. Engineering Structures, 100, 622-632.
- [10] Can Ö., Durmuş G., Subaşı S., Yıldız K., Arslan M., (2009). Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- [11] Hasan, M. J., Afroz, M., & Mahmud, H. M. I. (2011). An experimental investigation on mechanical behavior of macro synthetic fiber reinforced concrete. Int. J. Civ. Environ. Eng, 11(3), 19-23.
- [12] Topçu, İ. B., Demirel, O. E., & Uygunoğlu, T. (2017). Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri, Politeknik Dergisi, 20(1), 91-96.



- [13] Abaeian, R., Behbahani, H. P., & Moslem, S. J. (2018). Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibres. *Construction and Building Materials*, 165, 631-638.
- [14] Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., & Can, Ö. (2014). The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete. *Composites Part B: Engineering*, 61, 191-198.
- [15] Çankaya, G., Arslan, M. H., & Ceylan, M. (2013). Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemleri ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*.
- [16] Jahne, B. (2004). *Practical handbook on image processing for scientific and technical applications*. CRC press, (Chapter 1).
- [17] Senem B., “Görüntü işleme yöntemi kullanılarak yapısal deformasyonların ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2017.
- [18] Kaçın, S., & Aydın, M. (2020). Görüntü İşleme Yöntemi İle Betonarme Kiriş Deplasmanlarının Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 107-117.

# Simple Heliostat Design for Central Concentrated Solar Power System

Emel Karaoğlu, Ali Joma Nazari, Recep Tapramaz

*Ondokuz Mayıs University, Renewable Energy and Applications Program*

## Abstract

Southern parts of Turkey and Afghanistan receives solar power to utilize as renewable energy source. Photovoltaic panels are primary technology to produce electric directly and therefore their use is widespread. They produce electricity while there is sunshine hitting panels directly or indirectly, and produced electricity is consumed instantly, because huge number of battery arrays to store electricity for night-time consumption for most of consumers is expansive. Therefore, some other alternative technique seems to be vital and the concentrating solar power system (CSP) is the most favorable candidate. It produces electricity indirectly by means of steam turbine and generator. It is capable of storing some part of energy during daytime and continue producing electricity for long time after sunset. In this work, we introduce a new algorithm to calculate and design the heliostat which is one of the main three elements of CSP system. It will be possible to calculate the total power received and collected at receiver, and also energy efficiencies of CSP and photovoltaic panels will be comparable with PV panels.

## Introduction

Solar energy is one of the favorable promising renewable energy resources because of several reasons. First of all, it is clean and is not harmful for nature, and one of the reasonable solutions for global warming arising mainly from fossil fuels. The next reason, which is equivalently important as first one is a plausible solution for such countries as Turkey and Afghanistan importing large amount of energy requirements from other countries. Photovoltaic Solar panels which is one of the alternative renewable energy technologies, are relatively cheap, easily installable and “ready to use” way of utilizing solar energy, but they produce electric energy only during daytime. The next alternative is concentrating solar power (CSP) technology with additional advantages: it can continue producing electric energy for a certain time after sunset, and it can be built up using well known and cheap materials and engineering.

Since CSP facility in industrial scale was first emerged in 1980's, highly satisfactory techniques were developed since then. In the first years, parabolic trough collectors and linear heat exchanger pipes were used to concentrate solar power. Later on, concentrating power systems evolved to central receiver and heat exchanger on top of towers and distributed reflecting Fresnel mirrors, or ‘heliostat’. For chronological development of CSP, systems one can refer to Sobonnadière [1].

Physical basics of solar energy and detailed information about concentrating power systems and other renewable energy technologies can be found in Da Rosa and Şen, [2, 3], and various aspects of renewable energy resources and technologies can be found in Sørensen, [4]. Recent trends and applications on CSP systems are collected in conference proceedings, e.g. see [5, 6].

Huge amount of papers on renewable energy and hence CSP systems have been published in recent years parallel to the increasing applications and experiences. Romero-Alvarez and Zarza, [7], investigated the efficiency of a real CSP system and reported a hopeful future for this technology. A heliostat design, positions of mirrors and cosine effects were suggested by Wei et al [8, 9]. The importance of Fresnel collector mirror placements of heliostat was discussed and reported to be the most important element of CSP systems by Zhu [10]. Importance of properly designed heliostat efficiency by taking care of dimensions of field, mirror numbers optimization and arrays, position and height of tower, heat deposit,ng reservoirs and similar other static CSP elements were discussed and suggestions were made using models in countries like Algeria and Saudi Arabia, [11 - 15].

The southern regions of Turkey and Afghanistan, and even of the neighboring countries are capable of utilizing CSP as alternative energy supply system. Moreover, most of these facilities can be constructed by the countries themselves using simple and cheap materials. Before starting realization, of course field and feasibility of system on suitable and proper model is necessary. The starting point is the design of collecting

mirrors and tower height, or with the well-known term heliostat. In this work we developed a simple and versatile algorithm and software to determine optimum heliostat placement in a chosen field working with different input parameters.

### Material and Method

A heliostat design requires some number of input parameters. First and probably most important parameter are geographic positions, altitude and longitude where a CSP system is to be constructed. One must refer to Turkish State Meteorological Service [16], Afghanistan Meteorological service, [17] and organization working computation on Sun path on Earth, [18]. The dimensions of the chosen field, position and tower height, the dimensions of each mirror and distance of first heliostat ring from tower and position of tower in heliostat are other important parameters. Flat and smooth fields are preferred for heliostats, but in case of tilted fields an additional tilt angle is necessary and should be included in calculation. Among them, tower height should be carefully determined. Higher tower is preferred for maximum number of collecting mirrors in limited fields as discussed in the following paragraphs but may be more or less problematic for heat transfer liquids to flow longer way between receivers - heat exchangers at top of towers and reservoir tanks. Shorter tower would result in a smaller number of collecting mirrors. The choice is up to engineers.

Sun's positions always change every moment along every day of a year, but mirrors are and should be fixed in the field, and therefore solar tracking mechanism orienting each mirror is necessary. In this case, heliostat should be designed for a definite time of a definite day of a year. After designing a heliostat, one can calculate the received solar power at any daytime of a year. For instance, if a heliostat is designed for 12 o'clock on 21 March equinox, smaller number of mirrors are mounted, meaning that heliostat field is not optimized. If it is designed for 21 June Solar solstice, maximum number of mirrors is mounted and use of field is highly optimized.

For maximum energy production and efficiency, some survey and trial are to be made on an efficient heliostat model, and we undertake to develop simple algorithm enabling us to design and chose the most efficient heliostat with different input parameters.

### Heliostat Design Considerations

A coordinate system should be set prior to design of heliostat. Figure 1 shows a proper coordinate system, which is cartesian system where  $x$  axis coincides with geographic South (S) and  $y$  axis coincides with East (E) orientations respectively.

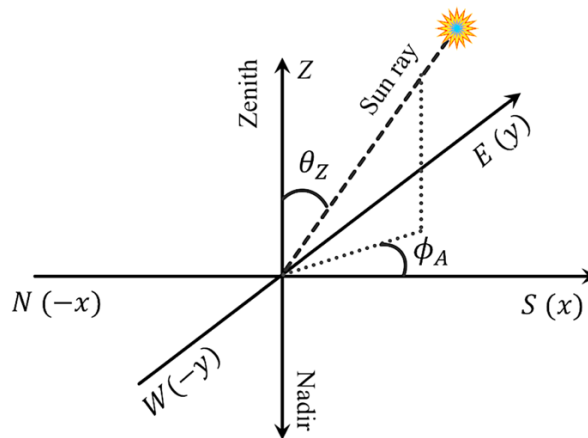


Figure 1. Coordinate system for heliostat.  $\theta_Z$  Zenith angle and  $\phi_A$  is azimuth angle where solar incidence angles are  $\alpha = 90^\circ - \theta_Z$  and  $\beta = \phi_A$ .

The necessary annually and daily astronomical and geological data, which are Earth's declination  $\delta$ , hour angle  $\omega$ , sunrise, sunset and daylight times  $T_{SR}$ ,  $T_{SS}$  and  $T_{DL}$ , solar incidence angles  $\alpha$  (elevation) and  $\beta$  (azimuth), day of year  $d$  (number of days starting from January 1), insolation  $I$ , air mass (AM $n$ ) can be found in [2, 3] and many astronomical textbooks. Since solar incidence angles  $\alpha$  and  $\beta$  change and collector mirrors must focus solar radiation on receiver at top of tower, mirror normal angles must be reoriented.

Figure 2 shows the incident and reflected solar rays and normal angles of mirrors at different positions. In the figure,  $\gamma$  is the angle of reflected ray,  $\theta_N$  and  $\phi_N$  are normal angles of reflecting mirrors with respect to horizontal plane and  $x$  (S) directions. Local axes  $x'$ ,  $y'$  and  $z'$  in fact are coincident with global  $x$ ,  $y$  and  $z$  axes. The other parameters are defined previously.

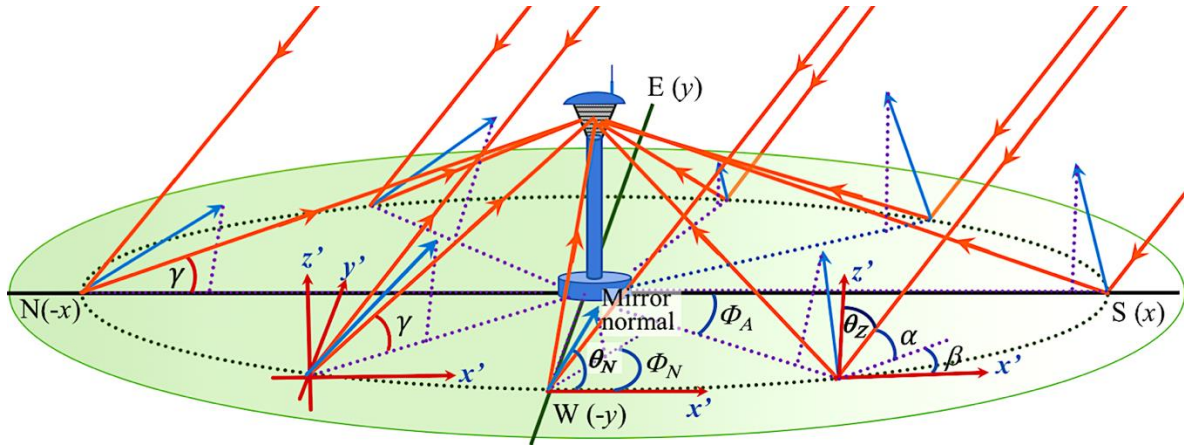


Figure 2. Indication mirror orientations of heliostat.

### Fresnel Reflectors

Fresnel reflector is a terminology derived from Fresnel lens, because it uses the same method when carrying three dimensional paraboloidal concave or convex mirror to a plane. Of course, the mirror positions must be designed at a certain date and time and focusing must be carried out by solar tracking mechanism. The normal angles of each reflector mirror need to be determined prior to placing the mirrors in heliostat rings because of that the mirrors on southern side of tower will be almost horizontal and normal angle will be close to zenith, and the ones at northern side will be close to vertical and the normal angle will be close to zenith or  $90^\circ$ , see Figures 2 and 5.

In order to determine the normal angles  $\theta_N$  and  $\Phi_N$ , we used an empiric and straightforward method, on a miniature model of a heliostat as shown in Figure 3. Metal beams were used to represent incident Sun rays for various incidence angles  $\alpha$ ,  $\beta$  in field azimuth angles  $\phi_A$  between  $0$  and  $360^\circ$ . The collected data for  $\Phi_N$  were analyzed and fitted to most suitable linear piecewise functions for different sample incidence angles  $\beta$  as shown in Figure 4(A) and Equation 1.

Take  $\Phi_N = 270 + \frac{\phi_A + \beta}{2}$  and

$$\text{If } \phi_A = \begin{cases} < \beta & \text{then take } \Phi_N = 180^\circ + \Phi_N \\ = \beta & \text{then take } \Phi_N = 180^\circ + \beta \\ \geq 360^\circ + \beta & \text{then take } \Phi_N = 180^\circ + \Phi_N \\ = 360^\circ \text{ and } \beta = 0 & \text{then take } \Phi_N = 180^\circ \end{cases}$$

and if  $\Phi_N \geq 360^\circ$  then take  $\Phi_N \rightarrow \Phi_N - 360$

(1)

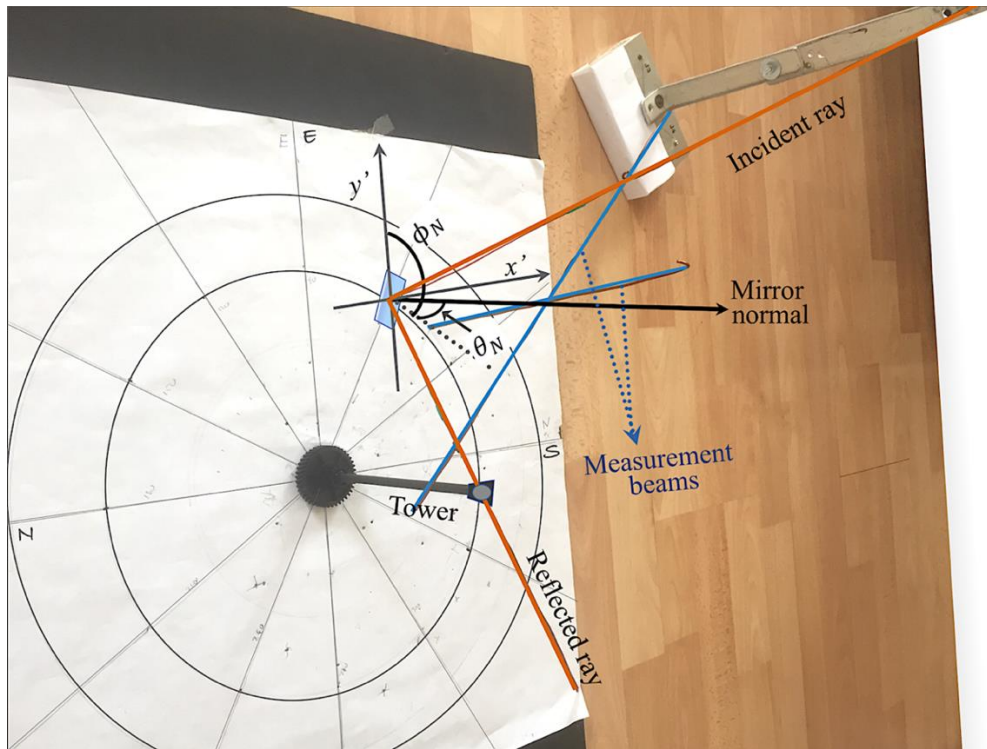


Figure 3. Miniaturized model of a heliostat to determine normal angles of reflector mirrors. Metal beams were used for incident and reflected Sun rays (brown beams), and angles were measured by other meta beams (blue beams).

Similarly, the data collected from miniaturized heliostat model for incidence angles  $\alpha$  and  $\beta$ , field azimuth angles  $\phi_A$  and tower angle  $\gamma$  found from the tower height and the radii of heliostat rings, (Figure 2). The variations with respect to these angles fit to sinusoidal functions given in Equation 2 and sample plots are given in Figure 4 (B).

$$\Omega_0 = \alpha + \frac{180^\circ - \alpha - \gamma}{2}$$

$$\Omega_1 = \alpha + \frac{90^\circ - \alpha - \gamma}{2}$$

$$\Delta = \left| \Omega_0 - \Omega_1 \sin\left(\frac{\phi - \beta}{2}\right) \right|$$

(2)

If  $\Delta > 90^\circ$  then take  $\Delta \rightarrow 180^\circ - \Delta$

At last take  $\theta_N = 90 - \Delta$

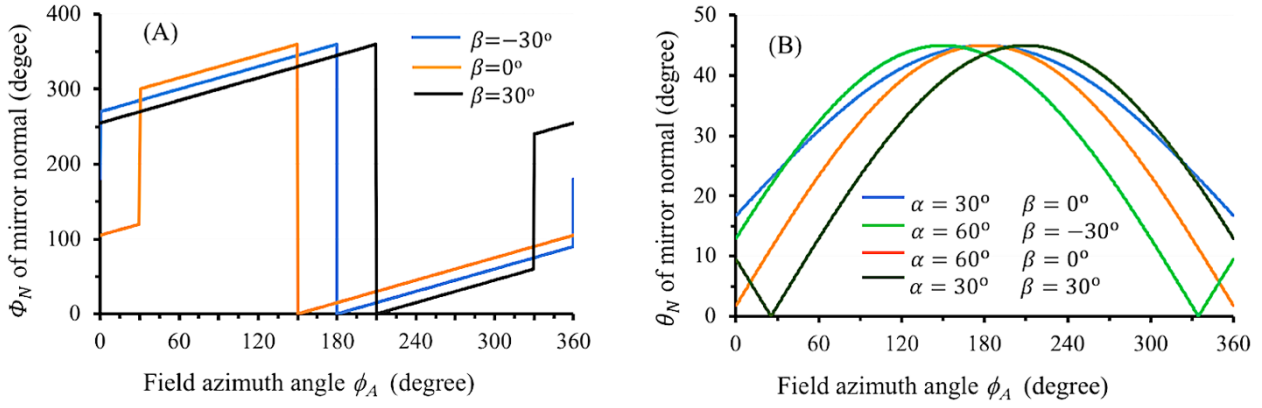


Figure 4. (A) Sample plots representing the azimuthal angle of mirror normal and (B) altitude angle of mirror normal.

The convenient way of mirror placement in a heliostat is mounting them in ex-centric circular arrays depending on declination of Earth and angles of incident Solar ray. Figure 5 shows the route of sunlight and the additional variables of mirrors, that is mirror normal angles  $\theta_N$  and  $\phi_N$ , and other temporary variables shown. The dashed line represents the positions of mirrors between  $i$ 'th and  $(i+1)$ 'th rings of heliostat and the angle  $\chi_i$  is found from tangent relation, Figure 5,

$$\tan \chi_i \approx \tan \gamma_i \approx \frac{h_T}{r_i} \approx \frac{h_i}{d_i} \text{ and } h_i = h_M \sin \theta_{N(ij)}, (i = 1, 2, 3, \dots N; j = 1) \quad (3)$$

and approximate expression of  $d_i$  can be written as

$$d_i \approx \frac{h_i}{\tan \gamma_i} \approx \frac{h_M \sin \theta_{N(ij)}}{\tan \gamma_i} \text{ or } d_i \approx \frac{h_m r_i \sin \theta_{N(ij)}}{h_T}, (i = 1, 2, \dots N; j = 1) \quad (4)$$

and similarly, the expression for  $\delta_i$  can be approximated as

$$\delta_i \approx \frac{h_M}{2} \cos \theta_{N(ij)} \approx \delta_{i+1}, (i = 1, 2, 3, \dots N; j = 1) \quad (5)$$

Therefore, the radii of heliostat rings can be found recursively from overall relation provided that first ring ( $i=1$ ) is taken arbitrarily,

$$r_{i+1} = r_i + \frac{h_M \sin \theta_{N(ij)}}{\tan \gamma_i} + h_M \cos \theta_{N(ij)}, (i = 1, 2, 3, \dots N; j = 1) \quad (6)$$

The variable  $\theta_{N(ij)}$  is the altitude angle of mirror normal in  $i$ 'th ring. Since the expressions are derived to calculate the radii and ex-centricity of heliostat rings, here only one index  $i$  is shown and second index is kept constant ( $j=1$ ) temporarily.

Because of the normal angles should be different for all mirrors, especially at southern and northern sides of tower, the heliostat rings must be ex-centric, as expected. The ex-centricity parameters  $a_i$  and  $b_i$  for  $i$ 'th ring are defined in the equation of circle in cartesian system

$$(x_i - a_i)^2 + (y_i - b_i)^2 = r_i^2 \quad (b_i = 0, i = 1, 2, 3, \dots N) \quad (7)$$

and

$$x_i = a_i + r_i \cos \theta_i \quad \text{and} \quad y_i = b_i + r_i \sin \theta_i, \quad (b_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots N) \quad (8)$$

Here, to avoid confusion,  $b_i$  is taken zero depending on the Sun's position mainly in S, (x), and N, (-x), direction, so the maximum solar radiation is received for this configuration, [1-6].  $\theta_i$  is azimuth angle of the field for  $i$ 'th ring where  $0^\circ \leq \theta_i \leq 360^\circ$ . A little help from analytical geometry, the expression of ex-centricity parameter  $a_i$  is given as

$$a_{i+1} = r_{i+1} - \left( \frac{r_i}{h_T} + \cos \theta_i \right) h_M, \quad (i = 1, 2, 3, \dots N) \quad (9)$$

where  $h_M$  and  $h_T$  are height of a mirror and of tower respectively.

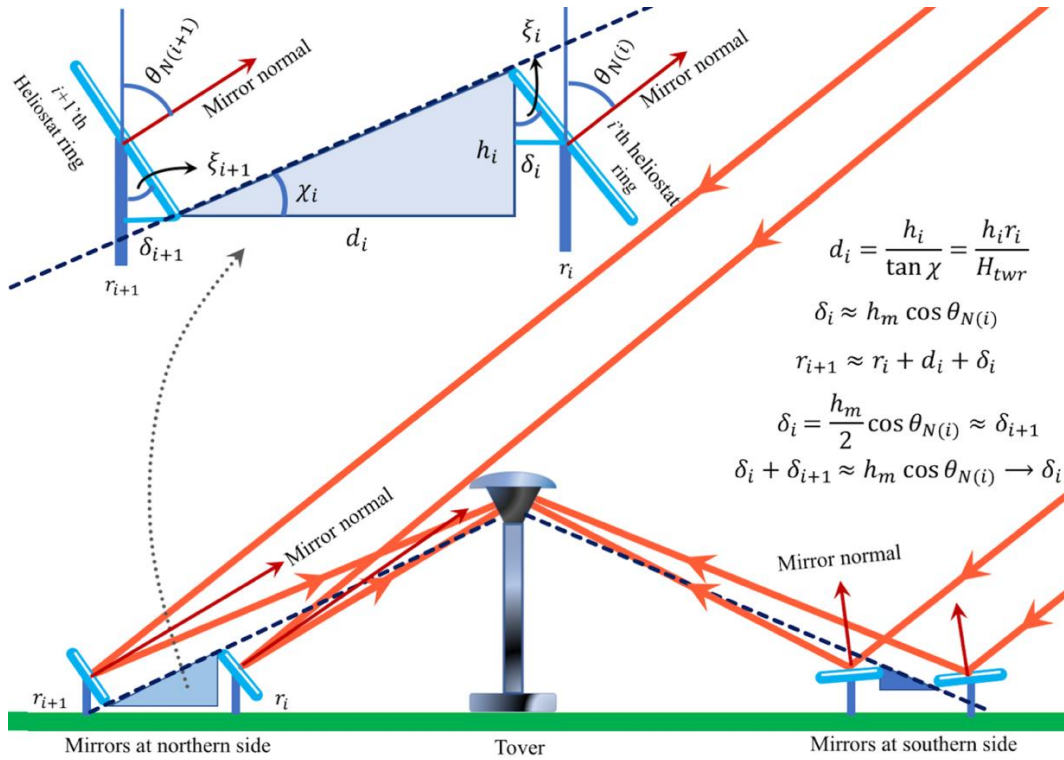


Figure 5. Representation of collector mirror placement in a consecutive ring of a heliostat.

The collector mirrors can be arranged in rings referring to the direction of incident solar ray, but direction of solar ray always changes and therefore fixing the mirrors of heliostat with respect to inefficient position of Sun. The acceptable way to optimize, or maximize the optical efficiency of heliostat is calculating the received power for different arrangements. By considering all possible arrangements, the reflectors placed in heliostat rings with equal spaces seems to be the best choice to receive maximum Sun power throughout one year.

Another problem is for what date and time the heliostat should be designed. The design consideration discussed here enables to determine the configuration by calculating received Solar power for different date and time and choosing the best result. A plausible date and time seem to be 21'st June, summer solstice, 12



o'clock where maximum power can be received. But some other dates and times can also be chosen on some special conditions and/or requests.

### Flat Field, Tilted Field

The CSP systems are constructed in mainly flat and smooth deserts or arid lands with sufficient sunshine is available. The calculations discussed in previous sections depend on these sorts of flat and smooth fields. If sufficiently large, smooth and tilted field facing only southward is available, it will be beneficial for more efficient heliostat of CSP system because ex-centricity of heliostat rings will be reduced, heliostat will be more symmetric and therefore more sun power will be received. The calculations involve rotated coordinate system as discussed in mathematics textbooks, and specifically in renewable energy textbooks, eg. see [3]. For tilted heliostat field, incident sun rays will be close to zenith, meaning that the designed heliostat will be closer to ideal parabolic Fresnel mirror.

### Power Calculation and Efficiency

The combined efficiency of CSP system can be handled in two parts: (1) optical efficiency of heliostat and (2) the power efficiency of the system. The power efficiency depends on heat converting capability of receiver, heat transfer and heat storing elements, steam turbines and generator. This part is out of the scope of this work and left for another work.

The optical efficiency is defined as the ratio of Solar power reflected by mirrors to receiver and total incident sun power to the total area of reflector mirrors. At any time of a day, incidence angles of Sun's ray  $\alpha$  and  $\beta$ , where  $\theta_{SR} = 90^\circ - \alpha$  is zenith angle and  $\beta$  is azimuth angle with respect to South ( $x$ ) direction. If the field is tilted with angle  $\varphi_T$  facing southward, that is ( $\phi_A = 0^\circ$ ), the normal vector of field surface is written as

$$\begin{aligned}\mathbf{\Lambda}_F &= (\sin(90 - \varphi_T) \sin \phi_A) \hat{\mathbf{i}} + (\sin(90 - \varphi_T) \cos \phi_A) \hat{\mathbf{j}} + \cos(90 - \varphi_T) \hat{\mathbf{k}} \\ &= \sin(90 - \varphi_T) \hat{\mathbf{j}} + \cos(90 - \varphi_T) \hat{\mathbf{k}}\end{aligned}\quad (10)$$

and the vector representing the sun ray is written as

$$\mathbf{I}_{SR} = (\sin(90 - \alpha) \sin \beta) \hat{\mathbf{i}} + (\sin(90 - \alpha) \cos \beta) \hat{\mathbf{j}} + \cos(90 - \alpha) \hat{\mathbf{k}} \quad (11)$$

and the power delivered at any time of a day to unit surface area is found by scalar product, known as 'cosine effect', as  $p_{SR} = \mathbf{\Lambda}_F \cdot \mathbf{I}_{SR}$ . For the surface area of each reflector mirror  $A_T$ , total number of mirrors  $M_N$  and air mass  $AM_n$ , the total power delivered the total mirror surface is

$$P_{SR} = \frac{A_T M_N p_{SR}}{AM_n} \quad (12)$$

The angles of mirror normal vector when reflecting sun ray to receiver on top of tower, on the other hand are, from Eqn. (1) and (2),

$$\mathbf{N}_M = (\sin \theta_N \sin \phi_N) \hat{\mathbf{i}} + (\sin \theta_N \cos \phi_N) \hat{\mathbf{j}} + \cos \theta_N \hat{\mathbf{k}} \quad (13)$$

The scalar product, or cosine effect with the incident sun ray vector given in Eqn. (11) is  $P_M = \mathbf{N}_M \cdot \mathbf{I}_{SR}$  and the total power delivered to the receiver, similar to Equation (12) is found as



$$P_M = \frac{A_T M_N P_M}{A M_n} \quad (14)$$

therefore, the optical efficiency can be written as follows

$$\eta = \frac{P_M}{P_{SR}} \quad (15)$$

Of course, the optical efficiency is for clear and cloudless sky, unshaded and dustless mirrors. In applications, the optical efficiency will reduce slightly depending on the climate, shading some mirrors by neighboring mirrors depending on the incidence angles of sun ray.

### Discussion

The method and the expressions explained above enables us to design a heliostat for a CSP system for a given field in a geographic position provided that necessary input parameters are given. A software relying on the algorithm was developed to make all necessary calculation. Figure 6 gives some sample heliostat design. In addition, the software gives incident solar power to field and the power reflected toward receiver or heat exchanger, and therefore the optical efficiency of heliostat is calculated.

Figure 7-A give some sample calculations along a day for the field given in Figure 6-C for a heliostat designed at July 21, 12 o'clock, and powers obtainable at three special dates, spring and fall equinoxes 21 March (and equivalently 21 September) and summer and winter solstices 21 July and 21 December. The solid markers represent total solar power falling on the surface area of all mirrors and empty markers represent the reflected power to receiver. Optical efficiencies are given separately in Figure 7-B. As expected, the design for summer solstice produce the highest power and higher optical efficiency. When the design is made for March 21, for example, the power received will be less.

The optical efficiency or performance of dustless and partly dusted solar concentrators of various shapes are fully discussed in [2, 5, 6, 7, 12, 19]. Efficiencies between 0.50 and 0.90 are reported depending on the structure and design parameters. As shown in Figure 7-B, the optical efficiency calculated is strictly dependent on the incidence angles of sun rays and varies between approximately 0.4 and 0.90.

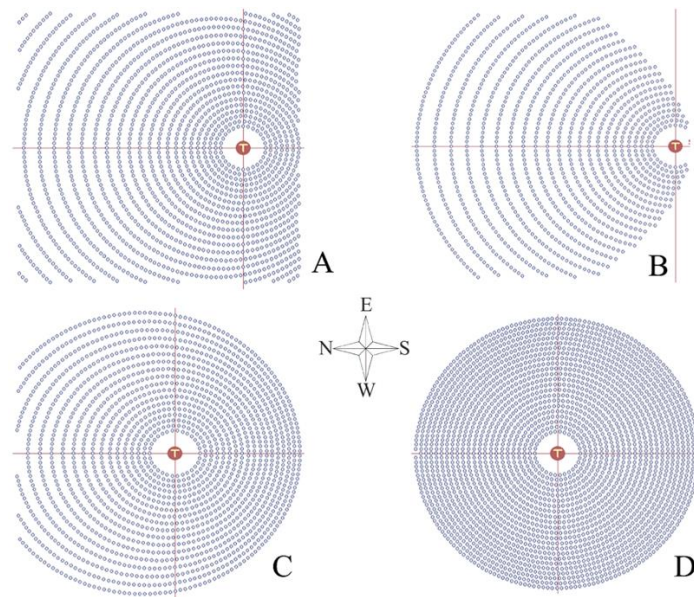


Figure 6. Some sample heliostat designs. All designs were made for 400 m x 400 m fields at 38° 43' latitude and 35° 24' altitude on northern hemisphere (somewhere in Turkey). The tower height is 64 m. A) the tower 180 m from south edge, B) tower is on the south edge and some part are erased, C) the tower is at the field

center and D) tower is at the field center and field is tilted with  $14^\circ$  facing southward. The heliostat at tilted field is close to ideal Fresnel mirror.

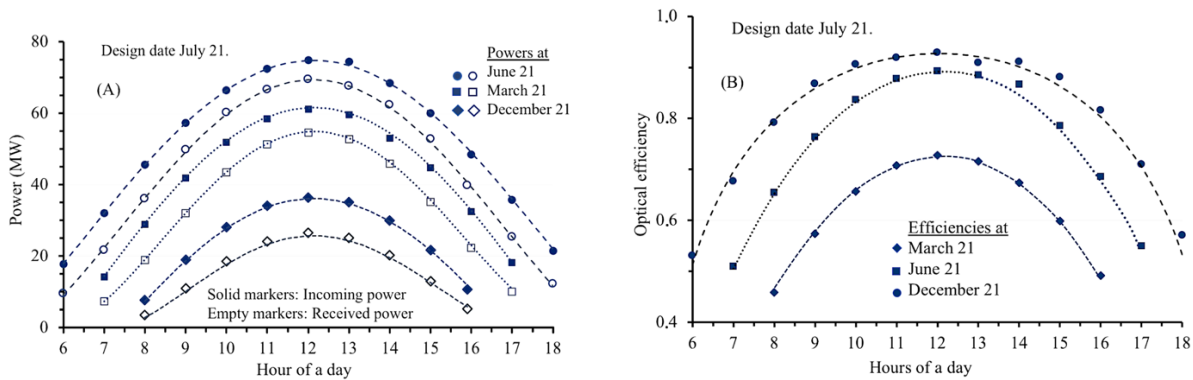


Figure 7. (A) incident and received sun powers for a heliostat designed at July 21 and calculated three special different date in a year, (B) the variations of corresponding optical efficiencies.

Similar sample designs for three special days given above is shown in Figure 8(A). In order to avoid confusion, only the received powers are plotted. The optical efficiencies are given in Figure 8(B), all coincident. The highest power is obtained for July 21, 12 o'clock. The results of sample calculations are considerable for an effective heliostat.

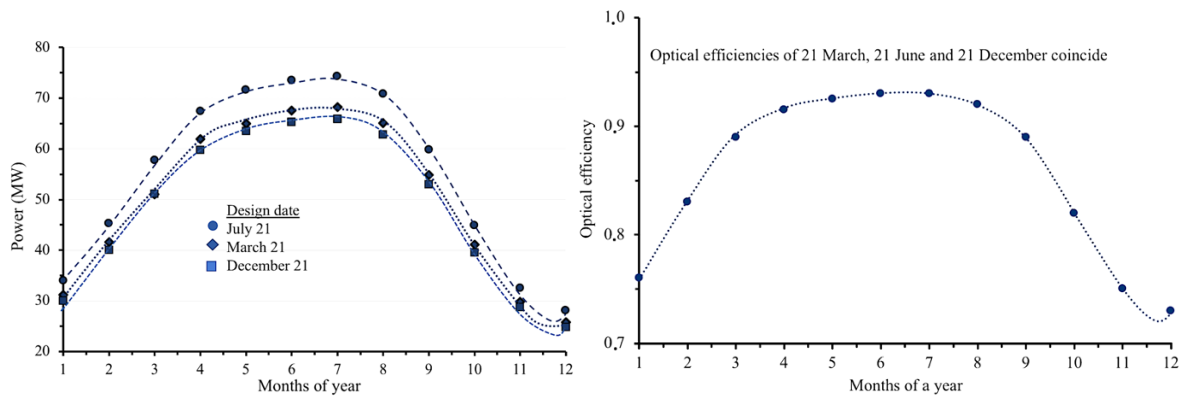


Figure 8. (A) Received powers on heliostat at March 21 (and equivalently September 21), July 21 and December 21. (The heliostat designed for July 21, 12 o'clock). (B) Corresponding optical efficiencies, which are all coincident.

## Conclusion

In this work a method and algorithm were developed and a software was written to design the heliostat of a CSP system using astronomical data and expression. The inputs of calculations are geographic position, (latitude and altitude), field dimensions, tower positions and height, tilt angle of field. The heliostat should be designed at a definite date and time to receive maximum sun power. The normal angles of reflector mirrors as functions of incidence angles of sun rays and positions of any mirror in the heliostat are empirically determined. The empiric expressions can also be used in the solar tracking system. The incident sun power falling on the total surface area of reflector mirrors and reflected and received power can be calculated at any daytime of a year. After performing all calculation for a given field, a heliostat design to get maximum sun power can be obtained before construction.

## References

1. Sabonnadière, J. C. (Editör) (2009) Renewable Energies, Wiley
2. Da Rosa, A. V., (2010) Fundamentals of Renewable Energy Processes, Academic Press
3. Şen, Z. (2008) Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, Springer Books

4. Sørensen, B. (2011) *Renewable Energy, Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning*, Academic Press.
5. Heller, P. (editör), (2017) *The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems, Analysis, Measurement and Assessment*, Elsevier, Woodhead Publishing series in energy.
6. Chandra, L.; Dixit, A. (editörler) (2018) *Concentrated Solar Thermal Energy Technologies, Recent Trends and Applications* (konferans bildiri kitabı), Springer Proceeding in Energy. doi.org/10.1007/978-981-10-4576-9
7. Romero-Alvarez, M. And Zarza, E. (2007) *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy* (Editors F. Kreith, D. Yogi Goswami) Chapter 21-Concentrating Solar Thermal Power), Taylor and Francis Group.
8. Wei, X.; Lu, Z.; Lin, Z.; Zhang, H.; Ni, Z. (2008) Optimization procedure for design of heliostat field layout of a 1MWe solar tower, *Solid State Lightning and Solar Energy Technologies, Photonics Asia 2007*, Pekin, basılmış konferans bildirisi, 684119, /doi.org/10.1117/12.755285
9. Wei, X.; Lu, Z.; Wang, Z.; Yu W.; Zhang, H.; Yao, Z. (2010) A new method for the design of the heliostat field layout for solar tower power plant, *Renewable Energy* 35(9) 1970-1975. doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.026
10. Zhu G. (2013) Development of an analytical optical method for linear Fresnel collectors, *Solar Energy* 94 240-252. DOI: 10.1016/j.solener.2013.05.003
11. Chen, R.; Rao, Z.; Liao, S. (2018) Determination of key parameters for sizing the heliostat field and thermal energy storage in solar tower power plants, *Energy Conversion and Management* 177 385-394.
12. Collado, F.; Guallar, J. (2019) Quick design of regular heliostatfields for commercial solar tower power plants, *Energy*, 178 115-125. doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.117
13. Giostri, A.; Binotti, M.; Sterpos, C.; Lozza, G. (2020) Small scale solar tower coupled with micro gas turbine, *Renewable Energy* 147, Part 1, 570-583. doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.013
14. Al-Kouz, W.; Nayfeh, J.; Boretti, A. (2020) Design of a parabolic trough concentrated solar power plant in Al-Khobar, Saudi Arabia, *E3S web of Conferences* 160, 02005. doi.org/10.1051/e3sconf/202016002005
15. Carballo, J. A.; Bonilla J.; Berenguel, M.; Fernandez,J.; Garcia, G. (2020) Solar tower power mockup for the assessment of advanced control techniques, *Renewable Energy* 149, 682-690. doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.075
16. <https://mgm.gov.tr>
17. <http://www.amd.gov.af>
18. [www.cuncalc.org](http://www.cuncalc.org)
19. Alaphilippe, M.; Bonnet, S.; Stouffs, P. (2007) Low Power Thermodynamic Solar Energy Conversion: Coupling of a Parabolic Trough Concentrator and an Ericsson Engine, *Int. J. Thermodynamics* 10(1) 37-45

# Artvin İlinin Madencilik Potansiyeli

## The Mining Potential of Artvin Province

**Asst. Prof. Dr. İbrahim Konuk**

*Artvin Çoruh Üniversitesi*

*i.konuk@artvin.edu.tr*

### Özet

Bu çalışma daha önce MTA (Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü) ve özel madencilik firmaları tarafından yapılan, arama, hazırlık işleri ve madencilik faaliyetleri sonucunda elde edilen, Artvin in madencilik potansiyeline odaklanmıştır. Bu işlemler sonucunda Masif tip (VMS) volkanojenik masif sülfid bakır-kurşun-çinko yatakları, epitermal tip altın-gümüş cevherleşmeleri, damar tip (Pb,Zn,Cu,Au,Ag cevherleşmeleri), Skarn- pirometasomatik tip (Fe,Cu) cevherleşmeleri, Porfiri tip (Cu,Mo) cevherleşmeleri, Volkano-Tortul tip (Mn) cevherleşmeleri, Kil-kaolen- bentonit gibi seramik sanayi hammaddeleri, inşaat sanayiinde kullanılan çimento hammaddeleri, tuğla-kiremit toprakları, granit gibi sert yapıtaşları, mermer-traverten-oniks gibi yapı taşları ve sıcak ve doğal mineral su kaynakları bulunmuştur. Bu mineral yatakları ve doğal oluşumlar, çevre etkilerini ve güvenli çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda, Artvin'i madencilik yapmak için elverişli bir yer haline getirmektedir. Artvin, Roma öncesi dönemlere kadar uzanan bir madencilik geçmişine sahiptir. Artvin madencilik potansiyeline ilişkin bilgiler MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), Çevre ve Şehirciliği Bakanlığı Artvin Bölge Müdürlüğü ve daha önceki araştırmalardan elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Madencilik, Metalik Mineraller, Artvin **Summary**

This study focuses on Artvin's mining potentials obtained from previous explorations, development works and mining activities being done by MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration) as well as private mining companies as a result of these processes, substantial number of massive type (VMS) copper-lead-zinc deposits, epithermal type gold-silver mineralizations, massive type (VMS) copper-lead-zinc deposits, epithermal type gold-silver mineralizations, vein type (Pb, Zn, Cu, Au, Ag) mineralizations, skarn-pyroxasomatic type (Fe, Cu) mineralizations, porphyry type (Cu, Mo) mineralizations, Volcanos-sedimentary type (Mn)mineralizations, Coal, Ceramic industry raw materials such as clay-kaolin-bentonite, Cement raw materials used in construction industry, brick-tile, building blocks of hard granite, marble-travertine-onyx and, hot and natural mineral water resources have been found. These mineral depositions and natural occurrences make Artvin favourable place to do mining, as long as considering enviromental impact and safe working conditions. Artvin has a mining history which goes back to pre-Roman times. The informations on mining potential of Artvin have been obtained from MTA(General Directorate of Mineral Research) Ministry of ,Environment and Urban Artvin Regional Directorate and previous researches.

**Keywords:** Mining, Metallic Minerals, Artvin

### Giriş

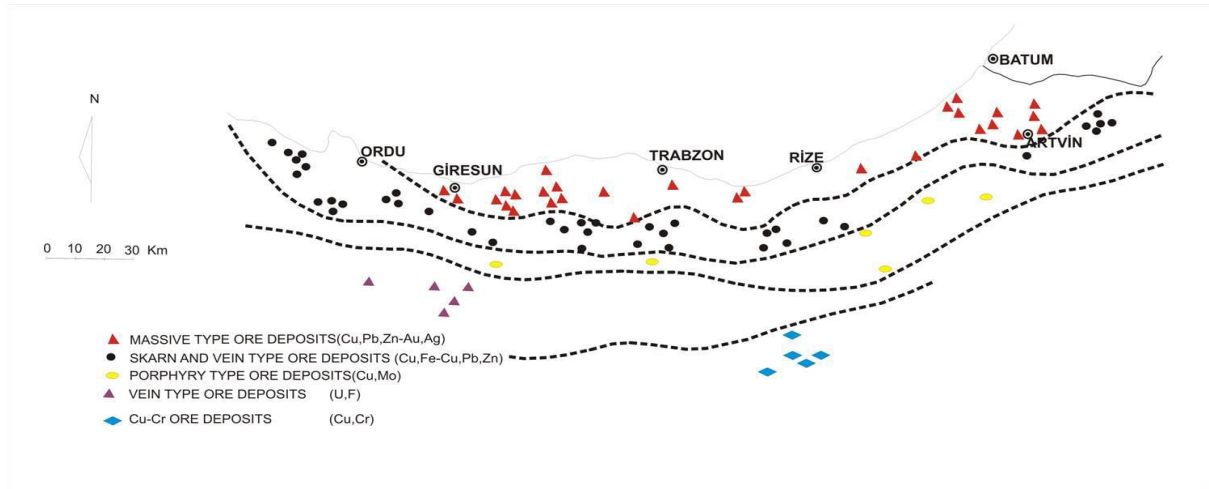
Madencilik, sanayinin hammadde ihtiyacını karşılayan dolayısıyla bir ülkenin ekonomisinin temelini oluşturan ve ekonomik kalkınmayı başlatan öncü bir sektördür. Madencilğin ülke sanayine kaynak sağlaması, istihdam yaratması, hizmet ve yan sanayi sektörlerini teşvik etmesi, özellikle bölgesel kalkınmayı sağlaması açısından ayrı bir önemi vardır. İçerdiği polimetale maden yatakları ve zuhurları bakımından (bakır-kurşun-çinko-altın-gümüş) ülkemizin en önemli metalojenik kuşaklarından birini oluşturan ve Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Artvin ili, metalik maden yatakları ve zuhurları bakımından oldukça zengindir. Doğu Karadeniz Metalojenik provensinin doğusunda yer alan Artvin ili metalik madenler açısından birinci derecede öneme sahiptir. MTA (Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü) ve özel kuruluşların bugüne kadar Artvin sınırları içinde yapmış oldukları çeşitli jeoloji ve madencilik çalışmaları

sonucunda kayda değer 44 adet bakır-kurşun-çinko, 1 adet demir, 17 adet manganez, 5 adet bakır-molibden ve 5 adet altın yatak ve zuhuru olmak üzere toplam 72 adet metalik maden yatak ve zuhuru belirlenmiştir. Halen arama çalışmaları devam etmektedir. Artvin ili endüstriyel hammadde açısından önemli bir potansiyele sahip değildir. Sadece çimento ve kireç hammaddesi olarak kireçtaşı ile granit-mermer yatak ve zuhurları önemli rezervler oluştururlar. MTA Genel Müdürlüğü'nün kuruluşundan bu yana, Bölge Müdürlüğü sınırları içinde, maden, endüstriyel hammadde, enerji hammaddesi, soğuk ve sıcak su aramaları amacıyla yaklaşık 350.000 m sondaj yapılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Artvin ili içerisinde madencilik faaliyetleri gösteren tüm firmaların isim ve faaliyet gösterdikleri alanlar Artvin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden, maden kaynaklarının dağılımıyla ilgili haritalar, MTA Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Şekil 1-2). Çalışma alanı içerisindeki aktif olarak işletilen maden firmaları ve sahaları tek tek yerinde ziyaret edilerek işletme sahası içerisindeki çıkan madenler kayıt altına alınarak listelenmiştir. Bu listede sahada çıkan madenlere ait cevher adı, üretim teknikleri ve yıllık üretim miktarları hakkında bilgi toplanmıştır. Fotoğraflar çekilmiştir. Maden sahalarına yapılan geziler öncesi, Artvin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden saha ziyaret izni alınmıştır. Toplanan bilgiler ile literatürde geçen bilgiler birleştirilerek Artvin ili sınırları içerisindeki madencilik potansiyeli araştırılmıştır.

Grafik 1. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan maden kaynaklarının dağılımı (MTA, 2010)

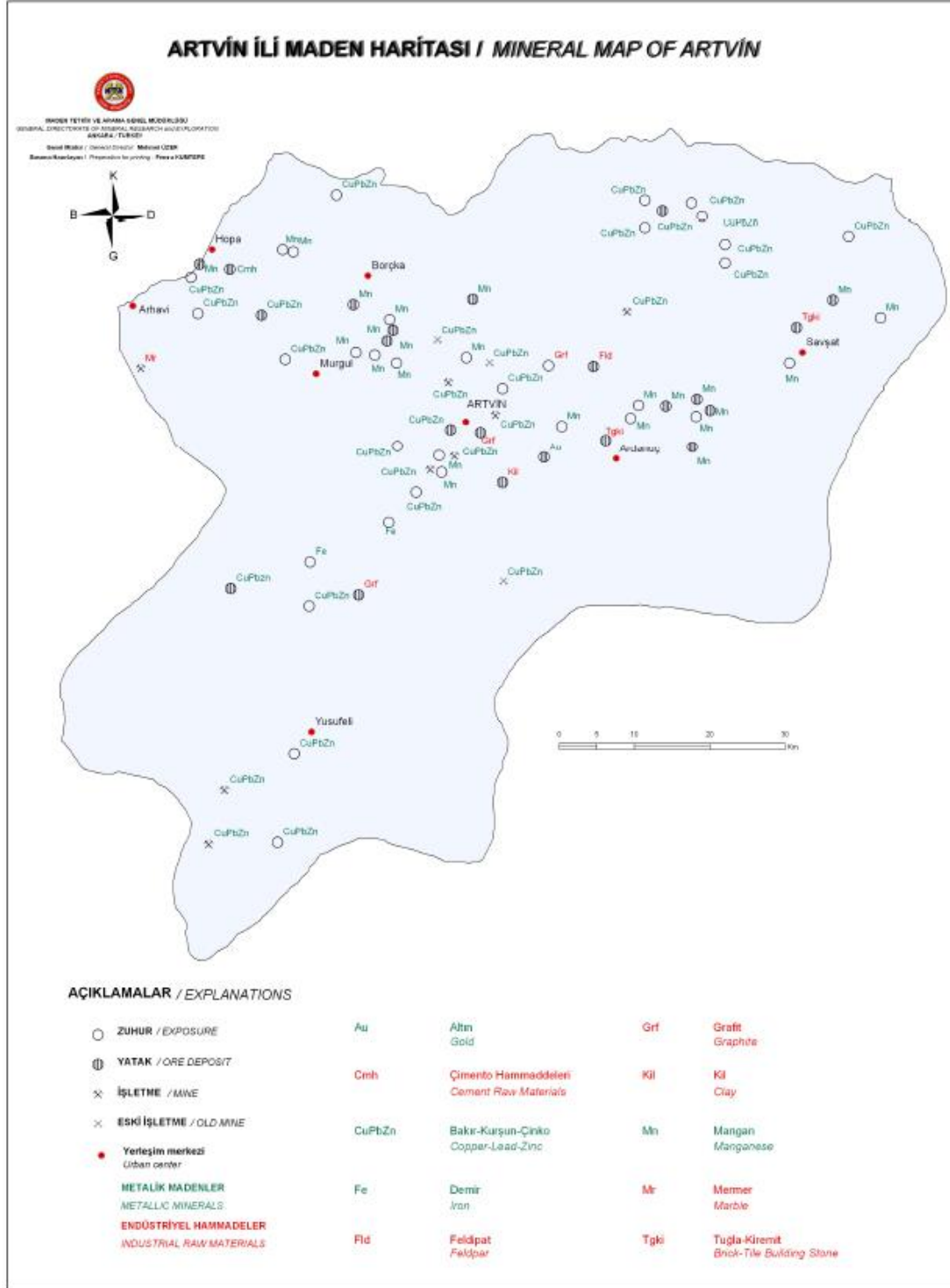


## ÇALIŞMA SAHASI

### Artvin'in jeolojik yapısı

Şekil 3'de gösterildiği üzere Artvin ilinin stratigrafik sütun kesitine göre doğu Pontidlerin güney kesiminde gelişmiş kuzeye bindirmeli yapılar arasında bağımsız tektonik dilimlerde yüzeye çıkan bu eski temellerden granodiyoritler; güneyde Çoruh vadisinde düşük dereceli metamorfizma etkileri taşıyan çakıltaşı, kumtaşı bazik volkanik ve çört katkılı silttaşından oluşan, Liyas (Alt Jura) yaşlı meta çökeller tarafından bir uyumsuzlukla üstlenir. Kuzeyde tektonik yontulma nedeniyle tabanı gözlenemeyen metamorfizma geçirmemiş sığ denizel çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşları belirli zonlarda yoğunlaşmış bitki kalıntılıdır. Yer yer granit, dasit ve diyabaz damarları ile kesilmiş meta çökeller üste doğru piroklastik ve çört arakatlı spilit ve bazaltlara geçer. Yersel yastık yapıları siyahimsi koyu yeşil renkli volkanik kayalar Liyas-Dogger (Orta Jura) yaşlı bir yay magmatizmasının kalkalkalen-toleyetik karakterli ürünleri olarak kabul edilir (Bektaş, 1985).

Grafik 2. Artvin ili maden yatakları haritası (MTA, 2010)



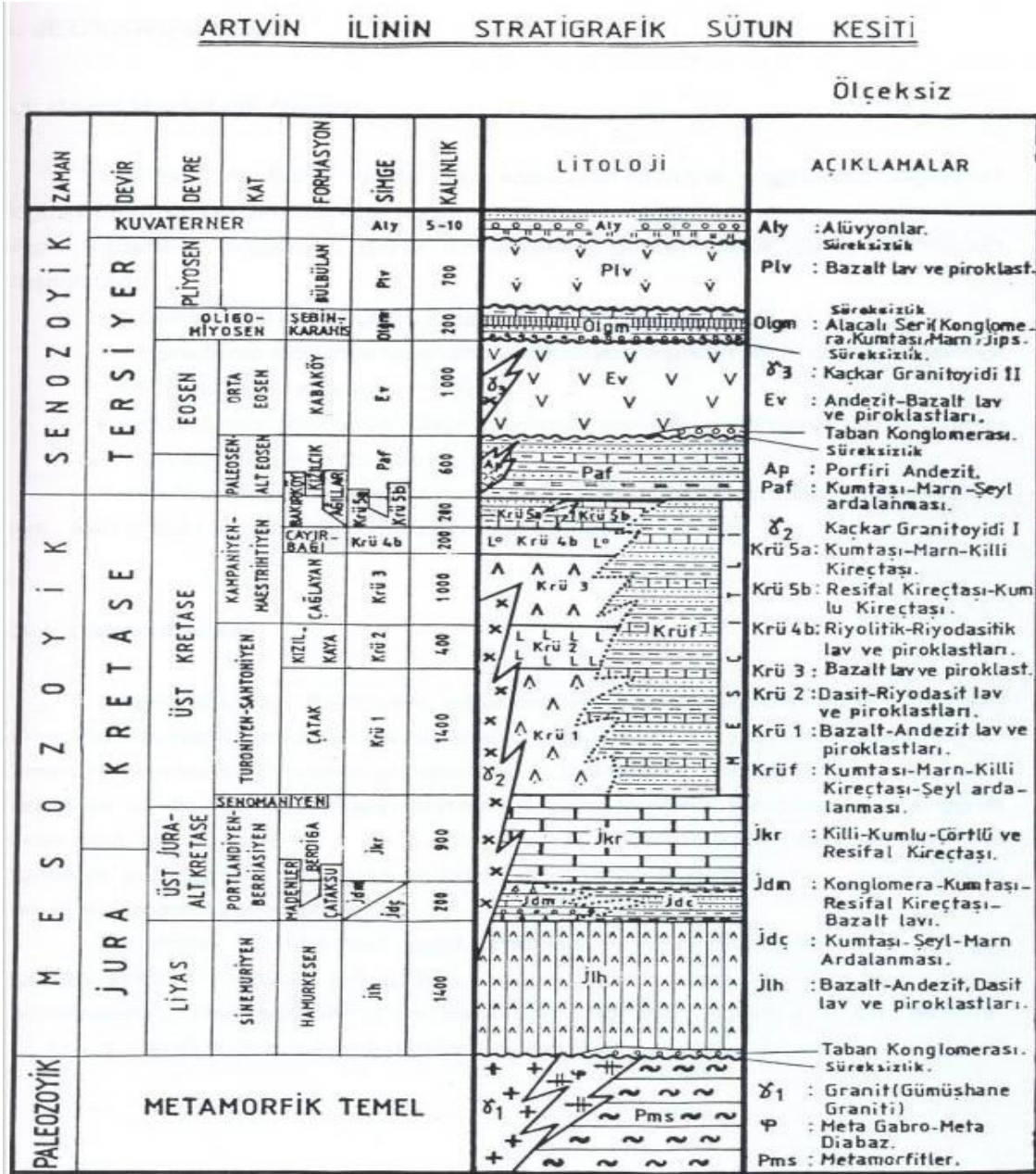
Orta Jura sonlarında bölge yükselerek kara durumuna geçmiştir. Üst Jura istifi bu karasallaşmaya ve hızlı aşınma-taşınmaya işaret eden bol volkanik kaya, çört daha az granitoyid, dasit, diyabaz, gabro, kireçtaşı ve metamorfik kaya parçalarından yapılmış, kırmızı-gri renkli, yelpaze deltası karakterli, karasal çakıl taşları ile volkanik kayalar üzerinde uyumsuz olarak oturur. Transgresif özellikli bu istifte, üste doğru, Üst Jura ve Alt Kretase yaşlı, sığ denizel kireçtaşı resiflerine geçilir. İstifin üst bölümünde yersel kumtaşı ve epiklastik ara katkılı lav ve piroklastikler bulunur. Alt Kretase sonlarında yeni bir yükselim geçiren bölgede Üst Jura-Alt



Kretase kayaları Turoniyen yaşlı, kızıl renkli, karasal-sığ denizel çakıltaşı, kumlu-killi kireçtaşı mercekli kumtaşı ile başlayan Üst Kretase istifi tarafından transgresif olarak örtülür (Kraeff 1963; Bektaş 1985).

Artvin ilindeki metalik cevherlerin bulunduğu yataklar Tablo 1'de, endüstriyel ve enerji hammadde kaynakları Tablo 2'de ve termal ve doğal mineral su kaymaklarının bulunduğu yataklar ise Tablo 3'de verilmiştir.

Grafik 3. Artvin ilinin stratigrafik sütun kesiti (MTA 1998 )



Tablo 1. Artvin ili metalik cevherleri (MTA 2016)

İL	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Merkez	Kafkasör(Cerattepe)	Carettepe Cu-Pb-Znyatağı
Artvin	Merkez	Seyidler	Seyidler Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Beşağıl	Beşağıl Cu-Zn zuhuru
Artvin	Merkez	Erenler	Erenler Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Kuvarshan	Kuvarshan Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Sinkot	Sinkot Zn-Pb yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Damar Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Çakmakkaya Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Çarkbaşı Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Kızılkaya Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Akarşen	Akarşen Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Hahur sırtı	Hahur sırtı Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Çamurlu yayla	Çamurlu yayla Cu zuhuru
Artvin	Arhavi	Tepeköy	Tepeköy Zn-Cu-Pb yatağı
Artvin	Hopa	Çamlıköy	Peronit Cu-Zn-Pb yatağı
Artvin	Şavşat	Çukurdere	Çukurdere Cu-Zn-Pb zuhuru
Artvin	Şavşat	Okçular	Okçular Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Tepebaşı	Köpekdere Cu zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Gigazile Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Talat'ın madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Muzoocağı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Yeniaçması Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Kayanın madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Binektaş Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Fikrimin madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Hasan açması Cu-Zn yatağı
Artvin	Göktaş	Kilistepe	Kilistepe Cu zuhuru
Artvin	Merkez	Hot	Hot Cu zuhuru
Artvin	Şavşat	Taşucu(Cevliyet)	Taşucu Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşbaşı	Taşbaşı Cu-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Konaklı	Konaklı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli (Peterek köy)	Çevreli Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Tekkale	Ahet Cu-Pb-Zn yatağı
Artvin	Yusufeli	Çamkerten	Çamkerten Pb-Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşbaşı	Taşbaşı Cu-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Konaklı	Konaklı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli (Peterek köy)	Çevreli Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Tekkale	Ahet Cu-Pb-Zn yatağı
Artvin	Yusufeli	Çamkerten	Çamkerten Pb-Cu zuhuru



Artvin	Murgul(Göktaş)	Başköy	Başköy Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Melo(Sarıbudak)	Ballıkaya Cu zuhuru
Artvin	Merkez	Ortaköy(Berta)	Ortaköy Cu-Zn-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Güneşli	Güneşli Zn-Cu-Pb
Artvin	Hopa	Çamlıköy (Sivrikaya)	Çamlıköy Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Esendal(Zoybar)	Esendal Cu-Zn yatağı
Artvin	Arhavi	Güneşli	Olçidere Cu-Zn Zuhuru
Artvin	Arhavi	Yolgeçen	Yolgeçen Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşkıran	Taşkıran Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Madenköy	Yusuflar Cu-Pb yatağı
Artvin	Yusufeli	Balcılı	Balcılı Cu yatağı
Artvin	Yusufeli	Börekli	Börekli Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli	Çevreli Cu zuhuru
Artvin	Ardanuç	Araçlı	Araçlı Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Pohenk	Pohenk Fe zuhuru
Artvin	Ardanuç	Aşağırmaklar	Aşağırmaklar Mn zuhuru
Artvin	Ardanuç	Çavdarlı	Çavdarlı Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Tütüncüler(Seçkiyat)	Seçkiyat Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Korucular	Korucular Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Balcı	Balcılar Mn zuhuru

Tablo 2. Artvin ili endüstriyel ve enerji hammaddeler (MTA 2016)

İL	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Merkez	Derin köy	Derin köy kil yatağı
Artvin	Merkez	Narlık	Narlı grafit yatağı
Artvin	Ardanuç	Gümüşhane köyü	Rekristalize kireçtaşı yatağı
Artvin	Merkez	Oruçlu	Oruçlu mermer yatağı
Artvin	Şavşat	Karçaldere	Karçaldere granit yatağı
Artvin	Hopa	Cankurtaran	Cankurtaran kireçtaşı yatağı
Artvin	Ardanuç	Merkez	Kireçtaşı yatağı
Artvin	Şavşat	Karçaldere	Karçaldere feldispat yatağı
Artvin	Yusufeli	Karadağ	Linyit Kömürü (7200 kalori)

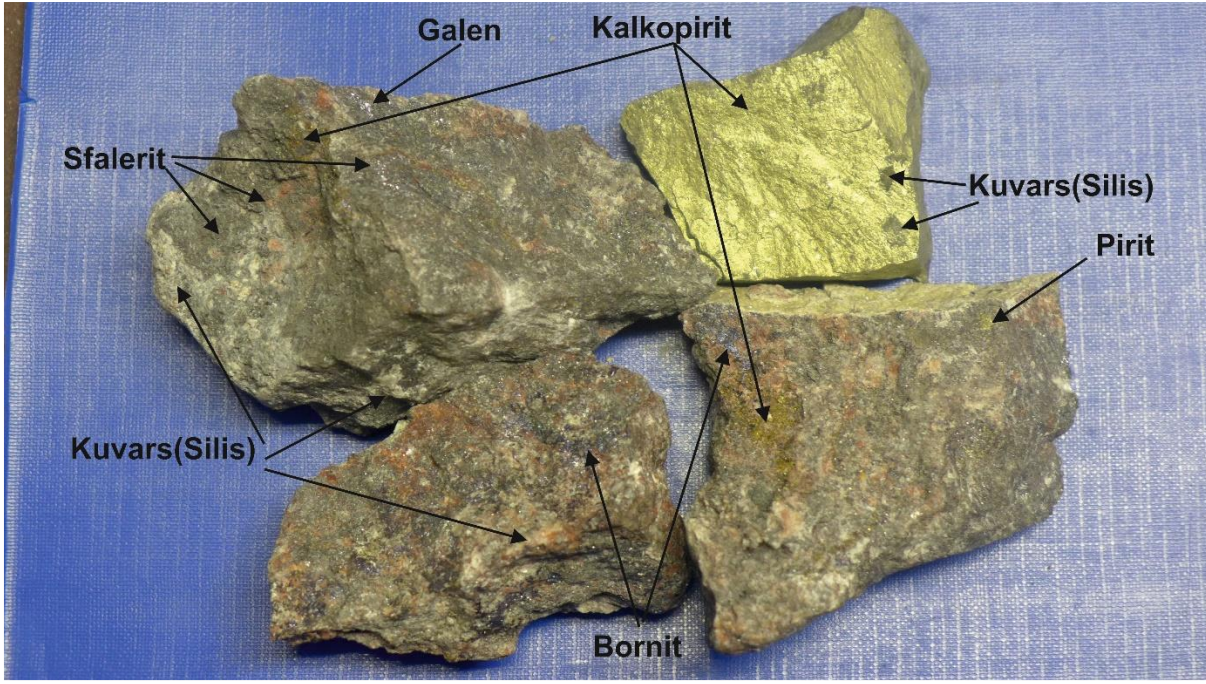
Tablo 3. Artvin ili termal ve doğal mineralli su kaynakları (MTA 2016)

İL	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Borçka	Balcı	Balcı sıcak su kaynağı
Artvin	Şavşat	Çoraklı	Çoraklı sıcak su kaynağı
Artvin	Şavşat	Çoraklı	Çoraklı maden suyu

### Bulgular ve Tartışma

Artvin bölgesinde metalik maden yatakları volkanojenik masif sülfid tipi (Cu-Pb-Zn), damar tipi (Pb-Zn), epidermal tip (Au) cevheri oksit ve sülfid tipi tortu şeklinde çökelmiş yataklardan meydana gelmiştir (Şekil 4). Çalışma sahasında çıkarılan cevherlerin tenor ve rezerv miktarları aşağıda verilmiştir.

Grafik 4. Cu-Pb-Zn minerallerinin, masif cevhere ait el örneklerinin görünümü (Bektaş 1985)



## ALTIN (Au)

### Cerrattepe-Kafkasör Yatağı

Tenor: 4 gr/ton Au, 140 gr/ton Ag (okside cevher) ; 1.2 gr/ton Au, 25 gr/ton Ag (sülfütlü cevher).

Rezerv: 8.200.000 ton toplam rezervli okside cevher, ayrıca 3.900.000 ton toplam rezervli sülfütlü cevher bulunmaktadır.

## BAKIR-KURŞUN-ÇİNKO (Cu-Pb-Zn)

### Borçka-Akarşen pirit-bakır Yatağı

Tenor : % 3,2 Cu (1,5 gr/ton Au, 28 gr/ton Ag değerleri bilinmektedir).

Rezerv: 662.043 ton görünür+muhtemel rezerv.

### Borçka-Irsahan (Irsa-Erenler) pirit-çinko-bakır-kurşun Yatağı

Tenor : % 0.5 - 1 Cu

Rezerv: 1.000.000 ton mümkün rezerv. Yatak önceki yıllarda işletilmiştir.

### Yukarımaden Köy (Hot)-Belizer ve Meydan Mahallesi bakır-pirit-çinko-kurşun Sahası

Rezerv: Yatak daha önceki yıllarda işletilmiştir.

### Borçka-Kuvarshan (Bakırköy) bakır-kurşun-çinko-pirit-altın-gümüş Yatağı

Tenor : % 2.16 Cu ve % 47,4 S

Rezerv: 50.800 ton görünür, 462.000 muhtemel olup 1937-1941 yılları arasında yataktan 8.815 ton Cu olmak üzere toplam 232.388 ton cevher çıkarılmıştır.

### Merkez-Sinkot kurşun-çinko Yatağı

Tenor : % 0.39 Cu

Rezerv: 5.000.000 ton görünür + muhtemel rezerv.

### Murgul-Başköy bakır-çinko-pirit Sahası

Tenor : % 3.18 Cu ve % 1.24 Zn

Rezerv: 33.500 ton görünür, 50.000 ton muhtemel rezerv.

**Murgul-Aducadere-Kızılkaya bakır-pirit Sahası**

Tenor : % 1.09 Cu

Rezerv: 1.894.664 ton mümkün olup yatak umut vericidir.

**Murgul-Anayatak bakır-kurşun-çinko-pirit Yatağı**

Tenor : %1.594 Cu

Rezerv: 18.000.000 ton görünür+muhtemel rezerv olup, yatak işletilmektedir.

**Murgul-Çakmakkaya (Borçka) bakır-kurşun-çinko-pirit Yatağı**

Tenor : % 0.99 Cu

Rezerv: 16.618.000 ton görünür+muhtemel olup yatak işletilmektedir.

**Murgul-Çarkbaşı bakır-pirit Yatağı**

Tenör : % 0.85 Cu

Rezerv: 1.289.365 ton görünür olup yatak günümüzde işletilmemektedir.

**Merkez-Seyitler bakır-kurşun-pirit-çinko Yatağı**

Tenor : % 1.68 Cu tenörlü 1 749 110 ton görünür + muhtemel rezerv.

% 2.51 Zn tenörlü 1 064 264 ton görünür + muhtemel rezerv (0.35 gr/ton Au, 36.84 Gr/ton Ag değerleri bilinmektedir).

Rezerv: 1.484.640 ton görünür+muhtemel rezerv.

**Şavşat-Meydancık(Dereçi) - Madenköy ve Yusufklar bakır – kurşun - çinko Sahası**

Tenor : % 1.16 Cu, % 0.22 Pb ve % 1.75 Zn

Rezerv: 344.000 ton görünür+muhtemel rezerv.

**Hopa-Peronit-Abana çinko-kurşun-bakır Sahası**

Tenor : % 2-12 Zn ve % 0.89 Cu

Rezerv: 69.770 ton görünür, 174.450 ton muhtemel rezerv.

**Kafkasör-Cerrattepe Sahası**

Tenor : % 5.2 Cu (1.2 gr/ton Au, 25 gr/ton Ag değerleri bilinmektedir)

Rezerv : 3.900.000 ton toplam rezerv.

**Ardanuç-Gümüşhane Köyü**

Tenor : % 0.3 Cu, 41 ppm Au

Rezerv: 30.000.000 ton jeolojik rezerv.

**Şavşat-Tepebaşı Sahası**

Tenor : % 3.08 Cu

Rezerv: 59.000 ton görünür rezerv.

**Arhavi-Yukarıkutunit (Tepeköy) Sahası**

Rezerv: 300 ton görünür rezerv.

**Şavşat- Meydancık Sahaları Köyü**

Tenor : % 1.36 Cu, % 0.38 Pb ve % 3.21 Zn

Rezerv: 344.264 ton rezerv.

**Merkez-Melo Sahası**

Tenor : % 1.5-3 Cu ve % 3-10 Zn

Rezerv: 3.500 ton görünür rezerv.

#### **Yusufeli-Esendal Sahası**

Tenor : Düşük tenörlü Cu ve Au

Rezerv: 1.000 ton görünür+muhtemel rezerv.

#### **Yusufeli-Balcılı Pirit-Bakır yatağı**

Tenor : Eşdeğer % Cu 0.25

Rezerv: 145.000.000 ton görünür rezerv.

#### **ÇİMENTO HAMMADDELERİ (Çmh)**

##### **Hopa-Hendek Sahası**

Kalite: Orta

Rezerv: 60.000.000 ton mümkün kireçtaşı rezervi.

##### **FELDİSPAT (Fld)**

##### **Şavşat-Kartaltepe feldispat Yatağı**

Tenor : % 5.1 K<sub>2</sub>O, % 4.6 Na<sub>2</sub>O ve % 4.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tür. Zenginleştirildikten sonra ise % 5.76 K<sub>2</sub>O, %4.64 Na<sub>2</sub>O değerlerine ulaşmaktadır.

Rezerv: 545.273.437 ton muhtemel rezerv.

##### **GRAFİT (Grf)**

##### **Yusufeli-Lusuncur (Değirmentaş) Sahası**

Tenor : % 14.29 ile 76.88 C

Rezerv: 1.195 ton görünür rezervi olan grafit-antrasit yatağı belirlenmiştir. Yatakta antrasitin bulunması grafitin ekonomik olarak kullanılmasını engellemektedir.

##### **Merkez-Genya Dağ Sahası**

Tenor : % 26 C

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

##### **Merkez-Ortaköy Sahası**

Tenor : % 7.6 C

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

##### **KİL (Kil)**

##### **Merkez-Derinköy-Killik Tepe**

Tenor : % 14.72 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 2.18 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Rezerv: 875.000 ton görünür+muhtemel rezerv.

##### **MANGANEZ (Mn)**

##### **Merkez-Tütüncüler Sahaları**

Tenor : % 24.79 Mn

Rezerv: 25.000 ton görünür + muhtemel rezerv.

##### **Merkez-Sarı budak (Melo) Sahası**

Tenor : % 25-35 Mn

Rezerv: 58.500 ton toplam rezerv.

**Merkez-Güneyce Mah. Sahası**

Tenor : % 40 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Merkez-Balcı Sahası**

Tenor : % 42.17 Mn

Rezerv: 20.000 ton muhtemel rezerv.

**Merkez-Erenler Sahası**

Tenor : % 31.51 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Ardanuç-Aşağı ırmaklar-Demirci ve Kontromtaşı Sahaları**

Tenor : % 25-39 Mn

Rezerv: 11.000 ton toplam rezerv.

**Ardanuç-Aşağı ırmaklar-Kapıköy ve Ustalar Sahaları**

Tenor : % 28-39 Mn

Rezerv: 7.000 ton toplam rezerv.

**Ardanuç-Kale ardı Sahası**

Tenor : % 19.14-40.80 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Ardanuç-Paşalık Yaylası Sahası**

Tenor : % 20.89 Mn

Rezerv: 8.000 ton görünür + muhtemel rezerv.

**Ardanuç-Tütünlü köy Sahası**

Tenor : % 53.07Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Ardanuç-Çatal kaya Sahası**

Tenor : % 35.24 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Şavşat-Koyunlu, Seyitler ve Cevizli Sahaları**

Tenor : % 23.50 Mn

Rezerv: Cevizli sahasında % 23.50 Mn tenörlü 58.000 ton mümkün rezerv.

**Şavşat-Çavdarlı Sahası**

Tenor : % 31.28 Mn

Rezerv: 30.000 ton görünür + muhtemel rezerv.

**Hopa-Peronit Sahası**

Tenor : % 30-35 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

**Borçka-Düzköy-Sağlık Mah. Sahası**



Tenor : % 30 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

### **Borçka-Ormanlı ve Zorlu Sahaları**

Tenor : % 25.29-30 Mn

Rezerv: Zuhur olduğu için rezerve yönelik çalışma yoktur.

### **Murgul-Korucular Sahası**

Tenor : % 22.89-42.80 Mn

Rezerv: 20.250 ton görünür+muhtemel rezerv. (Artvin İli maden ve Enerji kaynakları, 2010)

### **Artvin Madencilik Faaliyetleri**

#### **Eti Bakır A.Ş Murgul Bakır Madeni**

Eti Bakır A.Ş. Murgul Maden Şirketi'nde iki bakır maden vardır, bunlardan biri Murgul İlçesi Damar Ana yatak- Çakmakkaya (açık ocak). Diğeri de Akarşen'dir. (Yeraltı ocağı) Proje ÇED'den muaftır. Murgul Bakır İşletmesi 2300 yıl öncesindeki madencilik faaliyetlerine dayanmaktadır. 1900 yıllarında Rus yatırımı öne çıkmaktadır. Misakı Milli sınırlarının çizilmesiyle İngiliz sermayesi öne çıkmıştır. 1930 yılında Etibank'ın kurulmasıyla tam olarak işletmeye alınmıştır. 1950 yılında Murgul'da İzabe tesisi kurulmuştur. O yıllarda 5000 yakın kişi istihdam edilmekteydi.1950 yıllardan günümüze kadar bakır cevheri çıkarılmaktadır. 1971 yılında Etibank maden sahasını bağlı ortaklığı olan K.B.İ (Karadeniz bakır İşletmesi A,Ş) devretti. 2006 yılında özelleştirme kapsamında Cengiz Holding tarafından satın alındı. Halen 400 e yakın kişi çalışmaktadır. Su anda bir tek Damar bakır sahasından cevher üretimi yapılmaktadır. Akarşen yer altı ocağı rezerv tükendiğinden kapatılmıştır. Yaklaşık 3,0 milyon ton/yıl tüvenan (işlenmemiş) bakır cevheri ocaklarda çıkarılıp tamamı konsantratör tesisine girmekte, orada flotasyon (yüzdürme tekniği ile) %1 tenorlu bakır %20 tenor üne çıkarılıp zenginleştirilmektedir. Konsantratör tesisinde yılda %20 tenorlu 130.000 ton bakır konsantresi üretmektedir. Üretilen bu bakır, % 49 S tenorlu prit ile birlikte yüksek basınçlı pompalar vasıtasıyla 60 km uzaklıkta Hopa limanına iki ayrı boru hattıyla basılmakta, orada filtrasyon ve kurutma ünitelerinden geçtikten sonra gemilere yüklenerek Samsunda bulunan izabe tesislerine gönderilmektedir. Ayrıca işletmenin 20MW gücünde bir hidroelektrik santrali vardır.

Grafik 5. Murgul bakır işletmesi açık ocak, yeraltı ocağı, konsantratör ve atık göleti görünümleri





### Eti Bakır A.Ş Artvin Cerattepe Bakır Madeni

Artvin Cerattepe'de ilk maden arama faaliyetine Kanadalı Cominco Madencilik başladı. Uydu görüntülerinden de faydalanarak Artvin'in bugün bile ulaşılması zor olan bir bölgesinde 1988'de yaptığı sondajlarda bakır ve altın rezervleri bulan firma, ruhsat aldı ama başta Yeşil Artvin Derneği olmak üzere çevre örgütlerinin eylem ve davalarıyla madeni işletemedi. Firma, 2003'te tüm haklarını Çayeli Bakır İşletmeleri'ne devrederek çekildi. 2008 yılında mahkeme kararıyla ruhsat iptal edilince yapılan yeni ihaleyi Özaltın İnşaat Tic. ve San. A.Ş. kazandı ve Cerattepe'de maden çıkarmak üzere Eti Bakır A.Ş ile anlaştı. MTA'nın raporuna göre, Artvin-Kafkasör-Cerattepe bölgesinde 'oldukça yüksek tenörde rezervler bulundu' Raporda, şu ifadeler dikkat çekti: “ %2,1 Cu (bakır) tenorlu 3 milyon 800 bin ton, %10 tenorlu 1 milyon 200 bin ton, 3gr/ton Ag (altın) tenorlu bir milyon ton rezerv tespiti yapılmıştır". Eti Bakır A.Ş. Madencilik Şirketi Artvin'in güney kesiminde kuzey ve güney galerilerinde madencilik faaliyetlerini yürütmektedir, Murgul konsantratörüne cevher nakliyesi için teleferik tesisi kurmuş, pasa kırma ve eleme tesisi, geri dolgu amaçlı, sahada bulunmaktadır. Cevher üretim sırasında, kırılan pasalar çimento ile karıştırılarak açılan boşlukların doldurulmasında kullanılacaktır. Yıllık 500.000 ton bakır cevheri üretimi, yeraltı ara katlı doldurma üretim yöntemiyle yapılacaktır. Cevher çıkarılmasına ana nakliye galerilerinin sürülmesi sırasında başlanmıştır. Halen 189 kişi çalışmaktadır. Cerattepe maden yatağı krukro tipli volkanojenik masif sülfid bir yatak olup, kretase yaşlı volkanik intrüsyon ve sedimenter kayalar içindedir. Yatak önemli oranda bakır ve çinko ile az oranda kurşun, altın ve gümüş içerir. Üstte oksitli zon ve altta sülfidli zon bulunur. Yukarıdan bakıldığında şapka(gossan) şeklindedir. Sonuç olarak bu maden yatağı, tabandaki yüksek tenorlu bakır sülfidleri bunları üsteleyen ve çevreleyen altın, gümüş, kurşun ve baryumca zengin oksitli zon ile tanımlanır. Maden yatağı 1000m uzunluğunda 150m genişliğindedir. Ortalama altın tenoru 0.5gr/tondur. Altınca çok zengin zonlar da oksitli bölgede bulunmaktadır.



Grafik 6. Cerattepe bakır işletmesi, yeraltı ocağı, kırma tesisi ve teleferik hattı görünümü.



### Derla Kömür Ocağı



Derla Kömür Madeni 2020 Ocak ayında Fetih madencilikten ÇED devri yapıldı. Yusufeli ilçesinde bulunan ırmak yanı köy etrafı mevkiinde işletilmektedir. Çevre ve şehircilik bakanlığı tarafından ÇED'(Çevre Etki ve Değerlendirme) gerekli olmadığı (pozitif) 2004 yılı için karar alınmıştır. Kömür çıkarımı açık ocak ve yeraltı yöntemiyle beraber yapılmaktadır. Kömür üretimi, açık ocak yöntemiyle günlük 250 ton, yeraltı yöntemiyle günlük 100 tondur.

Grafik 7. Derla kömür ocağı, açık ocak ve yeraltı ocağı görünümüleri.



### Artmim Maden İşletmesi

Artvin il merkezinin güneyinde, merkeze 50-60km mesafede bulunan ve suları Çoruh nehrine dökülen Hod deresi havzasında yer alan, Yukarı Maden ve Aşağı Maden köylerindeki Artmim Maden İşletmesi tarafından yapılan sondaj çalışmaları halen IV. grup metal cevherleri için devam etmektedir. Şu anda pandemi sürecinde çalışma saatleri azaltılmıştır.

Şekil 8. Yukarı Maden. Aşağı maden köylerinde(Hod) devam eden sondaj görünümüleri.



### MTA Arama Sondajları

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) tarafından Yusufeli İlçesi'nde, IV Grup maden arama projesi, Balalan ve Yüksekoba köylerinde 75 noktada tamamlanması planlanmış olup, lisans alanı 22091 hektardır.

Artvin İli, merkez Sinkot, Bakırköy-Sümbüllü-Erenler-Sakalar Köylerinde ve Balcı köyü Borçka ilçesi civarında "IV. Grup maden arama" projesinin MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) tarafından 91 noktada sondaj yapılması planlanmıştır, Proje lisans alanı 46.464 hektar olup ÇED gerekli değildir izini alınmıştır. Sinkot ve Erenlerde sondaj işlemleri bitmiştir

MTA Genel Müdürlüğüne Artvin Yusufeli İlçesi Esendal Köyü Mevkiinde IV grup maden arama amaçlı ÇED gerekli değil Karar verilmiştir. Sondaj işlemleri bitmiştir. Değerlendirme aşamasındadır. Diğer arama projesi ise, Egrisu, Sevahil ve Tuvahit olarak adlandırılan Arhavi yaylası ile ilgilidir. Proje, 250 ila 750m arasında değişen sondaj uzunluğu ile 10 noktada delinecek şekilde planlandı. Erenler Köyünde sondaj devam etmektedir. Omana(Ormanlı) köyünde sondaj başlamıştır.

Şekil 9. MTA'nın Artvin-Merkez Sinkot-Erenler civarındaki sondaj görünümleri.



### **Eti Gümüş**

Sebahattin YILDIZ (Eti Gümüş) tarafından Artvin İli, Murgul İlçesi, Petek Köyü 2.971,69 hektarlık işletme ruhsatlı sahada yer alan 139,82 hektarlık ÇED izin alanı içerisinde "Kapalı İşletme Bakır Maden Ocağı" faaliyetini kapsamaktadır. Projede 180.000 ton/yıl tüvanan bakır cevheri üretilmesi planlanmaktadır. Projenin Halkın Katılımı Toplantısı yapılmıştır. Ayrıca söz konusu proje ile ilgili evvelce valiliğimize müracaat edilmiş ancak ÇED gereklidir kararı verildikten sonra ilgili Bakanlığa başvuru yapılmıştır. ÇED raporu, ilgili Bakanlığa süresinde verilmediğinden ÇED süreci iptal edilmiştir.

### **3S Madencilik**

3S Madencilik Seramik ve İnşaat. Yapı Malz Dış Ticaret. A.Ş. Artvin, Borçka, Güreşen ve Güzelyurt sınırlarında yeraltı madenciliği ile 181.440 ton / yıl kompleks (Altın, Gümüş, Kurşun, Çinko) üretimini yeraltı madenciliği ile planlanmaktadır. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel müdürlüğü olumsuz rapor verdiği için ÇED süreci sonlandırılmıştır.

### **Akdeniz Resource**

Akdeniz Resource Madencilik şirketi (Güriş şirketine devredilmiştir), IV.grup metalik cevherleri için, (Flotasyon Tesisi ve Flotasyon Atık Depolama Alanı dahil) Entegre Proje ilgili Bakanlığa sunulmuş ve 14 lisanslı alan için ÇED Olumlu karar alınmıştır. (Yusufeli ilçesi (Çevreli köyü, Çeltikdüzü köyü, Boyalı köyü, Tekkale köyü, Alanbaşı köyü) Şu anda tesis kurma aşamasındadır. Başka bir firmaya devir edilme aşamasındadır.

### **PB Maden**

PB Maden İnşaat ltd şirketine ÇED devri, Anotalian Madencilik San Tic Ltd Şirketi tarafından 2020 şubat ayında yapılmıştır. Yusufeli Dokumacılar köyünde kurşun çinko yeraltı ocağı bulunmaktadır. Son 3 yıldır çalışmaktadır. Daha önce sürülmüş hazırlık galerilerini sürmekte, bu galeriden çıkan cevherleri üretmektedir. Rezerv tespiti için arama ve sondaj faaliyetlerinde bulunacaktır.

### **Yavuz TÜRKEL**



Yavuz TÜRKEK, Artvin İli Merkez Derinköy civarında bulunan toplam 960 hektarlık alanın 806,34 hektarında ÇED alanını belirlemiştir. IV. grup bakır-kurşun-çinko-altın-gümüş cevherlerinin yeraltı madenciliği işletmesi metodu ile çıkarılması planlanmaktadır. Bu amaçla arama galerileri sürülmektedir. İşletme döneminde ise ÇED Alanı içerisinde kapalı ocak işletme yöntemi ve patlatma yardımıyla yıllık 120.000 ton (30.000 m<sup>3</sup>) pаса + cevher çıkarılması planlanmaktadır. Projede üretim çalışmalarıyla beraber arama faaliyetlerini de devam edilecektir.

Şekil 10. Yavuz TÜRKEK firması, yeraltı galeri çalışmaları görünümüleri.



### **DEMİR EXPORT A.Ş.**

DEMİR EXPORT A.Ş. Artvin İlçesi, Yusufeli İlçesi, Dereiçi Köyü, söz konusu 2 lisanslı alanda metalik cevher araştırma amaçlı toplam 5-6 sondaj yapılması planlanmaktadır.

### **ETİ BAKIR A.Ş.**

ETİ BAKIR A.Ş. tarafından Artvin İli, Murgul İlçesi, Başköy Köyü mevkiinde IV. Grub metalik maden arama projesine Artvin valiliğince 17.09.2015 tarihinde ÇED gerekli değildir kararı verilmiştir.

### **Soner TOPÇU**

Soner TOPÇU firması, Şavşat ilçesinde andezit ocağı ve kırma eleme tesisi için ÇED olumlu karar almıştır. Tepebaşı ve Oba köylerinde yerleşiktir. Çevre halkı ÇED olumlu kararına dava açmış ve kazanmıştır. Faaliyeti durdurulmuştur.

### **Kum- Çakıl Kırma, Eleme, Yıkama ve Hazır-Beton Tesisleri**

Artvin bölgesinde 14 adet kum çakıl ocağı, 18 adet kırma, eleme ve yıkama tesisi, 14 adet kırma eleme ile beraber hazır beton tesisi ve 9 adet sadece hazır beton tesisi bulunmaktadır (Artvin ÇŞ 2018).

### **SONUÇ**

Doğu Karadeniz Bölgesi maden yatakları açısından, özellikle, Artvin Türkiye'nin önemli kuşaklarından biridir. Bölgede volkanojenik masif sülfid bakır-kurşun-çinko, epitermal altın-gümüş, damar tipi kurşun-çinko, bakır, altın ve gümüş, skarn-pirometasomatik tip demir, bakır, porfiri tip bakır-molibden, volkano-sedimanter mangan cevherleşmeleri, kömür kil-kaolen-bentonit sanayi hammaddeleri, çimento-tuğla-kiremit hammaddeleri, granit-mermer-oniks gibi yapı taşları ve doğal mineralli ve sıcak su kaynakları bulunmaktadır. Arama amaçlı sondajlar MTA ve özel maden şirketleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Şu ana kadar yapılan sondaj ve arama faaliyetlerine rağmen, Artvin bölgesinin maden potansiyelinin envanteri tamamlanamamıştır. Bu çerçevede ülkemiz ekonomik olarak kalkınması için, bu madenlerin çevreye olan etkisi en aza indirilerek, iş sağlığı ve işçi güvenliği tedbirlerini göz önüne alınarak çıkarılması gerekmektedir. Ülkemizin bakır gereksinimi yıllık 400.000 ton civarında olup bu miktarın 300.000 tonu değeri \$3 milyar dır. Yurtdışından sağlanmaktadır. Bu çerçevede Artvin bölgesinin zengin bakır yatakları ayrıca önem kazanmaktadır. Maden rezervlerinin ormanlık alanlar ile temiz su kaynaklarını oluşturan dere havzalarında bulunması çevreye duyarlı bir madencilik faaliyetlerinin sürdürülmesi zorunlu hale getirmektedir. Bu konuda işletmeciler firmaların ve çevre denetçilerinin gönüllü çevre sivil toplum kuruluşları ile birlikte hareket etmeleri Artvin madenciliği için hayati önem arz etmektedir.

**Kaynakça**

- Bektaş, O. (1985). Doğu Pontid ark-arkgerisi bölgelerinde paleostres dağılımı ve çok safhalı riftleşme. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 103(103,104).
- MTA (2010). Artvin İli Maden ve Enerji Kaynakları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye ([http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden\\_potansiyel\\_2010/Artvin\\_Madenler.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Artvin_Madenler.pdf), Ziyaret tarihi: 23.11.2018)
- Artvin ÇŞ (2018). Kum- Çakıl Kırma, Eleme, Yıkama ve Hazır-Beton Tesisleri, Artvin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Artvin.
- MTA (2016). MTA Doğu Karadeniz Bölgesi 2016 Yılı Faaliyetleri.2016 İl Koordinasyon Kurulu Toplantısı, Artvin.
- Kraeff, Alexandcr. (1963). Hopa-Murgul Bölgesi Jeolojisi ve Maden Yatakları. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Ankara, s.44-59.

# Farklı Sektörlere Ait Büyük Verinin Birliktelik Kuralları Yaklaşımıyla İncelenmesi

Zehra KARAPINAR ŞENTÜRK<sup>1</sup>, Ahmet VELİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce. ORCID: 0000-0003-3116-1985

<sup>2</sup>Yüksek Lisans Öğrencisi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

## Öz

Teknolojinin hızla geliştiği, perakendeci firmaların rekabet ortamının hızla arttığı bu dönemlerde bilgisayar kullanımı da hızla artmaktadır. Perakendeci firmaların teknoloji ve bilgisayar kullanımlarının artması depolanan veri miktarını arttırmakta ve bu durum eldeki büyük veriyi kullanarak kar amaçlı analizlerin yapılmasını tetiklemektedir. Bu çalışmada, perakendeci firmalara ait farklı sektörlerin veri tabanları kullanılarak veri madenciliği yöntemlerinden pazar sepeti analizi ile anlamlı bilgiye ulaşılması ve böylelikle, perakendeci firmaların gelecek pazar stok satış tahminlerini ile satış stratejilerini oluşturabilmeleri amaçlanmıştır. 3 sektöre ait 3 adet firmanın 299.627 adet fatura bilgisi analizde kullanılmıştır. Veri madenciliğinin ilgili alandaki en yaygın yöntemi olan birliktelik kuralları analizi ile büyük veri kümeleri arasındaki bağıntı gün yüzüne çıkarılmıştır. Apriori algoritmasıyla elde edilen kurallar geleceğe yönelik stratejik planlar oluşturulabilmesi amacıyla ilgililere sunulmuştur. Bu kurallar sayesinde firmalara, gelecek stok miktarları, raf dizilimleri, reklam kampanyaları gibi konularda rehberlik edilebilecek ve perakendecilik endüstrisine katkı sağlanabilecektir.

## Abstract

In these periods when technology develops rapidly and the competitive environment of retail companies increases rapidly, computer usage is also increasing rapidly. The increase in the use of technology and computers by retail companies, increases the amount of data stored and this situation triggers the making of profit-oriented analyzes by using the big data at hand. In this study, it is aimed to reach meaningful information with market basket analysis, one of the data mining methods, by using databases of different sectors belonging to retail companies, and thus, to create future market stock sales forecasts and sales strategies for retail companies. 299.627 invoice information of 3 companies belonging to 3 sectors were used in the analysis. Association rules analysis, which is the most common method of data mining in the related field, has revealed the relationship between large data sets. The rules obtained by the Apriori algorithm have been presented to the relevant parties in order to create strategic plans for the future. Thanks to these rules, companies can be guided on issues such as future stock quantities, shelf alignments, advertising campaigns, and contributes to the retailing industry.

## 1. Giriş

Günümüz teknolojisinin hızla değiştiği, pazar rekabetinin ortaya çıktığı bu dönemde, firmalar artık daha kaliteli hizmet sunup, maliyetlerini azaltma yolunda çalışmalar yapmaya başlamıştır. Gelecek planlarını doğru ve güvenilir şekilde yapabilmek adına firmalar farklı yollara başvurmaktadır. Bu sebeple teknolojinin gelişmesi ve bilgisayar kullanımının da birçok perakendeci firma üzerinde artış gösterdiği görülmektedir. Perakendeci firmalar artık ihtiyaçlarını ve şirket yönetimlerini bilgisayar odaklı sisteme taşıyarak güncel teknoloji ile takibini kolaylıkla sağlamaktadır. Elde edilen tüm veriler yoğun veri tabanlarının bilgisayar sisteminde kayıtlarını oluştururken tabi ki verilerin izlenmesi ve gelecek tahminlerinin yapılması da oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Eldeki büyük verinin işlenerek geleceğe yönelik satış miktarı kestirimlerinin doğru yapılması, işletmelerin gelecek stratejilerini belirlemede oldukça önemlidir. Günümüz teknoloji dünyasında, elde bulunan verilerin anlamlı bilgi haline dönüştürülmesi ve şirket karlılık oranlarının tahmin edilmesi, müşteri temelli detayların incelenip gelecek satış stratejilerinin belirlenmesinde en yaygın yöntem veri madenciliğidir. Eldeki ham verinin, kullanışlı bilgiye dönüştürülmesi için yapılan analize veri madenciliği denilmektedir.

Veri madenciliğinde en önemli unsurları, kullanılan yöntem ve teknikler belirlemektedir. Veri madenciliği yöntem ve teknikleri; Sınıflama, Kümeleme, Veri Görselleştirme, Değişim ve Sapma Tespiti Analizi ve Birliktelik Kuralları Analizi olarak tanımlanmaktadır. Birliktelik kuralları analizi veri madenciliğinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olup çalışmanın amacına da uygun olduğundan bu çalışmada birliktelik kuralları yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Olayların birlikte gerçekleşme durumlarının analiz edilmesine birliktelik analizi denir (Kotu & Deshpande, 2019). Bu çalışmada da farklı perakendecilik sektörlerine ait fazla sayıda verinin bulunduğu veri tabanları, ürünlerin birlikte satın alınmaları bakımından incelenecektir. Alt başlıkta literatürde yer alan, birliktelik analizine dayalı veri madenciliği çalışmaları özetlenmiştir.

### 1.1. Literatür Taraması

Büyük veri kümelerindeki nesnelere arasındaki birlikteliklerin ortaya çıkarılmasının amaçlandığı birliktelik kuralları analizi fatura bilgilerinden yola çıkarak etkin satış stratejilerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Birliktelik kuralları sadece perakende uygulamalarında değil diller arası değişimlerin analizi için semantik haritalar oluşturma (Zeng & Xiao, 2020), gereksinimlerin etkin olarak önceliklendirilmesi (Anand & Dinakaran, 2017), karayollarında kaza analizi (John & Shaiba, 2019), hastalık semptomlarının analizi (Delgado-Osuna et al., 2020) gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır.

Birliktelik kuralları analizinde sıklıkla gerçekleştirilen uygulamalardan biri Pazar Sepeti Analizidir (PSA). Pazar sepeti analizinde müşterilerin faturaları incelenerek sıklıkla birlikte alınan ürünler ortaya çıkarılmaya çalışılır. Böylece perakendeci firmalar açısından etkili stratejilerin oluşturulması sağlanabilmektedir. Mağazadaki raf dizilimleri, yapılacak reklam kampanyaları, promosyonlar hakkındaki kararlarda pazar sepeti analizi ile karlı sonuçlar elde edilebilmektedir.

PSA için minimum yayılan ağaç yaklaşımını kullanan yeni bir yöntem Valle vd. tarafından önerilmiştir (Valle et al., 2018). Önerilen yöntem birliktelik kuralları analizine tamamlayıcı bir yaklaşım olarak düşünülmüştür. Minimum yayılan ağaç ürün cinslerine ait ilişkileri tespit etmiştir. Ağacın hiyerarşik yapısı sayesinde, birliktelik ağı aynı kategorideki ürünler arasındaki güçlü bağılıklar bulunabilmiştir. Market verisindeki değişen eğilimler de birliktelik kuralları analizi ile incelenmiştir (Kaur & Kang, 2016). Önerilen yaklaşım zamana bağlı olarak yaşanan değişiklikleri de hesaba katmaktadır. Müşteri davranışlarını inceleyerek satışların artırılması amacıyla yeni bir algoritma geliştirilmiştir.

Bir başka çalışmada PSA bir eğlence alanındaki tesis düzeni probleminde uygulanmıştır (Halim et al., 2019). Eğlence alanında müşteriler sürekli belli oyunları oynamakta ve diğer oyun makineleri sürekli boşta kalmaktadır. Oyunları oynayan müşteri davranışlarını ortaya çıkarmak için PSA uygulanmıştır. Sonuç olarak tesis için oyun türlerine bağlı olan iki düzen önerilmiştir. Biri kategoriden bağımsız yerleştirme, diğeri ise oyun kategorilerine bağlı olarak makinelerin yerleştirilmesi şeklindedir. İkinci düzenin uygulanması daha muhtemel bir düzen olduğu belirtilmiştir. PSA için toplumsal etki kavramını baz alan yeni bir yaklaşım başka bir çalışmada önerilmiştir (Monteserin & Armentano, 2018). Faturalarda sıklıkla geçen ürün kombinasyonlarına bakmaktan ziyade bir müşteri tarafından satın alındığında mağazanın satış hacmini artıracak etkili ürünler kümesinin bulunması amaçlanmıştır. Etkili ürünlerden alan müşterilerin diğer ürünleri de almak konusunda etkileneceği düşünülmüştür.

Griva vd. ürün satış verisinden müşteri ziyaret kesitlerini çıkaran bir iş analitiği yaklaşımı önermiştir (Griva et al., 2018). Bir müşteri ziyareti sepetteki ürün kategorisiyle nitelendiriliyor ve alışveriş niyeti (örneğin süt, ekmek, peynir satın almak için 'kahvaltı' ziyareti) tanımlanıyor. Çalışmada ayrıca ürün cinsini girdi olarak kullanan ve çıktı olarak kişiselleştirilmiş kategorileri veren yarı danışmanlık özellik seçim yaklaşımı önerilmiştir. Bir başka çalışmada PSA otel gelirinin artırılması amacıyla kullanılmıştır (Solnet et al., 2016). Çalışmada otellerin gelirini artıracak sunulan ek ürünlerin ve hizmetlerin neler olacağı konusunda PSA'dan faydalanılmıştır.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak Apriori yöntemi ile gerçekleştirilen PSA 3 farklı sektöre uygulanmıştır. Kırtasiye, market ve hırdavat sektöründeki perakendeciler için güçlü ürün birlikteliklerinin ortaya çıkarılarak her sektörün kendi satış stratejilerini belirlemelerinde kolaylık sağlamak amaçlanmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde kullanılan veri tabanları ve yöntem, 3. bölümde uygulama detayları ve sonuçları, son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde analizi gerçekleştirmek için kullanılacak veri tabanlarından ve kullanılan yöntemle ait detaylardan bahsedilecektir.

## 2.1. Kullanılan Veri Tabanı

Çalışma kapsamında e-muhasebe çözümleri üreten Bilsoft Yazılım firmasının tuttuğu, kırtasiye, hırdavat ve market sektörlerinde faaliyet gösteren 3 firmanın 2018 ve 2019 yıllarına ait 299.627 adet faturası kullanılmıştır. Firma bazlı kullanılan fatura sayıları ve her sektöre ait veri tabanında kaç adet ürün olduğu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan fatura sayısı

Sektör	Stoktaki Ürün Sayısı	Fatura Sayısı	Faturada Satılan Ürün Adedi
Kırtasiye	8.053	16.394	37.627
Hırdavat	2.175	17.068	26.339
Market	8.320	266.165	550.226
Toplam	18.548	299.627	614.192

## 2.2. Birliktelik Kuralları

Birliktelik kuralları analizi problemi ilk olarak Agrawal, Imielinski ve Swami tarafından 1993 yılında ele alınmıştır. Veri madenciliğinde kullanılan ilk yöntemlerden bir tanesidir. Birliktelik analizi, madde ya da olayların birlikte oluşlarıyla ilgilenir. Daha karmaşık analizlerde oluş miktarı, fiyatı, var oluş dizisi gibi konular da hesaba katılabilir (Kotu & Deshpande, 2019). Veri madenciliği aracıyla birliktelik kurallarının bulunması şu adımları içerir (Kotu & Deshpande, 2019):

1. Veri, işlem verisi formatına getirilir. İşlem verileri asimetrik öznitelikler içerir. Yani, yalnızca maddenin varlığı önemlidir, ne kadar miktarda bulunduğu önemli değildir.
2. Sıklıkla birlikte geçen madde ya da ürün kümeleri listelenir.
3. İlgili birliktelik kuralları ürün kümelerinden üretilir. Algoritma, ilgi ölçütüne bağlı olarak kurallar üretir ve kuralları filtreler.

Teknolojinin yükselişte olduğu bu günlerde rekabet ortamı artış gösterirken, internet ve sanal pazarların sunduğu çeşitli alternatifler tüketiciye sunulmaktadır. Birliktelik kuralları tüketiciye sunulan ürünlerin birbirleri ile tercih edilme olasılıklarını, stok-raf arasındaki gizli örüntüleri, tüketici davranışlarını analiz ederek şirketin büyümesi adına planlanan satış stratejilerinin anlamlı veriler ile yapılmasını sağlamaktadır. Birliktelik kuralları ile örneğin bir markette ekmeğin yanında başka bir ürünün alınma olasılığı tahmin edilerek tüketiciye ürünlerin örneği belirlenmiş dizilimler ile sunulmaktadır. Bu yöntem sayesinde satış gücünü artırmak hedeflenmektedir. Tüketici davranışlarına göre satış stratejileri belirlenmesinde en güçlü verileri birliktelik kuralları sunmaktadır. Birliktelik kurallarının birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Otomotiv, sağlık, market, akaryakıt vb. gibi alanlarda uygulamalarına literatürde rastlanmaktadır.

Birliktelik kurallarının ilk aşamasından sonuç bölümüne kadar gelişen süreçte en genel amaç; tüketicinin satış ortamına girdiği ilk andan kasaya ulaşana kadar ürünlere yaklaşımını, ihtiyacı bulunan ürünün yanında ki hangi ürünü satış ortamında karar vererek aldığını öngörmektir. Bu öngörüler matematiksel veriler ve veri madenciliği algoritmaları ile güvenilirliği artırıldığında kalıcı satış stratejilerinin uygulanabilirliği artacak aynı zamanda tüketici ihtiyacı olan ürünlere kaliteli hizmet anlayışı ile ulaşabilecektir. Bu çalışmada, birliktelik kuralları yöntemi esas alınarak çeşitli sektörlerin veri tabanları incelenip pazar sepet analizi uygulaması yapılmıştır.

Muhtemel tüm kurallar kümesinden ilginç olan kuralları seçmek için, bazı önem ve ilgi ölçütleri üzerine konan kısıtlar kullanılır (Wikipedia, n.d.). Çoğu zaman destek ve güven değerleri üzerine kısıtlar koyularak etkin kurallar belirlenir. Destek, bir madde kümesinin veri tabanında ne sıklıkla görüldüğünün ölçüsüdür. İlgili ürün (madde) kümesinin bulunduğu alışveriş sayısının toplam alışveriş sayısına oranıdır. Yüksek destek değeri, kuralın gücünü artırmaktadır.

Güven değeri ise kuralın doğru çıkma sıklığının bir göstergesidir. Örneğin, {tereyağ, ekmeğe} → {bal} kuralını düşündüğümüzde bu kuralın güven değeri tereyağ ve ekmeği birlikte alan müşterilerin ne kadarının aynı zamanda bal da aldığıdır. Koşullu olasılığı ifade eder.

Kaldıraç değeri, güven ve destek değerleri yüksek olduğu durumlarda kullanılan kısıttır. Kaldıraç değeri güven değerinin destek değerine bölünmesiyle oluşan bir katsayıdır.

Birliktelik kurallarında en yaygın kullanılan algoritmalarından birisi Apriori algoritmasıdır. Apriori algoritması ilk olarak 1994 yılında Agrawal ve Srikant tarafından geliştirilmiştir (Agrawal & Srikant, 1994). Apriori algoritması birliktelik kurallarını seviyeli olarak taramak üzere geliştirilmiştir. Maddeler kümesinin destek değerini saymak için genişlik öncelikli arama (breadth-first search) yapar. Apriori algoritması çoklu tarama esaslıdır. Nesne kümelerinin en çok tekrar etme olasılıklarını açıklayıcı şekilde bulmak için veri tabanı çok sayıda taranır. İlk tarama esnasında kümelerin destek, güven değerleri hesaplanmaktadır. İlk tarama esnasında tek elemanlı nesne kümesinin tekrar ettiği nesne kümeleri belirlenir ve minimum destek değeri esas alınır. Devamında ilk taramada yapılan tarama gibi sık tekrarlanan nesne kümeleri ile alt aday kümeler oluşturur. Aday kümelere ait destek değerleri hesaplanarak minimum destek değerini sağlayan nesne kümeleri ile tekrarlayan yeni nesne kümeleri oluşturulur (Karabatak & İnce, 2004).

Bu çalışmada Apriori algoritması kullanılarak eldeki fazla miktarda muhasebe verisi üzerinde pazar sepeti analizi yapılarak firmaların gelecek stratejilerini belirlemede yol gösterici olarak birliktelik kuralları oluşturulacaktır.

### 3. Uygulama

Müşteri işlemlerinden birliktelik kurallarının çıkarılarak ürün analizi Weka yazılımı (Weka-The Workbench for Machine Learning, n.d.) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. 1993 yılında ilk defa kullanılan yazılım günümüze kadar güncellenerek gelişime devam etmiştir. 2011 yılında yılın en popüler 200 uygulaması listesinde yer almayı başarmıştır (Vikipedi, n.d.). Veri madenciliği işlemlerinden sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik analizi Weka ile gerçekleştirilebilen işlemlerdir.

Weka .arff uzantılı dosya kabul etmektedir ve veri tabanı dosyalarının işlem öncesinde bu formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, 2018 ve 2019 yılına ait olan 3 farklı sektörde hizmet veren firmaların veri setleri C# yazılımı ile her satırda bir fiş olacak şekilde düzenlemiştir. Daha sonra, excel dosyalarının .arff uzantılı Weka veri madenciliği programının uzantısı olan dosya formatına çevrilmesi için C# yazılımı kullanarak bir program geliştirilmiş ve Şekil 1'de görüldüğü gibi .arff uzantılı hale dönüştürülmüştür. @attribute stokta bulunan her bir ürüne karşılık gelmektedir. {t} ise bu ürünün fişte satın alınıp alınmadığının kontrolünü sağlamak amacı ile yazılmaktadır.

```
@relation stok
@attribute 'MAZOT' { t}
@attribute 'GAZ YAGI' { t}
@attribute '12 MM MASKELEME BANTI' { t}
@attribute '15 MM MASKELEME BANTI' { t}
@attribute '18 MM MASKELEME BANTI' { t}
@attribute '36 MM MASKELEME BANTI' { t}
@attribute '48 MM MASKELEME BANTI' { t}
@attribute 'SEKER CUVALI' { t}
@attribute 'YEM CUVALI' { t}
@attribute 'BEZ' { t}
@attribute 'SISTA KOPUK' { t}
@attribute '48 MM AMBALAJ BANTI' { t}
@attribute 'ASTARLI DERBY ELDIVEN NO:8,5' { t}
@attribute 'BUYUK JAK' { t}
```

Şekil 1. Hırdavat veri tabanının .arff uzantılı dosya görünümü

Uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için minimum destek ve minimum güven değerlerinin araç üzerinden girilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin çok yüksek seçilmesi daha az sayıda kuralın çıkarılması anlamına gelmektedir. Çok düşük seçildiğinde ise çok fazla kural çıkarılacaktır. İdeal parametrelerin ne olması gerektiği ile alakalı bir kanıt bulamamamız sebebiyle en uygun çözümü deneme yanılma yoluyla elde etmeye çalıştık. Çalışmada minimum destek değeri %10 ve minimum güven değeri %10 alınmıştır.

#### 3.1. Talebin yoğun olduğu ürünler

Çalışmanın bu bölümünde 3 sektörde en çok satın alınan ürünler bulunacaktır. Tablo 2 ve Tablo 3'de sırasıyla 2018 ve 2019 yıllarında sektörlere bağlı olarak en çok tercih edilen 10 ürün ve tercihi yapan müşteri sayıları örnek olarak verilmiştir.



**Tablo 2. En çok satılan 10 ürün (2018)**

Sektör	Ürün Grupları	Tercih (%)	Tercih Eden Müşteri Sayısı
Kırtasiye	Poşet	81,25	7788
	Kâğıt	66,57	6375
	Kalem Ucu	36,15	3462
	Yağ	32,73	3134
	Koli	30,73	2943
	Defter	20,19	1934
	Pipet	18,79	1800
	Sülfite Kâğıt	18,73	1794
	Bardak	16,71	1600
	Havlu	16,43	1574
Market	Sigara	53,96	81959
	Çikolata	37,08	56313
	Ekmek	29,38	44621
	Soğuk İçecekler	25,26	38361
	Manav	20,46	31080
	Su	13,30	20207
	Cips	8,00	12157
	Muhtelif	7,48	11364
	Kuruyemiş	4,80	7301
Süt	4,42	6722	
Hırdavat	Çuval	15,77	1608
	Gaz Yağı	8,90	908
	Zımpara	8,82	900
	Bant	8,64	881
	Mazot	8,01	817
	Macun	5,42	553
	Çivi	5,04	514
	Menteşe	5,03	513
	Maske	4,75	485
	Matkap Ucu	3,79	387

Tablo 2 ve 3'e bakıldığında popüler ürünlerin ve tercih eden müşteri oranlarının büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmektedir.

**Tablo 3. En çok satılan 10 ürün (2019)**

Sektör	Ürün Grupları	Tercih (%)	Tercih Eden Müşteri Sayısı
Kırtasiye	Poşet	78,05	5324
	Kâğıt	57,51	3923
	Kalem Ucu	36,91	2518
	Sülfite Kâğıt	30,46	2078
	Yağ	29,11	1986
	Koli	25,74	1756
	Defter	17,43	1189
	Pipet	17,42	1188
	Bardak	16,33	1114
	Karton	15,36	1048
Market	Sigara	72,60	91707
	Ekmek	48,52	61287
	Çikolata	45,61	57611
	Soğuk İçecekler	26,06	32925
	Manav	22,40	28304
	Su	13,48	17030
	Un	9,61	12145
	Cips	8,44	10667

	Süt	6,88	8695
	Muhtelif	6,17	7804
Hırdavat	Çuval	15,77	1608
	Gaz Yağı	8,90	908
	Zımpara	8,82	900
	Bant	8,64	881
	Mazot	8,01	817
	Macun	5,42	553
	Çivi	5,04	514
	Menteşe	5,03	513
	Maske	4,75	485
	Matkap Ucu	3,79	387

### 3.2. Çıkarılan Kurallar

Weka'da kaç tane ürünün kurala dahil edileceğine dair bir kısıt belirtmeksizin minimum minimum güven değeri %10 olarak girildiğinde 1.124 adet kural ile karşılaşmaktadır. Analizde kullanılan fatura sayısı arttıkça kural sayısı da artacaktır. Bu kadar fazla sayıda kuralı hesaba katmak gereksiz bir iş yükü doğuracaktır. Onun yerine daha etkili olduğu düşünülen kurallar detaylı olarak incelenebilir. Bunun için yapılması gereken, kuralları belli kıstaslara göre sıralamak olacaktır. Sıralamada destek, güven veya kaldırıcı değerleri kullanılabilir.

WEKA veri madenciliği programında hırdavat 2018 veri setinde tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 659, 2. taramada ürün sayısı L(2): 708 olarak ortaya çıkmıştır. Hırdavat 2019 veri setinde tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 610, 2. taramada ürün sayısı L(2): 986, 3. taramada ürün sayısı L(3): 14, 4. taramada ürün sayısı L(4): 2 olarak ortaya çıkmıştır.

Market 2018 veri setinde tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 399, 2. taramada ürün sayısı L(2): 85, 3. taramada ürün sayısı L(3): 1 olarak ortaya çıkmıştır. Market 2019 veri setinde tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 401, 2. taramada ürün sayısı L(2): 94, 3. taramada ürün sayısı L(3): 1 olarak ortaya çıkmıştır.

WEKA programında kırtasiye 2018 veri setinde tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 717, 2. taramada ürün sayısı L(2): 900, 3. taramada ürün sayısı L(3): 246 olarak ortaya çıkmıştır. Kırtasiye 2019 veri setinde ise tarama sonucunda 1. taramada ürün sayısı L(1): 551, 2. taramada ürün sayısı L(2): 308 olmuştur.

Tüm sektörler için minimum güven değeri %10 olacak şekilde elde edilen birliktelik kuralları Tablo 4 ve Tablo 5'de destek ve güven değerine göre sıralanmış olarak verilmiştir. En ilginç kurallar kaldırıcı değerine göre yapılacak sıralama ile elde edilebilir (Baralis et al., 2011). İlginç kurallar, ilk bakışta akla gelmeyen kuralları ortaya çıkararak etkili satış stratejilerinin oluşturulmasında kullanılabilir. Bu amaçla, kaldırıcı değerine göre sıralanmış kurallar gösterilmiştir.

**Tablo 4. Minimum güven değeri %10 iken kaldırıcı değerine göre sıralanmış ilk 10 kural (2018)**

	Kural	İnanç	Destek	Güven	Kaldırıcı
Hırdavat	15CM METAL AYAK=> SAMET 400MM TAM ACI. CEK. RAYI	2,00	%0.002	100%	2038,60
	IYI FIRCA SAPI METAL=> MASTER OTO YIKAMA FIRCASI	2,00	%0.002	100%	1698,83
	KAPI KOLU AYNALI WC =>ERT KAPI KILIDI RULMANSIZ WC	5,00	%0.004	100%	1698,20
	15CM METAL AYAK=> SAMET 500MM TAM ACI. CEK. RAYI	2,00	%0.002	100%	1132,56
	BINGO AYAK KUCUK BEYAZ =>BINGO AYAK SACI M8 CINKO	8,99	%0.008	100%	1019,30
	DANGO 4,0*70 VIDA=> MERIDYEN 5,0*80 VIDA	2,00	%0.002	100%	637,06
	SAMET DUZ TAS MENTESE =>SAMET MASTER FRENLI Y.D. BOYNU NIKEL MENTESE	5,97	%0.006	100%	178,82
	İNCE PUL=> M10 ZAMAK DUBEL	2,98	%0.002	100%	152,13
	GAZ YAGI=>NIKELAJLI OVAL BORU	3,96	%0.003	100%	96,16
	GAZ YAGI=>OVAL FLANS PIMSIZ NIKEL	3,95	%0.003	100%	85,66
Kırtasiye	DEFTER A4 40YP=>DEFTER A4 40YP MÜZİK	5,00	%0.005	100%	1914,80
	TELLİ ÇİZGİLİ A5 72YP DEFTER=>TELLİ ÇİZGİLİ A5DEFTER	4,99	%0.005	100%	957,40
	BOYA YAĞLI 9ML 12 RENK=>BOYA SULU 12 RENK	3,99	%0.004	100%	478,70
	A. KAPAK 1000 GR 100'LÜ=>A. KAP 1000GR	23,94	%0.025	100%	382,96
	A.KAP 1000GR=>A.KAPAK 1000GR 100'LÜ	12,47	%0.025	96%	382,96

	SÜLFİT RULO YARIM BOY 700GR=>SÜLFİT KAĞIT PAKETLİ 700GR	6,98	%0.007	100%	319,13
	ÇORBA KABI KAPAĞI 50'LİK=>ÇORBA KABI KARTON	31,86	%0.033	100%	233,51
	DEFTER A4 40YP MÜZİK=>DEFTER A4 40YP	5,00	%0.005	100%	221,41
	CETVEL 20CM=>ZİMBALİ DEFTER KİLO İLE	3,96	%0.004	100%	91,18
	AP23A ÜÇ GÖZLÜ KAPAKLI 125'LİK=>ÇATAL LÜX ROLLUP 25'Lİ POŞET	9,86	%0.010	100%	70,92
Market	216 SOFT=>KISA VICEROY MAVİ	1,93	%0.009	49%	103,62
	ELMA => PORTAKAL	1,52	%0.016	35%	49,13
	BİBER=>DOMATES	2,09	%0.021	53%	48,86
	SALATALIK => DOMATES	1,79	%0.018	45%	41,61
	SOĞAN => DOMATES	1,49	%0.010	34%	31,46
	AC BITİR => CARŞI EKMEĞİ	1,49	%0.009	45%	2,57
	YUMURTA 15 LI=>CARŞI EKMEĞİ	1,24	%0.042	34%	1,92
	BİBER => CARŞI EKMEĞİ	1,21	%0.012	32%	1,82
	DOMATES => CARŞI EKMEĞİ	1,20	%0.033	31%	1,79
	SOĞAN => CARŞI EKMEĞİ	1,17	%0.009	30%	1,69

**Tablo 5. Minimum güven değeri %10 iken kaldıraç değerine göre sıralanmış ilk 10 kural (2019)**

	Kural	İnanç	Destek	Güven	Kaldıraç
Hirdavat	8 mm DUBEL 500 ADT => HILTI 7MM 110MM	2,00	%0.003	100%	2291,67
	RAY MANDALI SAĞ => RAY MANDALI SOL	2,00	%0.003	100%	2291,67
	SAMET 30MM TAM. ACILIM => SAMET 400MM TAM ACI. CEK. RAYI	3,00	%0.004	100%	1375,00
	BINGO AYAK SACI M8 CINKO => BINGO AYAK KUCUK BEYAZ	6,99	%0.010	100%	982,14
	BINGO AYAK KUCUK BEYAZ => BINGO AYAK SACI M8 CINKO	6,99	%0.010	100%	982,13
	KIRMIZI METAL SAP => OTO YIKAMA 9,5CM FIRCA	2,00	%0.003	100%	763,89
	STD 4,8*70AKILLI VIDA => STD 4,8*50 AKILLI VIDA	2,00	%0.003	100%	763,89
	IZOLE KERPETEN 150 MM => XX MM UCLU HAVSA	2,00	%0.003	100%	491,07
	SPAX BITS UC MDF 15X25MM => MERİDYEN 3,5*50 MDF VIDASI	1,99	%0.003	100%	156,25
	AKASYA KULP 160MM => SAMET DUZ TAS MENTESE	1,97	%0.003	100%	66,75
Kurtasiye	TÜKENMEZ KALEM TURUNCU=>TÜKENMEZ KALEM SARI	4,00	%0.005	100%	1364,00
	TÜKENMEZ KALEM MAVİ=>TÜKENMEZ KALEM KIRMIZI	3,33	%0.005	100%	496,00
	TÜKENMEZ KALEM KIRMIZI=>TÜKENMEZ KALEM MOR	2,99	%0.005	100%	442,04
	TÜKENMEZ KALEM MOR=> TÜKENMEZ KALEM SİYAH	2,99	%0.005	100%	426,25
	TELLİ KARELİ A4 96YP=>TELLİ ÇİZGİLİ A4 96YP	2,99	%0.005	83%	405,95
	A.KAP 502/1=>A.KAP 916G TEPŞİ	2,99	%0.005	83%	378,89
	PLASTİK 100'LÜK KAPAK=>PLASTİK YUVARLAK 100'LÜK	11,97	%0.017	100%	358,95
	SLİME KAPSÜL SADE=>SLİME BEBE	3,49	%0.008	86%	324,76
	VERSATİL 2MM KALEM=>MİN 2MM MİKRO	2,99	%0.005	83%	172,22
	TÜKENMEZ KALEM SARI =>TÜKENMEZ KALEM MAVİ	3,73	%0.005	100%	165,33
Market	BİBER=>DOMATES	3,58	%0.023	73%	82,53
	SALATALIK=>DOMATES	2,50	%0.014	61%	69,01
	ELMA=>PORTAKAL	1,60	%0.015	38%	58,95
	SOĞAN=>DOMATES	1,67	%0.011	41%	46,71
	KABUKLU FİSTİK=>TAZE ÇEKİRDEK	2,31	%0.013	58%	18,88
	İÇ FİSTİK=>TAZE ÇEKİRDEK	1,75	%0.021	45%	14,45
	500GR YOĞURT=>ÇARŞI EKMEĞİ	1,43	%0.013	43%	2,45

İÇİM 500GR=>ÇARŞI EKMEĞİ	1,40	%0.016	41%	2,38
BİBER=>ÇARŞI EKMEĞİ	1,22	%0.010	33%	1,98
YUMURTA 15'Lİ=>ÇARŞI EKMEĞİ	1,23	%0.044	33%	1,90

Destek ve güven değerine göre sıralanmış kurallar Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodan hangi ürünlerin sıklıkla birlikte alındıkları görülebilir. Kurallarda geçen Poşet, Sigara, Çuval ürünlerinin Tablo 2'de de çok satın alınan ürünlerden olduğu görülmüştü. Market sektörü için en güçlü kural olarak {Yumurta 15'li}=>{Çarşı Ekmeği}, kırtasiye sektörü için en güçlü kuralın {Çorba Kabı Kapağı 50'lik}=>{Çorba Kabı Karton} hırdavat sektörü içinse {Bingo Ayak Küçük Beyaz}=>{Bingo Ayak Sacı M8 Çinko} en güçlü kural olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Tablo 6. Minimum güven değeri %10 iken destek ve güven değerine göre sıralanmış ilk 10 kural (2018)**

	Kural	İnanç	Destek	Güven	Kaldıraç
Hırdavat	BINGO AYAK KUCUK BEYAZ =>BINGO AYAK SACI M8 ÇINKO	8,99	%0.008	100%	1019,30
	SAMET DUZ TAS MENTESE =>SAMET MASTER FRENLI Y.D. BOYNU NIKEL MENTESE	5,97	%0.006	100%	178,82
	KAPI KOLU AYNALI WC =>ERT KAPI KILIDI RULMANSIZ WC	5,00	%0.004	100%	1698,20
	GAZ YAGI=>NIKELAJLI OVAL BORU	3,96	%0.003	100%	96,16
	GAZ YAGI=>OVAL FLANS PIMSIZ NIKEL	3,95	%0.003	100%	85,66
	15CM METAL AYAK=> SAMET 400MM TAM ACI. CEK. RAYI	2,00	%0.002	100%	2038,60
	IYI FIRCA SAPI METAL=> MASTER OTO YIKAMA FIRCASI	2,00	%0.002	100%	1698,83
	15CM METAL AYAK=> SAMET 500MM TAM ACI. CEK. RAYI	2,00	%0.002	100%	1132,56
	DANGO 4,0*70 VIDA=> MERIDYEN 5,0*80 VIDA	2,00	%0.002	100%	637,06
	İNCE PUL=> M10 ZAMAK DUBEL	2,98	%0.002	100%	152,13
Kırtasiye	ÇORBA KABI KAPAĞI 50'LİK=>ÇORBA KABI KARTON	31,86	%0.033	100%	233,51
	A. KAPAK 1000 GR 100'LÜ=>A. KAP 1000GR	23,94	%0.025	100%	382,96
	A.KAP 1000GR=>A.KAPAK 1000GR 100'LÜ	12,47	%0.025	96%	382,96
	AP23A ÜÇ GÖZLÜ KAPAKLI 125'LİK=>ÇATAL LÜX ROLLUP 25'Lİ POŞET	9,86	%0.010	100%	70,92
	SÜLFİT RULO YARIM BOY 700GR=>SÜLFİT KAĞIT PAKETLİ 700GR	6,98	%0.007	100%	319,13
	DEFTER A4 40YP=>DEFTER A4 40YP MÜZİK	5,00	%0.005	100%	1914,80
	TELLİ ÇİZGİLİ A5 72YP DEFTER=>TELLİ ÇİZGİLİ A5DEFTER	4,99	%0.005	100%	957,40
	DEFTER A4 40YP MÜZİK=>DEFTER A4 40YP	5,00	%0.005	100%	221,41
	BOYA YAĞLI 9ML 12 RENK=>BOYA SULU 12 RENK	3,99	%0.004	100%	478,70
	CETVEL 20CM=>ZIMBALI DEFTER KİLO İLE	3,96	%0.004	100%	91,18
Market	YUMURTA 15 LI=>CARSİ EKMEĞİ	1,24	%0.042	34%	1,92
	DOMATES => CARSİ EKMEĞİ	1,20	%0.033	31%	1,79
	BİBER=>DOMATES	2,09	%0.021	53%	48,86
	SALATALIK => DOMATES	1,79	%0.018	45%	41,61
	ELMA => PORTAKAL	1,52	%0.016	35%	49,13
	BİBER => CARSİ EKMEĞİ	1,21	%0.012	32%	1,82
	SOGAN => DOMATES	1,49	%0.010	34%	31,46
	216 SOFT=>KISA VICEROY MAVİ	1,93	%0.009	49%	103,62
	AC BITİR => CARSİ EKMEĞİ	1,49	%0.009	45%	2,57
	SOGAN => CARSİ EKMEĞİ	1,17	%0.009	30%	1,69

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada farklı sektörlerdeki 3 farklı sektördeki firmaların yüzbinlerce müşterisine ait alışverişler Pazar sepeti analizi ile incelenmiştir. Apriori algoritmasıyla market sektöründe en çok satılan Sigara ürünün kırtasiye sektöründe Poşet ve hırdavat sektöründe Çuval olduğu görülmüştür. Elde edilen kurallara göre market sektöründe Yumurta 15'li, Çarşı Ekmeği ürünlerinin, kırtasiye sektöründe Çorba Kabı Kapağı 50'lik ve Çorba Kabı Karton ürünlerinin, hırdavat sektöründe ise Bingo Ayak Küçük Beyaz ve Bingo Ayak Saçı M8 Çinko ürünlerinin birlikte satın alındığı görülmüştür. Yapılan analizde kullanılan veri miktarı fazla olduğundan elde edilen sonuçların doğruluğu yüksektir. Çok fazla sayıda ürünün ve faturanın analize dâhil edilmesi genel alışveriş örüntüsü hakkında daha gerçekçi bilgi vermektedir.

Gelecekte, daha detaylı müşteri bilgisi kullanılarak derin analizler gerçekleştirilecektir. Müşterilerin yaş, cinsiyet, adres gibi kişisel bilgileri kullanılarak müşteri odaklı, kişiselleştirilmiş satış stratejileri geliştirilebilir. Bu çalışmada geçmiş çalışmalardan farklı olarak farklı sektörler ve sektörlerle ait fazla sayıda fatura bilgisi hesaba katılmıştır. WEKA aracının bu tür analizlerde kullanılabileceği gösterilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases. *VLDB '94: Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases*, 487–499.
- Anand, R. V., & Dinakaran, M. (2017). Handling stakeholder conflict by agile requirement prioritization using Apriori technique. *Computers and Electrical Engineering*, 61, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.06.022>
- Baralis, E., Cagliero, L., Cerquitelli, T., Garza, P., & Marchetti, M. (2011). CAS-Mine: Providing personalized services in context-aware applications by means of generalized rules. *Knowledge and Information Systems*, 28(2), 283–310. <https://doi.org/10.1007/s10115-010-0359-z>
- Delgado-Osuna, J. A., García-Martínez, C., Gómez-Barbadillo, J., & Ventura, S. (2020). Heuristics for interesting class association rule mining a colorectal cancer database. *Information Processing and Management*, 57(3), 102207. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102207>
- Griva, A., Bardaki, C., Pramatarı, K., & Papakiriakopoulos, D. (2018). Retail business analytics: Customer visit segmentation using market basket data. *Expert Systems with Applications*, 100, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.01.029>
- Halim, S., Octavia, T., & Alianto, C. (2019). Designing facility layout of an amusement arcade using market basket analysis. *Procedia Computer Science*, 161, 623–629. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.165>
- John, M., & Shaiba, H. (2019). Apriori-Based Algorithm for Dubai Road Accident Analysis. *Procedia Computer Science*, 163, 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.103>
- Karabatak, M., & İnce, M. C. (2004). Apriori Algoritması ile Öğrenci Başarı Analizi. *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 8–12.
- Kaur, M., & Kang, S. (2016). Market Basket Analysis: Identify the Changing Trends of Market Data Using Association Rule Mining. *Procedia Computer Science*, 85, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.180>
- Kotu, V., & Deshpande, B. (2019). Association Analysis. In *Data Science* (Second Edition, pp. 199–220). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814761-0.00006-x>
- Monteserin, A., & Armentano, M. G. (2018). Influence-based approach to market basket analysis. *Information Systems*, 78, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.is.2018.01.008>
- Solnet, D., Boztug, Y., & Dolnicar, S. (2016). An untapped gold mine? Exploring the potential of market basket analysis to grow hotel revenue. *International Journal of Hospitality Management*, 56, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2016.04.013>
- Valle, M. A., Ruz, G. A., & Morrás, R. (2018). Market basket analysis: Complementing association rules

with minimum spanning trees. *Expert Systems with Applications*, 97, 146–162. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.028>

*Wikipedi.* (n.d.). Weka. Retrieved September 15, 2020, from <https://tr.wikipedia.org/wiki/Weka>

*Weka-The workbench for machine learning.* (n.d.). Retrieved September 15, 2020, from <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

*Wikipedia.* (n.d.). Association Rule Learning. Retrieved September 15, 2020, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Association\\_rule\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Association_rule_learning)

Zeng, N., & Xiao, H. (2020). Inferring implications in semantic maps via the Apriori algorithm. *Lingua*, 239, 102808. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2020.102808>

# The Quantum Mechanical Rotation Operators Corresponding to operators $S_+$ and $S_-$ For Spins 1/2 to 5/2

D. Çilengiroğlu<sup>1</sup> · R. Tapramaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs University

<sup>1)</sup> Corresponding author: dcdidem@hotmail.com

<sup>2)</sup> receipt@omu.edu.tr

## Abstract

Quantum mechanical rotation operators play important role in pulsed magnetic resonance spectroscopies and are the subject of quantum mechanics and mathematics. The rotation operators corresponding to spin 1/2 are well known and can be found in quantum mechanics textbooks. But rotation operators of other spins greater than 1/2 can be found numerically by evaluating the series expansions of exponential operator obtained from Schrödinger equation and in recently published work which gives expressions in polynomial forms discussed in the text. Rotation operators  $R_x$ ,  $R_y$  and  $R_z$  for spins 1/2 to 5/2 was published previously and in this paper, we give explicit symbolic expressions of rotation operators  $\hat{R}_+$  and  $\hat{R}_-$  corresponding to increasing and decreasing spin operators  $\hat{S}_+$  and  $\hat{S}_-$  for spins 1/2 to 5/2 whose element variations are calculated by means of series expansion of exponential operator and fitting the variations using linear curve fitting process.

**Keywords** Spin, Rotation operator, increasing operator, decreasing operator, exponential operator, curve fitting.

## Introduction

Rotation operators, their matrix representations and their effect on quantum states are an essential part of the quantum mechanics of microscopic systems (Morrison and Parker, 1987). In other words, quantum mechanical rotation operators are the subject of quantum mechanics, mathematics and pulsed magnetic resonance spectroscopies, namely nuclear magnetic resonance (NMR), electron paramagnetic resonance (EPR) and electron nuclear double resonance (ENDOR). They are also necessary for spin-based quantum information systems. These operators in explicit forms are the essential tools of these microscopic systems (Wigner, 1959). The rotation operators of spin 1/2 are well known and can be easily found in related textbooks. Also, rotation operators of spins greater than 1/2 can be found in some resources and they can be formulated numerically by evaluating the series expansions of exponential operator obtained from Schrödinger equation, or by evaluating Wigner-d formula using Euler angles for coordinate system transformation. In addition, they can be found evaluating recently established expressions in polynomial forms (Curtright *et al.*, 2014). Real rotation operators for total angular momenta of 1/2, 1, 3/2 and 2 were generated from Wigner-d formula in some classical quantum mechanics textbooks (Aubert, 2013; Sakurai and Napolitano, 2011; Gimbutas and Greengard, 2009; Messiah, 2007; Dachsels, 2006; Morrison and Parker, 1987; Blance and Florez, 1997). In 2014, T. L. Curtright, D. B. Fairlie and C. K. Zachos published a paper on rotation operators called as “A Compact Formula for Rotations as Spin Matrix Polynomials” and gave rotation operator expressions in polynomial form for all angular momenta in cartesian components (Curtright, *et al.*, 2014).

Pulsed nuclear magnetic resonance, (pulsed-NMR), pulsed electron paramagnetic resonance (pulsed-EPR) and pulsed electron nuclear double resonance (pulsed-ENDOR) spectroscopies, however, utilize rotation operators in rotating coordinate system or laboratory coordinate system where the spins are polarized along a definite orientation by a known external magnetic field. This direction is defined as  $z$ -axis and a series of magnetic pulses are applied consequently along laboratory  $x$  and/or  $y$  axes to rotate the polarized spins around related axes (Fukushima and Roeder, 1993; Gordon *et al.*, 2006; Jones, 2001; Schweiger and Jeschke, 2001). Besides the spectroscopic applications, spin based quantum-computing systems in which the pulsed magnetic resonance techniques constructed the pioneering pulse arrays, utilizes rotation operators intensively in rotating Cartesian coordinate system (Oliviera *et al.*, 2007; Jones, 2001).

In this work explicit expressions of rotation operators  $\hat{R}_+$  and  $\hat{R}_-$  corresponding to raising and lowering operators of Pauli spins 1/2 to 5/2 are constructed from series expansion of exponential operator and fitting the obtained values to suitable functions by linear curve fitting procedure.

## Materials and Methods

Exponential rotation operator  $\hat{R}_\alpha$ , ( $\alpha = x, y, z$ ), is obtained from time dependent Schrödinger equation depending on rotation angle  $\theta_p$  and spin operator  $\hat{S}_\alpha$ ,

$$\hat{R}_\alpha = \exp(i\theta_p \hat{J}_\alpha) = \cos(\theta_p \hat{J}_\alpha) + i \sin(\theta_p \hat{J}_\alpha), \quad (\alpha = x, y, z) \quad (1)$$

derived for a rotating magnetic field pulse  $B_1$ . given as  $-i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{\mathcal{H}} \psi$  where  $\hat{\mathcal{H}} = g\beta B_1 \hat{J}_\alpha$  is pulse Hamiltonian applied to a spin system polarized along laboratory  $z$ -axis by an external magnetic field.  $\hat{J}_\alpha$  can be the nuclear spin  $\hat{I}$  or the electron spin  $\hat{S}$ , or coupled  $\hat{S}$  and  $\hat{I}$  system,  $g$  and  $\beta$  have conventional meanings. The rotation angle  $\theta_p$  depends on pulse duration  $t_p$  with expression  $\theta_p = g\beta B_1 t_p / \hbar = \omega_p t_p$ .

In a previous paper, rotation operators of Pauli spin or angular momentum operators  $\hat{J}_x$ ,  $\hat{J}_y$  and  $\hat{J}_z$  were reported, (Kocakoç and Tapramaz, 2016). In this work general spin or angular momentum operator  $\hat{J}_\alpha$  where  $\alpha = x, y, z$ , replaced by ladder operators  $\hat{J}_+$  and  $\hat{J}_-$  in Equation 1 and cosine and sine terms are written in series expansions as follows,

$$\begin{aligned} \cos(\theta_p \hat{J}_\pm) &= \mathbb{I} - \frac{1}{2!} \theta_p^2 J_\pm^2 + \frac{1}{4!} \theta_p^4 J_\pm^4 - \frac{1}{6!} \theta_p^6 J_\pm^6 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n)!} \theta_p^{2n} J_\pm^{2n} \\ \sin(\theta_p \hat{J}_\pm) &= \frac{1}{1!} \theta_p^1 J_\pm^1 - \frac{1}{3!} J_\pm^3 \theta_p^3 + \frac{1}{5!} J_\pm^5 \theta_p^5 - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)!} \theta_p^{2n+1} J_\pm^{2n+1} \end{aligned} \quad (2)$$

Explicit expressions of the rotation operators were obtained after two-step numerical calculations. In the first step the sine and cosine series given in powers of spin operator matrices, Equation (2), were summed up numerically for each element of a spin matrix for angles between e.g.  $0^\circ$  and  $360^\circ$  with intervals of 10, and with the highest possible precision and angular variations of each real and imaginary elements of rotation operators were found. In the second step, variations of each element of the rotation matrices against rotation angles were fitted to a linear polynomial determined after some trial, which were the perfect fitting function,

$$r_{ij}(\theta) = c_0 + c_1\theta + c_2\theta^2 + c_3\theta^3 \dots \quad (3)$$

All fitting processes was controlled for goodness by the value  $r$  which is known as regression coefficient or spectral radius, or visually on simultaneous plots of original and fitted curves.

## Results and Discussion

4 The calculations performed for each element of rotation operator matrices for all components of spins  $1/2$  to  $5/2$  and produced rotation operators  $\hat{R}_+$  and  $\hat{R}_-$  are given below together with the plots of variations with respect to rotation angle  $\theta$ . The ladder operators  $\hat{J}_+$  and  $\hat{J}_-$  borrowed from Kocakoç and Tapramaz (2016) are used in Equation (2) to derive the corresponding rotation operators.

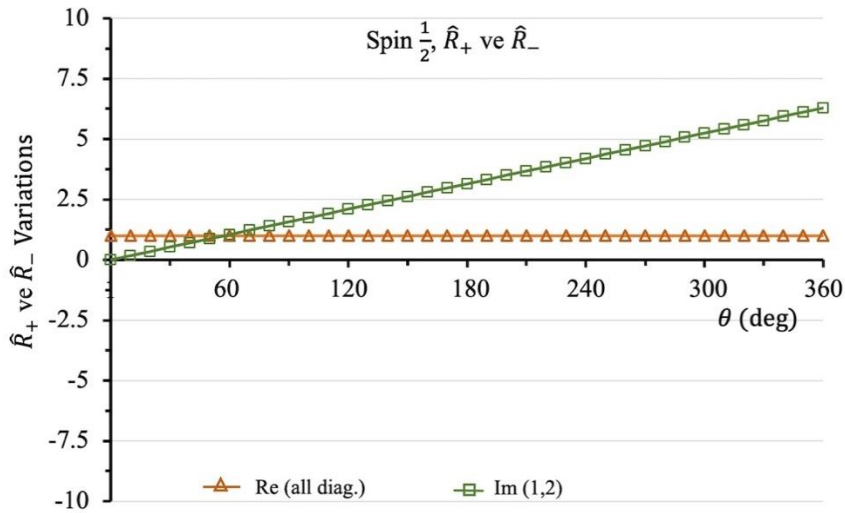
### 3.1 Rotation Operators $\hat{R}_+$ and $\hat{R}_-$ Corresponding to Spin $1/2$

5 Rotation operators were found to be

$$\hat{R}_+ \left( \frac{1}{2}; \theta \right) = \begin{bmatrix} 1 & i\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{R}_- \left( \frac{1}{2}; \theta \right) = \left[ R_+ \left( \frac{1}{2}; \theta \right) \right]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ i\theta & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

6 as upper diagonal and lower diagonal matrices. Moreover, the two matrices are transpose of each other. Figure 1 shows the variations of real and imaginary elements all together.





7

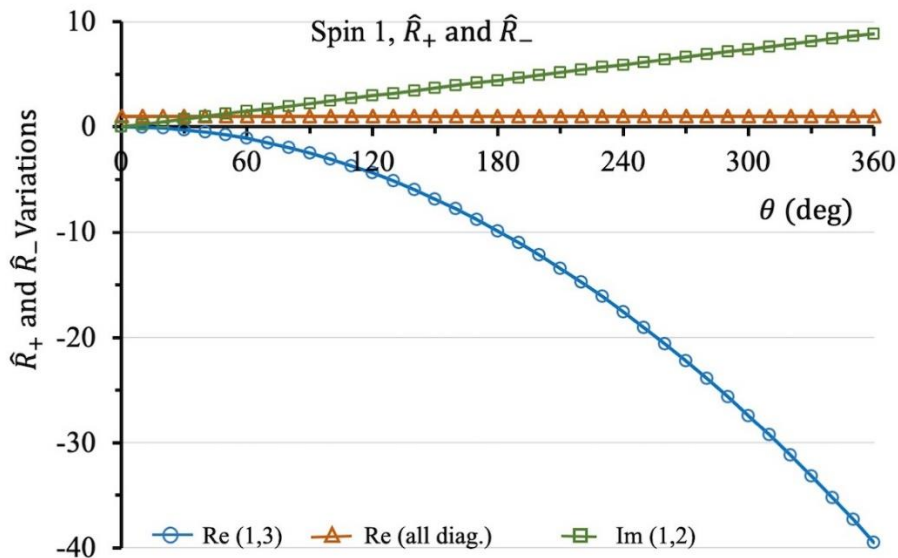
8 Figure 1. Angular variations of elements of rotation operators corresponding to ladder operators of spin  $\frac{1}{2}$ .

### 3.2 Rotation Operators $\hat{R}_+$ and $\hat{R}_-$ Corresponding to Spin 1

9 Rotation operators were found to be

$$\hat{R}_+(1; \theta) = \begin{bmatrix} 1 & i\sqrt{2}\theta & -\theta^2 \\ 0 & 1 & i\sqrt{2}\theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{R}_-(1; \theta) = [\hat{R}_+(1; \theta)]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ i\sqrt{2}\theta & 1 & 0 \\ -\theta^2 & i\sqrt{2}\theta & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

10 as upper diagonal and lower diagonal matrices. Moreover, the two matrices are transpose of each other, and therefore only one of rotation operator will be given from now on and the other one will be indicated as the transpose of given one. Figure 2 shows the variations of real and imaginary elements all together.



11

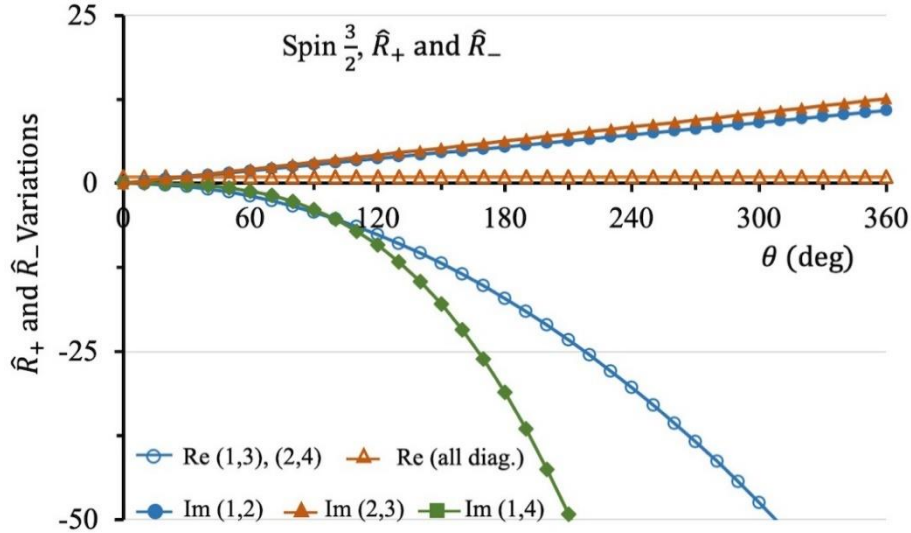
12 Figure 2. Angular variations of elements of rotation operators corresponding to ladder operators of spin 1

### 3.3 Rotation Operators $\hat{R}_+$ and $\hat{R}_-$ Corresponding to Spin 3/2

13 Rotation operators were found to be

$$\hat{R}_+\left(\frac{3}{2}; \theta\right) = \begin{bmatrix} 1 & i\sqrt{3}\theta & -\sqrt{3}\theta^2 & -i\theta^3 \\ 0 & 1 & i2\theta & -\sqrt{3}\theta^2 \\ 0 & 0 & 1 & i\sqrt{3}\theta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{R}_-\left(\frac{3}{2}; \theta\right) = \left[R_+\left(\frac{3}{2}; \theta\right)\right]^T \quad (6)$$

14 as upper diagonal and lower diagonal matrices. Moreover, the two matrices are transpose of each other. Figure 3 shows the variations of real and imaginary elements all together.



15

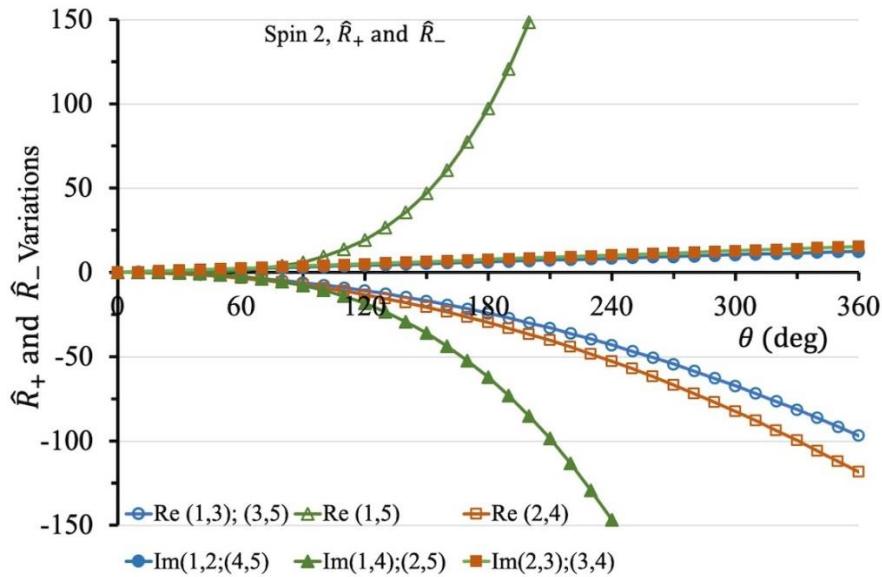
16 Figure 3. Angular variations of elements of rotation operators corresponding to ladder operators of spin 3/2

### 3.4 Rotation Operators $\hat{R}_+$ and $\hat{R}_-$ Corresponding to Spin 2

17 Rotation operators were found to be

$$\hat{R}_+(2; \theta) = \begin{bmatrix} 1 & i2\theta & -\sqrt{6}\theta^2 & -i2\theta^3 & \theta^4 \\ 0 & 1 & i\sqrt{6}\theta & -3\theta^2 & -i2\theta^3 \\ 0 & 0 & 1 & i\sqrt{6}\theta & -\sqrt{6}\theta^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & i2\theta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{R}_-(2; \theta) = [R_+(2; \theta)]^T \quad (7)$$

18 as upper diagonal and lower diagonal matrices. Moreover, the two matrices are transpose of each other. Figure 4 shows the variations of real and imaginary elements all together.



19

20 Figure 4. Angular variations of elements of rotation operators corresponding to ladder

operators of spin 2

### 3.5 Rotation Operators $\hat{R}_+$ and $\hat{R}_-$ Corresponding to Spin 5/2

21 Rotation operators were found to be

$$\hat{R}_+\left(\frac{5}{2}; \theta\right) = \begin{bmatrix} 1 & i\sqrt{5}x & -\sqrt{10}x^2 & -i\sqrt{10}x^3 & \sqrt{5}x^4 & ix^5 \\ 0 & 1 & i\sqrt{8}x & -\sqrt{18}x^2 & -i4x^3 & \sqrt{5}x^4 \\ 0 & 0 & 1 & -i3x & -\sqrt{18}x^2 & -i\sqrt{10}x^3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & i\sqrt{8}x & -\sqrt{10}x^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & i\sqrt{5}x \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\hat{R}_-\left(\frac{5}{2}; \theta\right) = \left[\hat{R}_+\left(\frac{5}{2}; \theta\right)\right]^T$$

22 as upper diagonal and lower diagonal matrices. Since the plot area will be crowded, the variation plots are not given to avoid confusion.

### 23 Discussion

The rotation operators  $\hat{R}_+$  and  $\hat{R}_-$  corresponding to ladder operators  $\hat{S}_+$  and  $\hat{S}_-$  of spins 1/2 to 5/2 were determined. The operator elements show common properties as noted in following text.

→ The diagonal elements of all rotation operators are real and unity.

→ The increasing operators  $\hat{R}_+$  of all spins are upper triangular and decreasing operators  $\hat{R}_-$  of all spin are lower triangular matrices. Moreover, both operators of all spins are transpose of each other,  $\hat{R}_- = [\hat{R}_+]^T$  or vice versa.

→ The real elements of operators are all even powers and imaginary elements are all odd powers of  $\theta$  where  $\theta$  in radians.

→ Although the terms of series expansion of exponential operator are powers of trigonometric functions, namely powers of cosine and sine, each element of rotation operators are single terms of linear polynomial. The reason of this relation arises from nonlinear character of exponential operator.

5

6

### 24 Conclusion

In this work, explicit form of quantum mechanical rotation operator elements corresponding to ladder operators  $\hat{S}_+$  and  $\hat{S}_-$  was determined for spins 1/2 to 5/2. Rotation operators were found by expanding exponential pulse operator in power series and evaluating numerically. Angular variations of numerical data were fitted to linear polynomial by least squares fitting procedure. The determined operators, and their properties are explained.

### References

E.P. Wigner, E.P. (1959) "Group theory and its applications to the quantum mechanics of atomic spectra," Academic Press.

A. Messiah, A. (1967) Quantum Mechanics Vol. 2, North Holland Publishing Co.

Sakuari, J. J. and Napolitani, J (2011) Modern Quantum Mechanics Addison–Wesley.

Morrison, M. A. and Parker, G.A. (1987) J. Aust. Phys. 40 465–497.

Gimbutas, Z. and Greengard, L. (2009) J. Comput. Phys., 228 5621–5627.

Curtright, T. L.; Fairlie, D.B. and Sachos, C. (2014) SIGMA, 10 1–15.

Blanca, M. A.; Flórez, M.; Bermejo, M. (1997) Theochem 419 19–27, doi:10.1016/S0166-1280(97)00185-1.

Dachsel, H. (2006) *J. Chem. Phys.*, 124 144115–1 to 144115–6, <http://dx.doi.org/10.1063/1.2194548>.

Aubert, G. (2013) *AIP Advances* 3, 062121–1 to 062121–25, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4811853>.

Kocakoç M. and Tapramaz R. (2016). Explicit expressions of quantum mechanical rotation operators for spins 1 to 2, *AIP Conference Proceedings* 1722, 200009. [doi.org/10.1063/1.4944224](http://dx.doi.org/10.1063/1.4944224)

# Evaluation of Interfacial Maximum Stress Occurred Between Restorative Composite Resin Multilayer and Maxillary Tooth Surfaces By Using FEM

Hamid Zamanlou<sup>1\*</sup>, Filiz Karabudak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Ataturk University, Erzurum, 25240, Turkey, zamanloohamid@gmail.com

<sup>2</sup>Gümüşhane University, Gümüşhane, 29100, filizkarabudak@gumushane.edu.tr

## Abstract

Composite resins as polymer based materials are a mixture of organic and inorganic components. Due to their excellent mechanical properties, such as flexural strength, wear resistance, and thermal stability has been widely used as a surface coating material in dentistry. The composite filling is bonded to for making them stronger than before. A composite filling is also minus sensitive to temperature ranges in the mouth, which can damage the crown.

Stress in material can Cause different problem such as wear, fatigue, fracture and etc. in mechanical systems. In this study interfacial maximum stress occurred between restorative composite resin multilayers and maxillary tooth surfaces under different load and different period of time and thermal condition were analyzed by using 2D-FE model.

**Keywords:** interfacial maximum stress, composite resin, Finite Elements Method.

## 1. INTRODUCTION

There is an increasing demand for materials and technologies have been developed for dental restorative. These materials must have number of mechanical, chemical, thermal and optical facilities in order to withstand the rigors of the application. The most important of these properties are strength, wear, fracture toughness and hardness, compatibility with an oral environment, and visual appearance. Also, the fabrication method should be having short processing time and low cost.

Dental composite resins have desirable properties that can be used according to the specific characteristics of the patient's dental cavity. These composites were used because of their suitable micro-mechanical properties. In recent year wide range of composite resins are used in the field of dentistry.

There are several ways to solve engineering problems. For example, if the problem is not very complex and there are analytical relations for it, mathematical relations can be used to model the problem. The finite element method is based on the discretization or division of the whole structure or continuous environment into small components called elements. That is, in this method, instead of examining the differential equation for the whole structure together, it will be examined for the elements. The body must first be divided into small elements.

The relations between stress, deformation and deformation rate can be very complicated; however, the linear approximation is suitable for small enough changes. Stress that goes beyond the strength limit in the material can lead to stable deformation. Secure colculation of stress (i.g. normal stress, Von misess, Shear stress, Contact stress, etc.) can help for evalating the mechanical properties of materials.

In recent years, the use of Finite Element Method for calculating the strength of coatings has gained importance. By using ANSYS program package and creating FEM model alternative studies were done in vitro and in vivo. The use of FEM provides accurate result in specific conditions.

In this study an axisymmetric 2D-FE model were used for creating a model of human maxillary tooth and composite resin restoration as a coated materials for estimating the different variation if stress in contact interface for the means of strength of restorative.

## 2. METHODS

Finite element analysis can be used to verify the stress distribution in the interior of the tooth and restoration with the time. A finite element analysis was performed, followed by a static elastic linear analysis.

In this study, a time dependent stress analysis of a human tooth under load was performed. The geometry of the veneered state of a tooth damaged by any reason as an axisymmetric 2D-FE model is given in Figure 1. The calculations are carried out in the elastic region; the properties of the materials used are given for this region. Direct composite were used as restoration material in maxillary tooth.

100 N Chewing load was applied to restorative region and stress level s were calculated in whole of crown.

From top to the down the first layer is Composite the second is adhesive, third is resin, fourth is dentin, fifth is pulp and the sixth is alveolar bone.

Mechanical and physical properties of materials and tooth tissue are given in Table 1. The properties values were taken from the literature.

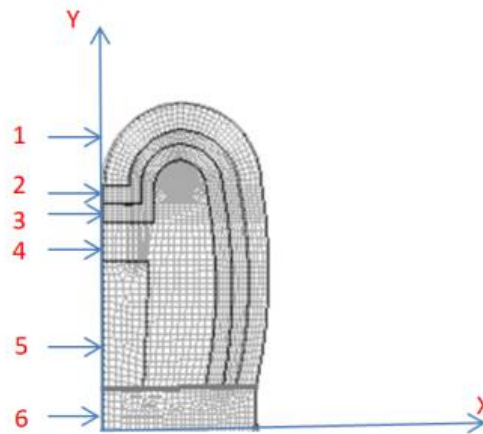


Figure 1. Mesh view of restored tooth FEM

Table 1. Properties of Materials

<i>Properties</i> <i>Materials</i>	<i>Modulus Of</i> <i>Elasticity</i> <i>(MPA)</i>	<i>Poisson Ratio</i>	<i>Densty</i> <i>(Kg/mm<sup>3</sup>)</i>	<i>Specific</i> <i>heat</i> <i>(J/Kg<sup>o</sup>C)</i>
Composite	67000	0.34	$0.0024 \times 10^{-3}$	1470
Resin	25000	0.30	$0.0015 \times 10^{-3}$	544
Adhesive	22400	0.35	$0.0011 \times 10^{-3}$	890
Dentin	18600	0.31	$0.00196 \times 10^{-3}$	1260
Pulp	0.003	0.45	$0.0010 \times 10^{-3}$	4200
Alveolar bone	13800	0.29	$0.0211 \times 10^{-3}$	1600

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Two dimensional axisymmetric finite element analyses were used to evaluate the stress concentrations at the restoration part and the tooth. All stress levels were observed in FEM as shown in figure 2, from red to blue show the maximum to minimum stress distribution. At the crown structure Maximum stress calculated 15.262 Gpa.

Figure 2-6 depict the simulation results for different layer of restoration. In each figure  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{xy}$  and  $\sigma_{vm}$  are shown for the layer.

The highest  $\sigma_{vm}$ ,  $\sigma_{xy}$  and  $\sigma_x$  value was observed in restorative (composite resin, adhesive) and dentin layer.  $\sigma_y$  maximum value depends on Composite-Adhesive interface. The pulp and alveolar bone were the least affected components of the onlay system.

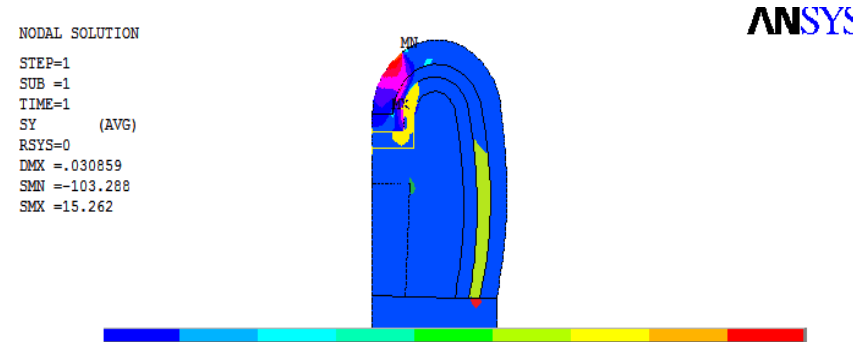


Figure 2. FEM analysis of tooth layers

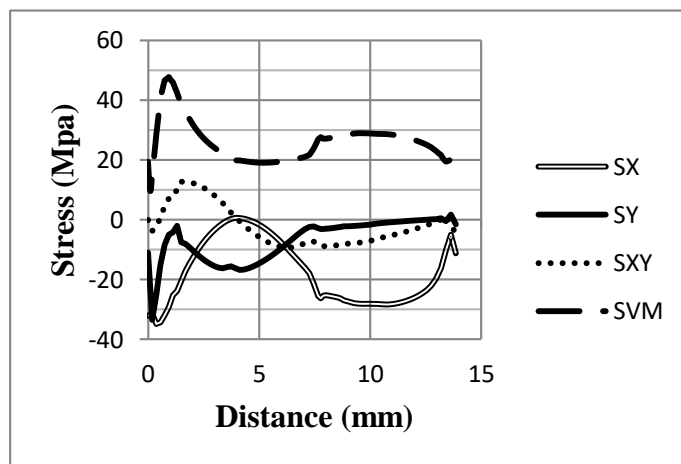


Figure 3. Stress distribution Composite – Adhesive layer

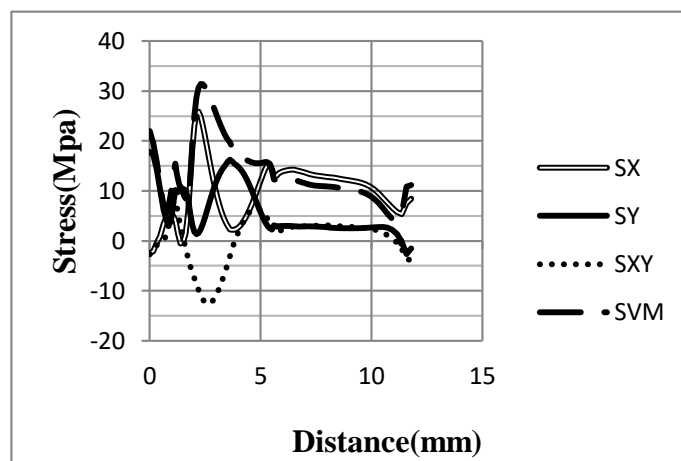


Figure 4. Stress distribution Adhesive – Resin layer

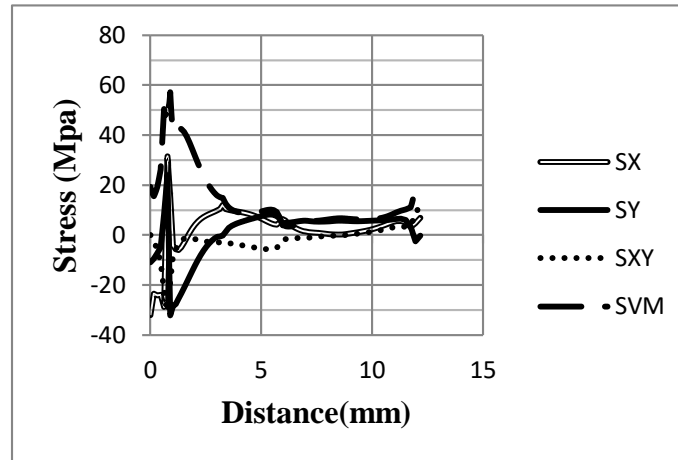


Figure 5. Stress distribution Restorative – Dentin layer

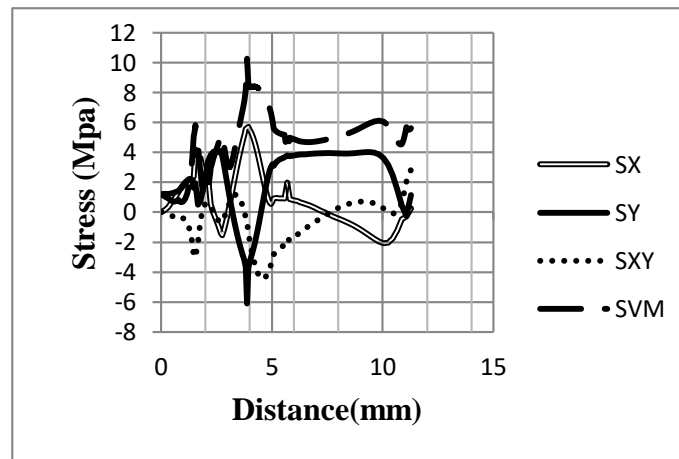


Figure 6. Stress distribution Dentin – Pulp and Alveolar bone layer

#### 4. CONCLUSION

Considering the limitations of laboratory study, the distribution of stresses on tooth restored with a resin composite filling are more reliable and it can be done for other models in different situations.

This study evaluated the stress distribution on restorative maxillary tooth. In each interfaces stress value calculated by using FEM. By comparing stress values of this model with other other study the composite resin show better performance among other restorative materials from the view of strength.

Modulus of elasticity is more effective on stress concentration than the other properties.

#### REFERENCES

Zamanlou, H , Sen, S , Karabudak, F , Yeşildal, R . "INVESTIGATION OF YOU NG'S MODULUS AND THERMAL EXPANSION COEFFICIENT EFFECTS ON TRANSIENT THERMAL ANALYSI S OF COATED TOOTH". Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 4 (2016)



- Thompson M.C., Field C.J., Swain M.V. The all-ceramic, inlay supported fixed partial denture. Part 3. Experimental approach for validating the finite element analysis. *Aust Dent J.* 2012
- Yamanel K., Çağlar A., Gülsahi K., Özden U.A. Effects of different ceramic and composite materials on stress distribution in inlay and onlay cavities: 3-D finite element analysis. *Dent Mater J.* 2009
- Jiang W., Bo H., Yongchun G., LongXing N. Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 2010
- Magne P, Goldberg J, Edelhoff D, Güth JF. Composite resin core buildups with and without post for the restoration of endodontically treated molars without ferrule. *Oper Dent.* 2016
- Upadhyaya V, Bhargava A, Parkash H, Chittaranjan B, Kumar V. A finite element study of teeth restored with post and core: Effect of design, material, and ferrule. *Dent Res J.* 2016
- Skupien JA, Sarkis-Onofre R, Cenci MS, Moraes RR, Pereira-Cenci T. A systematic review of factors associated with the retention of glass fiber posts. *Braz Oral Res.* 2015

# Compressive Toughness Properties of Fly Ash Mortar Mixtures Containing Glass Powder as a Partial Replacement of Sand

**Levent Bostanci**

*(Main Author) (Corresponding Author)*

*School of Advanced Vocational Studies, Beykent University (Turkey)*

*leventbostanci@beykent.edu.tr*

## Abstract

Use of waste solid particles in cement-based material manufacturing has major environmental benefits and utilization of glass powder (GP) as a partial replacement of sand is gaining much attention in recent years due to its contribution to mortar mechanical performance. In this study, the effect of replacement of Rilem sand with GP on compressive toughness (CT) properties of fly ash (FA) mortars was investigated in detail. The glass particles were used to replace 15%, 30%, and 45% of the total sand weight in mortar mixtures. Results show that in the case of 30% GP addition the CT capacities of FA samples were 42.3%, 18.62% and 12.69% higher than the WG-free sample at the age of 2, 7 and 28 days, respectively. Moreover, a GP content up to 45% in FA mortar mixtures remarkably improved the post- peak CT capacities at 2- and 7-day samples. Therefore, GP-incorporated FA mortar was regarded as a promising material in terms of compressive toughness ability.

**Keywords:** fly ash, glass powder, compressive toughness, compressive pre-peak toughness, compressive post-peak toughness.

## Özet

Katı formdaki atık partiküllerin çimento esaslı malzemelerin imalatında kullanımı çevre açısından son derece önemli faydalar sunmaktadır ve bu anlamda harç mekanik performansına katkısı nedeniyle cam tozunun karışımlarda kumunun kısmi ikamesi olarak kullanımı son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmada, Rilem kumunun cam tozu ile yer değiştirilmesinin uçucu kül harçlarının basınç tokluğu özelliklerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Harç karışımlarında toplam kum ağırlığının %15, % 30 ve % 45'i cam tozu ile yer değiştirilmiştir. Sonuçlar, kontrol numunesine kıyasla % 30 cam tozu içeren numunelerin basınç tokluk kapasitelerinin 2, 7 ve 28 günlük yaşlarda sırasıyla %42.3, %18.62 ve %12.69 düzeylerinde daha yüksek olduğunu göstermektedir. İlâveten, uçucu kül harç karışımlarında % 45'e kadar olan atık cam tozu içeriği, 2 ve 7 günlük numunelerine pik sonrası basınç tokluk kapasitelerini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bu nedenle, atık cam tozu içeren uçucu kül harçları, basınç tokluk yetenekleri açısından umut verici bir malzeme olarak dikkat çekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** uçucu kül, cam tozu, basınç tokluğu, pik-öncesi basınç tokluğu, pik-sonrası basınç tokluğu.

## 1. Introduction

The recycling of WG is a vital issue in terms of its major amount in the total solid waste [1]. On the other hand, the current utilization rate of WG is not at a desirable level, less than 30% even in China [2]. Using the WG for the manufacturing of cement-based materials has received much interest in construction technology over the last two decades [3].

The use of WG in cementitious composites generally contributes to mechanical and durability properties of samples such as an improved alkali – silica performance or a higher cracking resistance thanks to lower porosity [4]. Another contributing factor to having a higher mechanical performance is usually obtained thanks to the additional C-S-H formation around the glass-cement particles in matrix [5].

The main target of this study is the utilization of waste – based and industrial residues in mortar mixtures. The feasibility of using simultaneously WG as a partial substitution of sand and FA as a partial substitution of ordinary cement in mortar mixtures was analyzed.

## 2. Experiments

Binding materials used in this experimental study consisted of CEM I 42.5 R type Portland cement (PC) and class C FA in accordance with TS EN 197-1 [6]. In mortar mixtures, WG powder and Rilem sand in accordance with TS EN 196-1[7] were also used together as fine aggregates. Tap water was used for mixing the dry mixture. In the mix design, the amount of cement and FA was fixed at 1:1. The binder/fine aggregate ratio and water/binder ratio were also kept constant at 1:3 and 0.5, respectively. WG was used at 0%, 15%, 30%, and 45% replacement by weight of sand while the amount of fine aggregate was kept constant. Table 1 shows the mix design ratios.

**Table 1.** Mix design ratios.

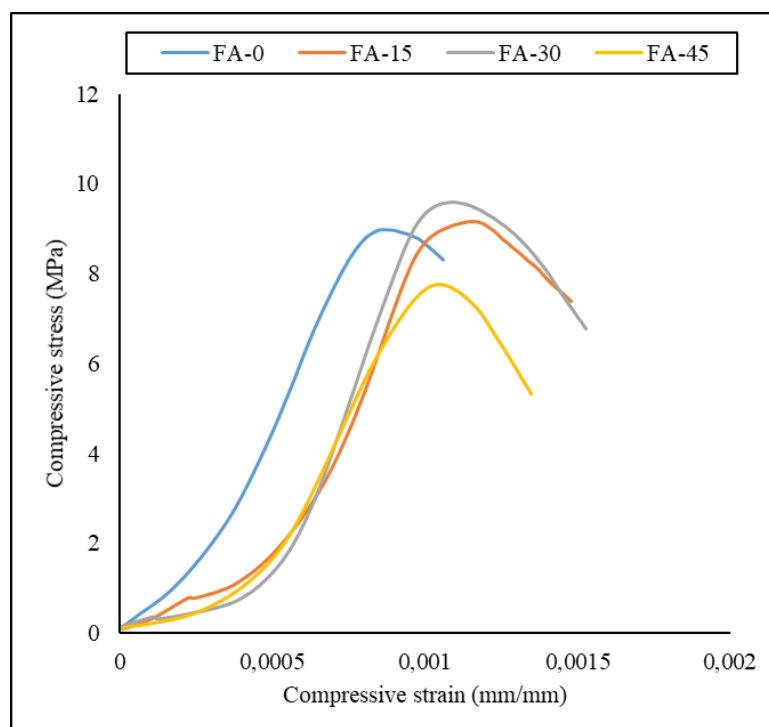
Sample	PC (g)	FA (g)	Water (ml)	Sand (g)	WG (g)
FA-0	225	225	225	1350	0
FA-15				1147.5	202.5
FA-30				945	405
FA-45				742.5	607.5

The mortar prisms of 40 mmx 40 mmx 160 mm in size were cast. The samples were cured in water for 2, 7 and 28 days of curing periods and their compressive strength and toughness properties were investigated in detail.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

### 3.1. 2- day compressive stress-strain relationships

Fig. 1 shows the compressive stress – strain relationships determined in this study based on the displacement – controlled compressive test. The compressive strength of mortar samples after being cured for 2 days was 7.76–9.58 MPa.

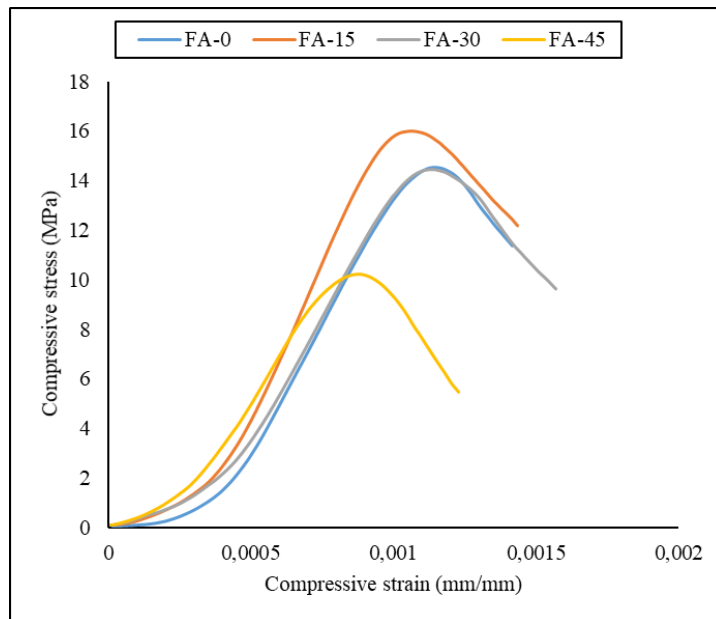


**Fig.1.** Stress – strain curves at 2- day samples.

A 2- day strength of 8.97 MPa was detected in the WG-free sample. As seen in the Fig.1, the compressive strength was positively affected by the incorporated WG up to a WG content of 45%. The enhancement in the strength values were 2.0% and 6.8% at the inclusion level of 15% and 30%, respectively. However, an increase in the substitution ratio from 30% to 45% led to a decrease in the strength value at a level of 13.48%. The results are in conformity with the results determined by Bostanci [8] when performing an experimental study on silica fume mortar samples with WG particles. On the other hand, the use of WG particles in FA mortar mixtures, gave to samples more ultimate strain capacity and the failure mechanism in compression was more ductile in WG-incorporated samples.

### 3.2. 7- day compressive stress-strain relationships

Fig. 2 shows the plots of the compressive stress and strain curves after 7 days curing. The strength values varied between 10.22 and 15.98 MPa depending on WG content.

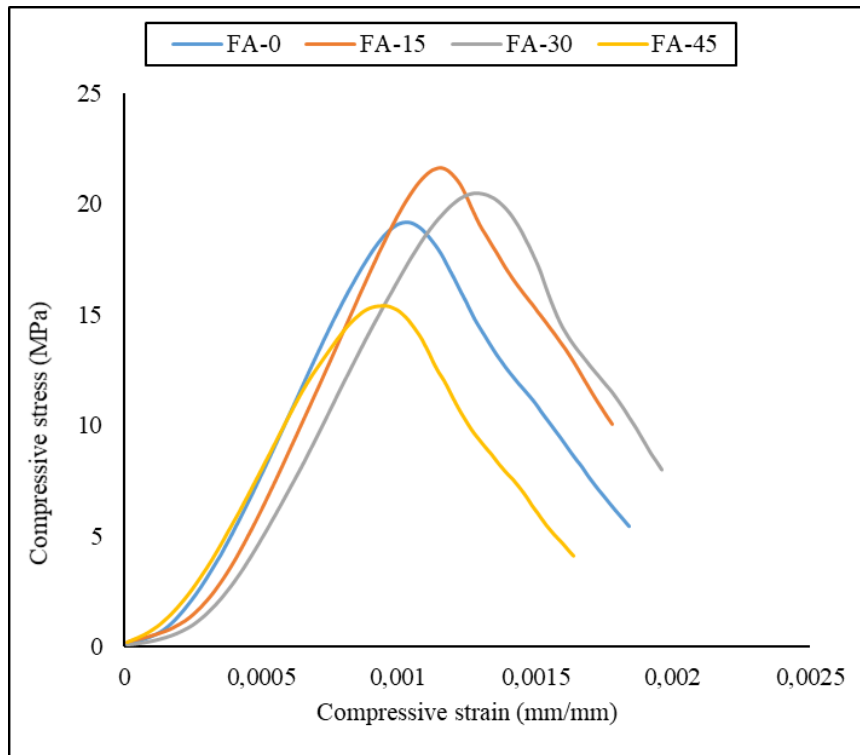


**Fig.2.** Stress – strain curves at 7- day samples.

FA-0 achieved a strength of 14.52 MPa at 7 days. The effect of WG inclusion on strength values were similar to that of 2- day samples. In comparison to the WG-free sample, a 10.05% increase in the strength value was determined in the FA-15 sample due the presence of WG particles. On the other hand, the strength value decreased by 29.16% with a 45% WG content. The results agreed well with that of the 2- day samples and this was probably because of the change in mortar pore structure due to the porous nature of WG-incorporated cement matrix. This finding indicates the fact that no improvement on the strength development was determined in the case of the sand replacement with WG more than 30% at the early age of hydration. In addition to the enhancement in the strength value, the inclusion of WG at a level of 30% also contributed to the ultimate strain capacity of FA samples. Hence, the optimum content of WG not only improves the strength capacity but also strain capacity.

### 3.3. 28- day compressive stress-strain relationships

The plots of the compressive stress – strain relationship in the FA mortar mixtures obtained by the inclusion of WG are shown in Fig. 3. The compressive strengths of FA mortars were between 15.4 and 21.6 MPa depending on the content ratios of WG.



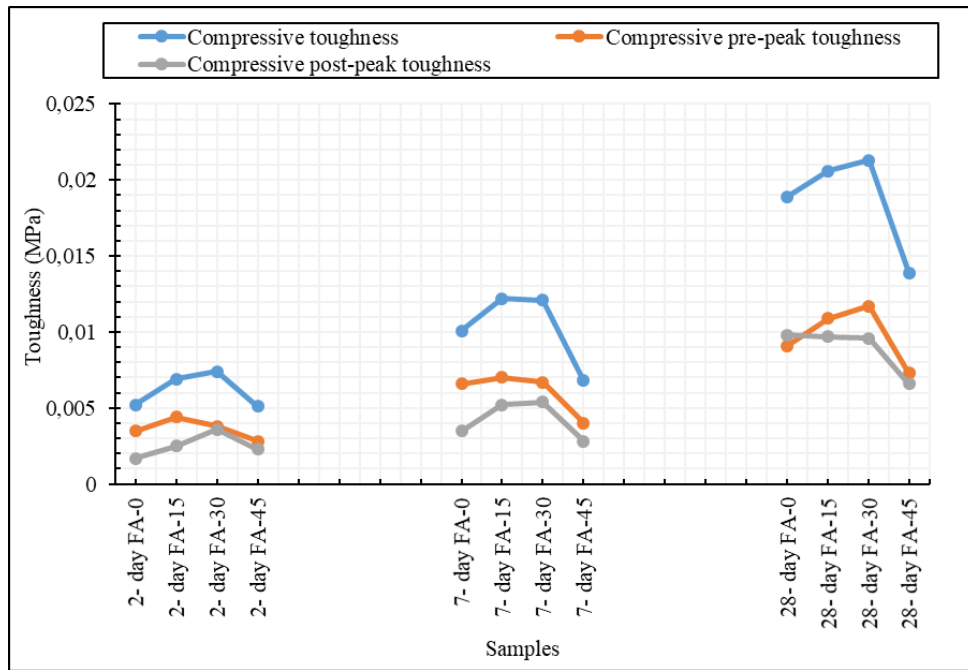
**Fig.3.** Stress – strain curves at 28- day samples.

As seen in the Fig.3, the use of WG led to an improvement in the compressive strength values of WG-incorporated samples up to a content of 45%. The increases in the strength values were 12.67% and 6.83% in the samples FA-15 and FA-30, respectively. The enhancement in the strength was probably related to the pozzolanic characteristics of WG particles. On the other hand, a rise at the content ratio from 30% to 45% resulted in a decrease and the reduction was 19.66 compared to WG-free sample. At this point, it is clear to state that the compressive strength is not positively affected by the WG content if the content was higher than 30% for all curing ages. The weaker bond mechanism between the OC paste and glass particles leads to a porous zone, and the increasing trend of porosity dominates the mechanical properties despite the pozzolanic characteristics of WG [9]. This mechanism also leads to a reduction in the strain capacity at the inclusion level of 45% and an improvement in the strain capacity is only achieved at the WG content of 30%.

In terms of strength and strain capacities, the inclusion level of 30% seems as the only content resulting greater mechanical properties for 2-, 7- and 28- day samples. Moreover, no strength or strain improvement was detected for higher substitution ratios. At this point, results clearly demonstrate that the inclusion level of 30% seems as the optimum content in WG-incorporated FA mortar mixtures.

### 3.4. Toughness properties in compression

Fig. 4 presents the development of toughness properties at 2-, 7- and 28- day FA samples.



**Fig.4.** Toughness properties of FA samples at 2-,7- and 28- day samples..

The development of toughness ability in cement-based samples is a vital issue in terms of the behavior of samples especially at early age [10]. As seen in the Fig.4, the use of WG can enhance the CT ability of FA samples at the early stage of hydration. At the age of 2 days, the improvement in toughness capacities were 32.69% and 42.3% in samples FA-15 and FA-30, respectively. In the same way, there were also a remarkably improvement in the post-peak CT capacities of the same samples at levels of 47.05% and 111.76%, respectively. On the other hand, the enhancement in the pre – peak CT capacity was lower. The increases in the pre- peak CT capacities were 25.71% and 8.57% in the samples FA-15 and FA-30, respectively. However, despite the improvement up to 35.29% in post – peak CT, no enhancement was detected in CT and pre-peak CT properties of FA-45 sample.

At 7 days of age, the development of toughness was quite similar in FA-15 and FA-30 samples. There were 19.6% and 18.62 increases in CT in comparison to WG-free sample. Moreover, the change in post – peak CT was more significant. Inclusion of WG in mixtures at content ratios of 15% and 30% contributed to the post – peak CT ability at levels of 48.57% and 54.28%, respectively. Hence, it can be said that the WG addition in FA mixtures increases the CT and post – peak CT of samples at early ages of hydration. Moreover, it is seen that replacement of sand with WG at a ratio of 45% does not positively affect the CT, even it reduces the CT and post – peak CT at levels of 33.33% and 20.0%, respectively. At this point, it is necessary to state that toughness was deeply influenced by the content ratio and the amount of WG used should be lower than the 45% of sand in terms of enhanced toughness ability.

The use of WG in FA mortar production also improved the CT development after 28 days of curing. However, the contribution of pozzolanic reactions to toughness capacities was slowed down between 7 and 28 days. While the increases in CT capacities of FA-15 and FA-30 samples were 8.99%, and 12.69%, the enhancement levels in pre – peak CT capacities were 19.78% and 28.57%, respectively. However, there was no apparent change in post – peak capacity at 28- day samples. In addition to 2- and 7- day results, the 28-day experimental results have demonstrated a detrimental effect of the 45% WG inclusion on the toughness capacities. Reductions of 26.45% and 32.65% were detected in CT and post- peak CT capacities of FA-45 sample compared to WG-free case due to the high WG content. At this point, it is worth to state that a maximum replacement level of 30% seems as the optimum WG content not only for strength but also for enhanced toughness ability.

## CONCLUSIONS

In this research, the effect of WG inclusion up to a content of 45% was investigated in FA mortar mixtures. The following conclusions can be drawn:

- The replacement of sand with WG at a content of 15% leads to a higher compressive strength both at 2-, 7- and 28- day samples due to the pozzolanic characteristics of WG.
- The partial replacement of sand by 30% by weight increases of 6.8% the compressive strength of mortars compared to WG-free case both at 2 and 28 days. No strength enhancement was detected at 7- day samples.
- A remarkable reduction up to 19.66% in the compressive strength of 45% WG – incorporated samples was detected after 2-, 7- and 28- days of curing.
- At the early age of hydration, mortars with 15% and 30% WG could show higher CT and post – peak CT up to 42.3% and 111.76%, respectively.
- While the replacement of sand with WG at levels of 15% and 30% leads to an enhanced CT both at 2-, 7- and 28- day samples, no improvement in CT properties was detected at the replacement level of 45% at 2-, 7- and 28- day samples.
- Compressive strength and toughness test results demonstrate that the optimum content of WG as a partial replacement of sand seems as 30%, by weight.

## REFERENCES

- [1] Ke, G., Li, W., Li, R., Li, Y., Wang, G. (2018). “Mitigation effect of waste glass powders on alkali–silica reaction (ASR) expansion in cementitious composite”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12, 1-14.
- [2] Baokuan, N., Jingwen, X., Sili, C. (2015). “Mechanical Properties and Solidified Mechanism of Tailings Mortar with Waste Glass”, *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, 30, 1240-1246.
- [3] Lu, J.-X., Zhan, B.-J., Duan, Z.-H., Poon, C. S. (2017). “Using glass powder to improve the durability of architectural mortar prepared with glass aggregates”, *Materials and Design*, 135, 102–111.
- [4] Tittarelli, F., Giosuè, C., Mobili, A. (2018). “Recycled Glass as Aggregate for Architectural Mortars”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12, 1-11.
- [5] Harbec, D., Zidol, A., Tagnit-Hamou, A., Gitzhofer, F. (2017). “Mechanical and durability properties of high performance glass fume concrete and mortars”, *Construction and Building Materials*, 134, 142–156.
- [6] TS EN 197-1, (2012). *Cement – part 1: composition, specification and conformity criteria for common cements*. Ankara: Turkish Standard Institution.
- [7] TSI, TS EN 196-1, (2009). *Methods of testing cement: Part 1. Determination of strength*. Ankara (Turkey): Turkish Standard Institute.
- [8] Bostanci, L. (2020). “Effect of waste glass powder addition on properties of alkali-activated silica fume mortars”, *Journal of Building Engineering*, 29, 101154.
- [9] Tan, K.H., Du, H. (2013). “Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties”, *Cement & Concrete Composites*, 35, 109–117.
- [10] Nehdi, M., Soliman, A. M. (2011). “Early-age properties of concrete: overview of fundamental concepts and state-of-the-art research”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 164, 57-77.

# Determination of Surface Properties of Towel Samples in KES-FB4 Surface Friction & Geometric Roughness Test Measurement Device

Gülşah Susurluk<sup>1</sup>, Yüksel İkiz<sup>2</sup>, Erkan Türker<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Textile Technology Department, Associate's Degree Vocational School, Beykent University, İstanbul, Turkey*

<sup>2</sup>*Faculty of Engineering, Textile Engineering Department, Pamukkale University, Denizli, Turkey*

<sup>3</sup>*Faculty of Engineering, Textile Engineering Department, Uşak University, Uşak, Turkey*

## Abstract

Achieving a value that objectively demonstrates the quality of a textile product has been a very important goal for researchers. Subjective and objective evaluations form the basis of the studies carried out on this subject. Sometimes the quality value of the textile product is digitized by combining the preferences of the experts and the users with the values obtained from the tests on the fabric.

Kawabata systems and machines are the most common and well-known in the evaluation of quality perception by objective method (KES-F System - Kawabata Evaluation System For Fabrics). The KES-F system is the first objective evaluation system designed based on Kawabata's research with the Hand Evaluation and Standardization Committee (HESC). In this study, surface properties of towel samples with the same fiber content (100% cotton) and different thickness values were measured by using the KES-FB4 System developed by Kawabata,

**Keywords:** towel, towel quality perception, surface properties, objective evaluation, KES-FB4 system.

## 1. INTRODUCTION

In fabric quality perception, the fabric is evaluated subjectively before examining the relationship between mechanical and surface properties. Subsequently, subjective identifiers (such as stiffness, smoothness, flexibility) used in subjective evaluations are objectively measured.

In general, although the evaluation of subjective identifiers, which are perceived as the subjective characteristic of the fabric, is a quick and useful type of quality control, the subjective structure of the fabric handle can lead to serious changes in the quality evaluation. Consumers not only use subjective evaluation techniques but also these techniques are used in textile production. As a result, the quality of the textile products or the inconsistency between the feeling of touch and consumer demand can lead to serious quality changes. In this case, an objective measurement of fabric handle is desired to provide more accurate quality comparisons between different fabric types and to achieve the same level of quality perception.

Although fabric comfort and fabric quality perception properties are generally evaluated according to subjective assessment methods, it has been proved in previous studies that there is a correlation between some physical properties of the fabric that can be measured objectively [1]-[7]. For this purpose; simple and advanced technology measurement systems (e.g. Kawabata Evaluation System) have been developed in which properties such as smoothness, softness, stiffness and thickness can be measured with numerical values, that closely concern fabric comfort and quality [1],[3],[7]-[16].

Objective evaluation; is to evaluate any subject, phenomenon or event according to statistics, available data and mathematical process. In recent years, with the development of objective measurement techniques, the importance of quality of towel fabrics has increased. Surface properties are also among the most important appearance and mechanical properties of towel fabric. As long as the perception of quality is reshaped over time, surface properties of towel fabrics will continue to attract researchers.



## 2. MATERIAL-METHOD

### 2.1. Material

The properties of 15 different towels for the analysis of the surface properties of towel fabrics are given in Table 1. The samples were cut to 10x10 cm in a laser machine. The analysis of the samples were carried out at the Institute of Technology Laboratory. KES-FB4 test measurement device is one of the Kawabata Evaluation System of Fabrics (KES-F) machine that used in the measurements in the KIT (Kyoto Institute of Technology) Laboratory in Japan. Standard atmospheric conditioning was carried out for the towel samples for 24 h with temperature  $20 \pm 2$  °C and relative humidity  $65 \pm 2\%$  before to the studies.

**Table 1. The properties of the towel samples**

Sample number	Fiber content	Yarn count (Ne)	Thickness (mm)	Pile height (mm)
1	100% Cotton	Pile: 16/1 Carded yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	4.94	5.45
2	100% Cotton	Pile: 16/1 Air core Ground: 10/1 Carded yarn Weft: 12/1 Open end	4.86	4.9
3	100% Cotton	Pile: 16/1 Combed yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	6.71	7.6
4	100% Cotton	Pile: 20/2 Carded yarn Ground: 24/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	6.15	5.25
5	100% Cotton	Pile: 20/2 Combed yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	4.87	4.5
6	100% Cotton	Pile: 16/1 Carded yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Open end	3.96	5.2
7	100% Cotton	Pile: 24/2 Carded yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	7.71	8.4
8	100% Cotton	Pile: 10/1 Open end Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Open end	6.17	5.62
9	100% Cotton	Pile: 12/1 Open end Ground: 20/2 Open end Weft: 14/1 Open end	6.61	6.55
10	100% Cotton	Pile: 20/2 Carded yarn Ground: 24/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	4.36	3.7
11	100% Cotton	Pile: 12/1 Open end Ground: 20/2 Open end Weft: 14/1 Open end	9.14	8.5
12	100% Cotton	Pile: 14/1 Combed yarn Ground: 20/2 Combed yarn Weft: 14/1 Combed yarn	6.28	6.66
13	100% Cotton	Pile: 20/2 Combed yarn Ground: 20/2 Carded yarn Weft: 16/1 Carded yarn	7.4	7.1
14	100% Cotton	Pile: 24/2 Carded yarn Ground: 24/2 Carded yarn Weft: 20/1 Open end	4.12	4.65
15	100% Cotton	Pile: 12/1 Combed yarn Ground: 20/2 Carded Weft: 16/1 Carded	8.96	7.85

## 2.2. Method

The KES-FB4 system is used to measure the surface properties of fabric samples. This system, which measures the surface properties of fabric samples, has a special design and simulates the human finger. The KES-FB4 test measuring device was developed to measure the friction coefficient (MIU), the mean deviation of the friction coefficient (MMD) and the geometric roughness (SMD). KES-FB4 Surface friction & geometric roughness tester and how the towel sample is placed on the device are shown in Figure 1, and the characteristic parameters obtained from this test measurement device are shown in Table 2.

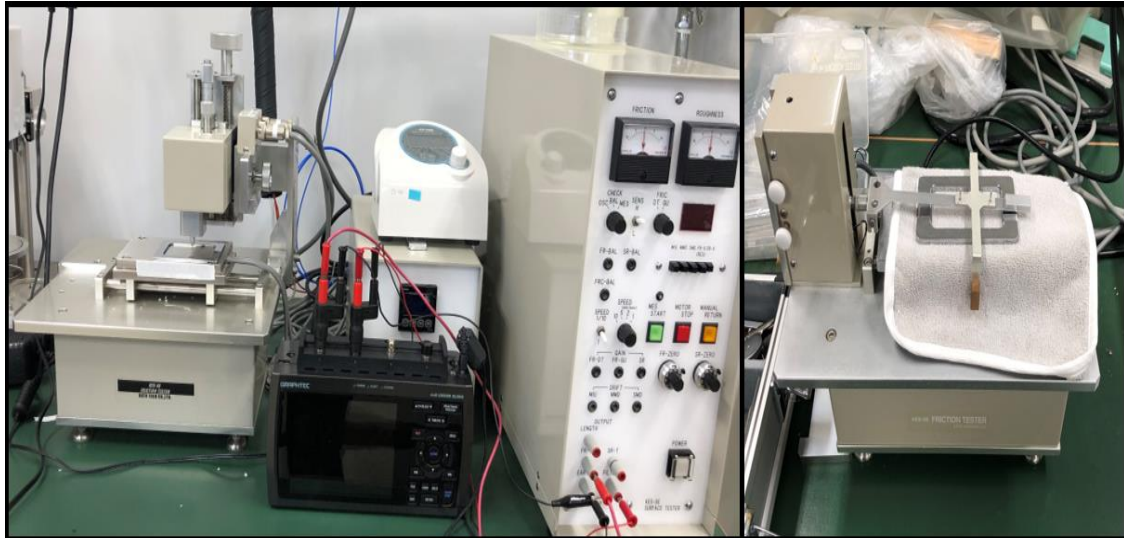


Figure 1. KES-FB4 Surface friction & geometric roughness test measuring device

**Table 2. Parameters used to define KES-FB4 surface friction & geometric roughness properties**

Parameter	Symbol	Unit
Average value of the friction coefficient	MIU	-
Average deviation of friction coefficient	MMD	-
Average deviation of surface roughness	SMD	Micron

\* MIU; It is the value between 0 and 1. High MIU value means high friction or strength.  
 \* A high SMD value means a geometrically rough surface.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The friction coefficient (MIU), the mean deviation of the friction coefficient (MMD) and the geometric roughness (SMD) values were measured in the KES-FB4 test measuring device used to measure the surface properties of towel samples. MIU and MMD measurement results measured from the front of the towel samples and the results of SMD measurement measured from both the front and back faces, taking into account the pattern and border features, are shown in Table 3. Measurements were made 3 times for MIU and MMD samples and their average values were calculated.

**Table 3. Surface properties test results of towel samples**

Sample Number	MIU	MMD	SMD ( $\mu\text{m}$ )
1	0.260001	0.007419	4.727733
2	0.352055	0.010086	5.763644
3	0.364827	0.007929	3.351175
4	0.347078	0.009374	7.8633
5	0.372623	0.010499	6.0175
6	0.317314	0.006332	5.56688
7	0.467686	0.013328	7.2853
8	0.316476	0.012362	7.270033
9	0.352556	0.00921	5.158733
10	0.227829	0.011038	8.9745
11	0.54383	0.007503	4.775566
12	0.438585	0.006877	4.15595
13	0.394776	0.016655	8.018233
14	0.360149	0.026572	9.117011
15	0.415732	0.010042	4.990111

#### 4. CONCLUSION

In this study, by measuring the surface properties of towel samples with the same fiber content and different thickness values, the effect of towel samples on both surface friction and geometric roughness was investigated. In the results obtained from the study, it was seen that both the thickness factor and the pile height were effective on the surface friction, but not the geometric roughness. It has been observed that the pile height value generally increases as the high friction resistance increases. As the resistance to friction increased, the roughness value generally decreased. It has been stated that the use of combed cotton yarn is particularly effective in reducing the geometric roughness value.

As a doctoral thesis, with this study, which is a part of the research conducted within the scope of "Determination and Development of Objective/Subjective Evaluation Criteria of Quality Perception in Towel Structures"; it is expected that by measuring the surface properties of terry fabrics in the KES-FB4 system, one of the most common and well-known Kawabata systems and machines in the evaluation of quality perception with the objective method, these properties will be useful in directing product development activities.

#### REFERENCES

- [1] Özçelik G, Süpüren G, Gülümser T, Tarakçıoğlu I. A study on subjective and objective evaluation of the handle properties of shirt fabric, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2008; 3(68), 56-62.
- [2] Chen Y, Collier B, Hu P, Quebedeaux D. Objective evaluation of fabric softness, *Textile Research Journal*, 2000; 70(5), 443-448.
- [3] Arık B, İkiz Y, Çalışkan M, Karaibrahimoğlu K. Gömleklik kumaşların tuşe özelliklerinin duyu analizi ve fiziksel test yöntemleriyle belirlenmesi ve aralarındaki ilişkinin değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2018; 24(7), 1262-1271.
- [4] Howorth WS, Oliver PH. The application of multiple factor analysis to the assessment of fabric handle, *Journal of the Textile Institute*, 1958; 49(11), 540-553.
- [5] Winakor G, Kim CJ, Wolens L. Fabric hand: tactile sensory assessment, *Textile Research Journal*, 1980; 50(10), 601-610.

- [6] Frydrych I, Matusiak M. Changes in fabric handle resulting from different fabric finishing, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2003; 11(2), 42-47.
- [7] Grinevičiūtė D, Gutauskas M. The comparison of methods for the evaluation of woven fabric hand, *Materials Science*, 2004; 10(1), 312-325.
- [8] Slater K. Subjective textile testing, *Journal Text. Inst.* 1997; 88(2); 79–91
- [9] Pan N. Quantification and evaluation of human tactile sense towards fabric, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 1(1), 48-60, 2007.
- [10] Sular V, Okur A. Sensory evaluation methods for tactile properties of fabrics, *Journal of Sensory Studies*, 2007; 22(1); 1–16.
- [11] Sular V, Okur A. Handle evaluation of men's suitings produced in Turkey, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(2), 61-68, 2008.
- [12] Kandzhikova GD, Germanova-Krasteva DS. Subjective evaluation of terry fabrics handle, *Journal of the Textile Institute*, 107(3), 355-363, 2016.
- [13] Singh JP, Behera BK, Matsudaira M. Objective evaluation of terry fabric hand, *Journal of the Textile Institute*, 105(5), 467-476, 2014.
- [14] Mahar TJ, Wang H, Postle R. A review of fabric tactile properties and their subjective assessment for next-to-skin knitted fabrics, *The Journal of the Textile Institute*, 104, 572-589, 2013.
- [15] An SK, Gam HJ, Cao H. Evaluating thermal and sensorial performance of organic cotton, bamboo-blended, and soybean-blended fabrics, *Clothing and Textiles Research Journal*, 31, 157-166, 2013.
- [16] Luible C, Varheenmaa M, Magnenat-Thalmann N, Meinander H. Subjective fabric evaluation, *International Conference on Cyberworlds*, 57, 285–291, 2007.

# Hidropolitik Açıdan Türkiye-Irak İlişkileri

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ<sup>1,\*</sup>, Ali Aabar AHMED<sup>2</sup>**

<sup>1,\*</sup> *İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, 24000 Erzincan, Türkiye, e-posta: yildirim.dalkilic@gmail.com*

<sup>2</sup> *Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, 24000 Erzincan, Türkiye, e-posta: aliabbar513@gmail.com*

## Özet

Küresel ısınma paralelinde Dünya sıcaklık ortalamaları sürekli artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak Dünya su kaynakları hızla azalmaktadır. Bu durum değişmediği sürece su azalan bir değer olarak karşımıza çıkacaktır. Su, özellikle ekvatorial bölgeye yakın bazı kuşaklar için yüksek sıcaklıklar nedeniyle çok ciddi bir sorundur.

Mevcut uluslararası hukuk kuralları bu sorunun çözümü ve suların paylaşımı konusunda yetersizdir. Konu hakkında ciddi yaptırımlar oluşmamıştır, bu durum ülkelerin suyun paylaşımı konusunda keyfi uygulamalara yönelmesine neden olmaktadır.

Bölge genel olarak değerlendirildiğinde su konusunda en zengin ülke Türkiye'dir. Komşu ülkeler Suriye ve Irak ise su konusunda Türkiye'ye bağımlı bir durumdadır. Sorun bu durumdan kaynaklanmaktadır. Türkiye suyun paylaşımı konusunda uluslararası antlaşmalarla kendisine tanınan hakları kullanmak istemektedir. Türkiye'nin bölgede sahip olduğu su kaynaklarının büyük çoğunluğu Doğu Anadolu'daki dağlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, Türkiye bu sular üzerinde güç sahibi olmak istemektedir. Ancak komşularına vermesi gereken miktarda suyun akışına da izin vererek hakkaniyet konusuna dikkat etmektedir. Bölgede inşa ettiği barajlar ile suyun düzenli akışını ve yetersiz olduğu dönemler için suyun depolanmasını amaçlamıştır. GAP projesi bölgede suyun paylaşımı konusunda etkin bir rol oynamaktadır.

Bu nedenle, Türkiye tarafından hem sınır komşuları hem de diğer Orta Doğu ülkelerine su satabilmek üzere projeler geliştirilmiştir. Ancak bu ülkelerin su konusunda Türkiye'ye bağımlı olmak istememeleri üzerine ürettikleri politik yaklaşımları bu projelerin geliştirilememesine neden olmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Hidropolitika, Türkiye, Irak

## Abstracts

World temperature averages are constantly increasing in parallel with global warming. As a natural result of this, World water resources are decreasing rapidly. Unless this situation changes, water will appear as a decreasing value. Water is a very serious problem due to high temperatures, especially for some generations close to the equatorial area.

The richest country in water when the overall evaluation of the region is Turkey. Neighboring countries are dependent on Turkey, Syria and Iraq is a case in water. The problem stems from this situation. Turkey wants to exercise the rights conferred on it by international treaties on the sharing of water. The vast majority of Turkey owned water resources in the region stems from the mountains in eastern Anatolia. Therefore, Turkey is willing to have power over these waters. However, it also pays attention to the issue of equity by allowing the flow of water to its neighbors. With the dams it has built in the region, it has aimed at the regular flow of water and the storage of water for periods when it is insufficient. The GAP project plays an active role in sharing water in the region.

In this country, both bordered by Turkey, both under the project to sell water to other Middle Eastern countries. However, this causes projects not to be developed.

**Keywords:** Hydropolitics, Turkey, Iraq

## 1.Bölgedeki Su Kaynakları

Su kıtlığının en çok hissedildiği yer olarak bilinen Orta Doğu'da su, petrolden daha kıymetli olup, insan hayatının temel ve en önemli yapı taşı teşkil etmektedir. Orta Doğu ülkeleri subtropik iklim kuşağında yer almaktadır. Dolayısıyla yıllık toplam yağışın en az %80' i buharlaşarak kaybolmakta, toprağa işleyen su miktarı insanların ihtiyaçlarını karşılamaktan uzak kalmaktadır. Bu nedenle su, Orta Doğu ülkelerinin en önemli ve hayati bir meselesini oluşturmaktadır (Ludwik,1978). Bazı ülkelerde su hesapsız ve israf ölçülerinde kullanılmaya devam edildikçe önümüzdeki 25-30 yıl içerisinde ciddi su krizleri yaşanacağı düşünülmektedir. Orta Doğu'daki hızlı nüfus artışı, tarımsal sulamalara daha fazla yönelme, yeraltı kaynaklarının uzun süre kullanımdan dolayı tükenmeye yüz tutması, bölgedeki birçok ülkeyi yakın gelecekte su yoksulu ülkeler safına sokacağı hesap edilmektedir. Nitekim Körfez savaşının sona ermesiyle bölgede su krizi ortaya çıkmıştır. Orta Doğu su krizi hiçbir ülkenin ve uluslararası kuruluşun içinden çıkamadığı stratejik bir oyun haline gelmiştir. Çözüm için sürdürülebilir istikrar politikaları ile yeni bürokratik yapılar gerekmektedir (Star,2001) (Yussif, 1983).

### 1.1.Irak Bölgesel Su Kaynakları

Irak'ta su kaynakları yerüstü, yeraltı suları olarak sınıflandırılırken, rezervuarlarda su depolama amacıyla kullanıldıkları için kaynak olarak değerlendirilebilmektedir. Mevsimsel nehirler, taşkınlar ve kuraklık, sulama dönemlerinde sorunlara neden olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmenin en iyi yollarından biri de baraj yapmaktır. Irak, elektrik üretmek, taşkın kontrolü, sulama ve şehirlere su sağlamak amacıyla barajlar inşa etmiştir. Dokan Barajı KBY sınırları içerisinde Süleymaniye vilayetindedir ve 1961 yılında sulama ve enerji amacıyla inşa edilmiştir. Kerkük'ün 75 km kuzeydoğusunda yer alan barajın talvegden yüksekliği 116 metredir ve normal su kotunda 6800 milyon metreküp göl hacmine sahiptir. Barajın üzerinde yer aldığı Küçük Zap Suyu İran'dan doğmaktadır. Samad ve binlerce çiftçi için önemli bir su kaynağı olan Küçük Zap Suyu, Dicle ile birleşmeden önce Kerkük'ten geçmektedir. Yağış oranının düşmesi Dokan Barajı'nda depolanan su miktarının düşmesine de neden olmuştur. Şubat 2011'de Dokan barajı su seviyesi bir önceki yıla kıyasla 6 metre düşmüştür. Dokan Barajı'ndan Kerkük su projesine ulaşan su miktarı normal dönemde saniyede 75 metreküpken, şimdi bu rakamın saniyede 30 metreküp olduğu ifade edilmektedir. Çiftçiler bu su miktarının içme suyu için bile yeterli olmadığını belirtmiştir (Kaika,2003).

Büyük Zap üzerinde Bakhma barajı ve Dicle Nehri üzerinde Badush barajı inşa edilen iki yeni barajdır. Ayrıca, Su Kaynakları Bakanlığı'na göre, 85.000 km uzunluğunda drenaj sistemi ve 43.000 km uzunluğunda sulama şebekesi geliştirilmektedir.29 Üçüncü Nehir veya diğer adlarıyla Saddam Nehri ve Masab Elam Kanalı, 1992 yılında inşa edilmiştir ve 565 km uzunluğunda olup saniyede 210metreküp debiye sahiptir. Bu kanalın amacı, su aktarma verimliliğini arttırmak, kayıpları ve toprağın suyu emmesini azaltmak ve su kalitesini arttırmaktır (Kallis,2001). 1,5 milyon hektar sulanan tarımsal alandan dönen sulanan alandan dönen suları da toplamaktadır. 1995 yılında yaklaşık 17 milyon ton tuz Üçüncü Nehir tarafından Körfez'e taşınmıştır. Bu kanal ile sulamadan dönen sular ana nehre karışmadan denize ulaşmaktadır (Bağış,2017) (Kaya,2020).



**Şekil 1: Irak Bölgesel Su Kaynakları (Hidropolitik akademi E. Tarihi:22,10,2019)**

Fırat ve Dicle nehirlerine kıyısı olan ülkelerin bu nehir akımları üzerinde gerçekleştirdikleri düzenlemelerin etkisi, Orta Irak'ta Fırat nehri üzerindeki Ramadi bağlamasının (regülatör, barrage) membaında bulunan Hit-Husaiba Akım Gözlem İstasyonunda gözlenen aylık akım değerlerinden izlenebilmektedir.

**1.1.1.Fırat Nehri**

Fırat akarsuyu, Erzurum'un kuzeyinde Dumlu Dağından doğan Karasu ve Van Gölünün Kuzeyinde Aladağ'dan doğan Murat suyu adlı iki büyük kolun birleşmesinden oluşur.110 Dicle nehrine ulaşımaya kadar uzunluğu yaklaşık 2330 km'dir. Büyük oranda Doğu Anadolu Bölgesindeki karla beslenen Fırat nehrine, Keban Barajı'nın altında iki önemli kol olan Tohma ve Göksu nehirleri katılmaktadır (Bilen,2000).

Dicle nehriyle Basra'nın yukarı kesiminde birleşerek Şatt-ül Arap nehrini oluşturarak Basra Körfezine dökülür. Karasu'dan itibaren Suriye sınırına kadar uzunluğu 971 km., Murat suyu kaynağından sınıra kadar uzunluğu 1263 km'dir. Ülkemizin en uzun nehri olması sebebiyle üzerinde yüksek kapasiteli baraj ve hidroelektrik santralleri mevcuttur.112 Fırat sadece GAP bölgesinin değil, aynı zamanda Türkiye'nin en geniş nehirlerinden biridir. Akaçlama havzası, Suriye sınırının üzerinden başlayarak 22.100 km<sup>2</sup>, GAP bölgesi sınırları dahilinde olmak üzere ise toplam 102.876 km<sup>2</sup>'dir (Zehir, 1998) (Kutan, 1996).

Fırat nehri, Türkiye'de ortalama 2 m/km düşüyle Cerablıs şehrinden Suriye topraklarına geçer. Fırat nehri Suriye toprakları içerisinde yol kat ederken sol sahilinden gelen iki koldan (Belih/Balık/Sincar ve Habur) beslenir. Suriye sınırları içinde Türkiye'den gelen Habur kolunu ve Sincar Suları ile Suriye ile Irak arasındaki sınırda yıllık 35 milyar m<sup>3</sup> 'lük bir potansiyele ulaşmaktadır. Kadim (El Kaim/Hasibe) şehrinden Irak topraklarına girer güneydoğuya doğru akmaya devam eder. Irak'ta çok düz bir eğime sahip olan Fırat nehri denizden yüksekliği sadece 53 m olan Ramadi 'deki alüvyonlu dev deltaya ve en kesiti büyük bir genişliğe ulaşır. Bu noktadan sonra nehir çöl bölgelerinden geçer ve bir dizi çöl çukuruna ve hem doğal hem de insan yapımı kanallara ayrılır. Fırat nehrinin akımları bu noktada çevrede bulunan çok geniş alanları etkilediğinden Felluce barajı ile Hindiye barajı arasında sol taraftan Dicle nehrine doğru birkaç kola ayrılır (en önemli kolları Seklaviyye, Abu-Garib, Yusufiyye, Latifiyye ve İskenderiyye kanallarıdır). Hindiye Barajı mansabında Fırat nehri iki kola ayrılır bunlar; Hille ve Hindiye kollarıdır. Hile nehri, Hille ve Divaniyye şehrinde geçerek güneye doğru yol alır ve Rumeyte şehrinde dar kesin olur. Hindiye kolu da iki kola ayrılır bunlar; Kufe ve Şamiyye kollarıdır. Bu kollar Şennafiyye şehrinde kavuşurlar ve tekrardan Atşan ve Sebil kollarına ayrılırlar. Semave şehrinin kuzeyinde tekrardan kavuşur ve daha sonra güneydoğuya doğru yol alır. Nehir suları Hasiviyye, Suk el-Şuyuk'tan geçerek Hammar bataklıklarına akar ve bu noktada beş küçük kola ayrılır bunlar; Akikiye, Beni Seat, Elheffar, Um Nekte ve Beni Hasan isimleri ile anılır. Fırat nehri ve kolları Kurna yakınlarında Kermet Ali'de Dicle nehri ile birleşerek Şatt-ül Arap suyunu oluşturur (Buteyna, 2014). Toplam yağış alanı 576.814 km<sup>2</sup> olan Fırat nehri havza alanının ve uzun süreli ortalama su potansiyelinin ülkelere göre dağılımı aşağıda özetlenmektedir. (Özdemir ve Öziş,2002).

(a) Türkiye'deki 121.787 km<sup>2</sup> (%21,1) yağış alanından 33,1 km<sup>3</sup> /yıl (%98,5);

(b) Suriye'deki 95.405 km<sup>2</sup> (%16,5) yağış alanından 0,5 km<sup>3</sup> /yıl (%1,5);

(c) Irak'taki 282.532 km<sup>2</sup> (%49,0) yağış alanından 0,0 km<sup>3</sup> /yıl (%0,0) akış geldiği;

(d) Suudi Arabistan'daki 77.090 km<sup>2</sup> (%13,4) yağış alanından kayda değer akış gelmediği; kabul edilerek havzanın ortalama su potansiyeli toplam 33,6 milyar m<sup>3</sup> /yıl olarak belirlenmektedir. Fırat nehrinin Türkiye'deki su potansiyeli dikkate alındığında,

Türkiye'de bölgedeki yerleşim ve sanayinin su ihtiyacı karşılanabilecektir. Fırat nehri suları ile Türkiye'de 1.600.000 ha, Suriye'de 800.000 ha tarımsal alan sulanabilecektir (Kolars, 1991).

**Tablo 1: Fırat nehir sisteminde tam kalkınma durumunda su bütçesi özeti (km<sup>3</sup>/yıl).**

FIRAT	Altınbilek	Kolars	Kliot	US	Belül 1996
	FIRAT	FIRAT	FIRATT	FIRAT	FIRAT

Irak'a giren su miktarı	13.48	6.559	4	6.9	11.7
Irak tarafından çekilen su	-15.5	-13	-16	-17.6	-19

### 1.1.2. Dicle Nehri

Türkiye topraklarında yaklaşık 523 km akış uzunluğu olan Dicle Nehri, Batı Asya'nın en büyük ikinci nehridir. Dicle nehri, Türkiye'nin doğusunda yer alan Hazar Gölü (Elâzığ) yakınında 1150 m rakımından, Güneydoğu Toroslarda Maden Dağları kesiminde, Hazar Baba Dağı'nın güney tarafında, Yıldızhan yakınındaki bir kaynaktan çıkmakta ve Fırat Nehri ile birleşinceye kadar yaklaşık 1900 km yol kat etmektedir (Bilen, 1996). Dicle Nehri ana su kaynaklarını Doğu Anadolu dağlarından ve dipten sızma yoluyla Elâzığ yakınlarındaki Hazar (Gölcük) gölünden gelen sular oluşturur. Kaynaktan çıktıktan sonra Maden ilçesi yakınından geçerek, Maden Çayı adını alır ve güneydoğuya doğru dar ve derin vadilerden geçerek Diyarbakır şehrinin bulunduğu lav sahanlığının doğu kesimine paralel akar. Bu kesimde nehir vadisinin tabanı 600 m'ye kadar düşmektedir.

Nehir Diyarbakır'ın güneyinde takriben 8 km uzaklıkta doğuya doğru yönelmektedir. Bundan sonra kuzeyden Toros Dağları yamaçlarından inen ve en önemlileri Diyarbakır havzasından doğan Anbarçayı, Kuruçay, Pamukçayı, olmak üzere Hazroçayı, Batman ve Garzan derelerinden gelen suları toplamaktadır. Güneyden ve Mardin eşliğinden inen sel yatakları Göksu ve Savur Çayı da Dicle nehrine katılmaktadır. Raman Dağının güney eteklerinde dar boğazlardan geçerek Botan Suyu ile birleşmekte ve onun doğrultusunda tekrar güneye dönmektedir (Toklu, 1999) (BEAUMONT,1992).

Irak sınırından Musul'a kadar nehir her iki tarafında inişli çıkışlı tepelerle sınırlanmış ve Musul bölgesinde bulunan derin bir vadiye hapsolmüştür. Irak, Dicle nehri su potansiyeline önemli ölçüde katkı yapan akarsu kollarına sahiptir. Dicle nehri Kurna'da Fırat nehri ile birleşir. Bu noktadan sonra yaklaşık 1 km genişliğinde ve 190 km uzunluğunda su yolu meydana gelir ki bu su yolu Şatt-ül Arap adı ile anılır. Toplam yağış alanı 371.561 km<sup>2</sup> olan Dicle nehrinin uzun süreli ortalama su potansiyeli:

- (a) Türkiye'deki 53.052 km<sup>2</sup> (%14,3) yağış alanından 27,2 km<sup>3</sup> /yıl (%53,4);
- (b) Suriye'deki 948 km<sup>2</sup> (%0,2) yağış alanından 0,0 km<sup>3</sup> /yıl (%0,0);
- (c) İran'daki 175.386 km<sup>2</sup> (%47,2) yağış alanından 3,0 km<sup>3</sup> /yıl (%40,7);
- (d) Irak'taki 142.175 km<sup>2</sup> (%38,3) yağış alanından 20,7 km<sup>3</sup> /yıl (%21,1); akış geldiği hesaplanarak, 58 km<sup>3</sup> /yıl olarak belirlenmiştir (Özdemir, 2002) (Demirci,1996).

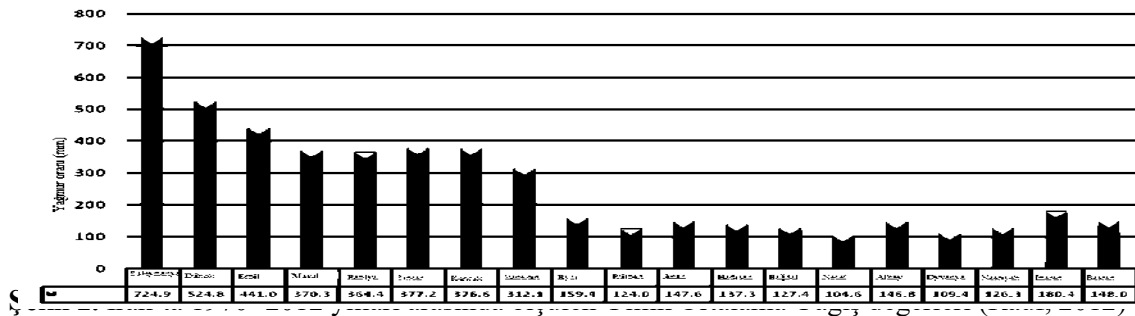
Dicle'nin su potansiyeli dikkate alındığında, bölgedeki yerleşim ve sanayinin su ihtiyacının ötesinde, Türkiye'de 650.000 ha, Irak'ta 3.500.000 ha (bir bölümü Fırat boyunca olmak üzere) tarımsal arazinin sulanabileceği öngörülmektedir. İran'da doğan Küçük Zap ve Diyala nehirleri Dicle nehri su potansiyeline, Karun nehri ise Shatt-ül-Arap su potansiyeline katkı sağlamakta olduğundan, İran Fırat-Dicle sisteminin tümüne kıyısı olan ülke konumundadır. Ayrıca Kharkeh nehri İran'dan çıkarak Güney Irak'ın bataklıklarına akmaktadır. Irak'ta Musul Barajı mansabında Dicle nehri akımlarının 1960-2012 yılları arasında aylık ortalama ölçümleri Şekil 3'te verilmektedir. Nehir üzerine yapılan ve işletmeye açılan barajların etkisi özellikle 2000 yılı sonrasında açıkça görülmektedir.

**Tablo 2:** Dicle nehir sisteminde tam kalkınma durumunda su bütçesi özeti (km<sup>3</sup>/yıl).

DİCLE	Altınbilek	Kolars	Kliot	US Corps	Belül
	DİCLE	DİCLE	DİCLE	DİCLE	DİCLE
Irak'a giren su miktarı	10.87	11.8	11.3	11.8	11.5
Irak'ta katılan su miktarı	30.7	30.7	31.7	30.7	31.0
Irak tarafından çekilen su miktarı	-31.9	-33.4	-40.0	-32.8	-33.5

Irak, Şekil 2. de görüldüğü gibi genellikle Kuzey Irak, Orta Irak ve Güney Irak olarak incelenmektedir. Aşağıdaki tablolarda (Tablo 3, Tablo 4, Tablo5) bu bölgelerde bulunan meteoroloji istasyonlarında 1970-2012 yılları arasında ölçülen yıllık yağış miktarları verilmektedir. Bu tablolar incelendiğinde ölçülen en az yağış miktarı Necef istasyonunda 1972- 1973 su yılında 23,8 mm (uzun yıllık ortalama 104,6 mm) olarak, en fazla yağış miktarı ise Süleymaniye istasyonunda 1991-1992 su yılında 1245,8 mm (uzun yıllık ortalama 724.9 mm) olarak gözlemlenmiştir.





## 1.2. Irak'ın Su Kaynaklarından Yaralanma Şekilleri

**Tablo 3.** Kuzey Irak'ta bulunan meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağış miktarının (mm) 1970-2012 yılları arasındaki ortalama değerleri (Rauf, 2012).

Ortalama	Süleymaniye	Dühok	Erbil	Musul	Rabiya	Sincar	Kerkü
	724.9	547.8	441.0	370.3	364.4	377.2	376.6

**Tablo 4.** Orta Irak'ta bulunan meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağış miktarının (mm) 1970-2012 yılları arasındaki ortalama değerleri (Rauf, 2012).

Ortalama Yağış	Kaneki	Byci	Rütbeh	Aneh	Hadisah	Bağdat
	312.1	195.4	124.0	147.6	137.6	127.4

**Tablo 5.** Güney Irak'ta bulunan meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağış miktarının (mm) 1970-2012 yılları arasındaki ortalama değerleri (Rauf, 2012).

Ortalama Yağış	Necef	Alhey	Dyvanya	Nasriyeh	İmareh	Basrah
	104.6	109.4	146.8	126.3	180.4	148.0

**Tablo 6:** 2013 Yılı Belirli İstasyonlara Göre ve Ay Ay Düşen Yağmur Miktarı. Bina rehabilitasyonu nedeniyle (0.1 mm) 'den daha az yağış. Genel ortalama dönem (1940-2013). Ata rehabilitasyonu nedeniyle Basrah istasyonu toplam e aylık toplam oranı (Ağustos- Aralık).(Irak Meteoroloji Örgütü ve Sismoloji.)

Month	Zakho	Dohouk	Jamjamal	AL-Sulaimaniya	Salah Al-Deen resort	Erbil	Basrah *	Rutba	Baghdad	Mosul	Month				
	Rainfall quantity	Rainfall quantity	Rainfall quantity	Rainfall quantity	Rainfall quantity	Rainfall quantity	General Rainfall Ave.	General Rainfall quantity	General Rainfall Ave.	General Rainfall quantity		General Rainfall Ave.	General Rainfall quantity		
January	234.6	306.4	166.2	171.5	118.9	174.4	28.5	6.1	14.2	14.2	26.3	70.8	65.4	151.8	كانون الثاني
February	92.2	100.0	58.2	54.4	103.0	55.8	17.3	0.4	17.2	4.4	21.1	4.9	62.3	69.9	شباط
March	54.0	47.4	9.4	15.0	34.1	17.7	19.6	1.6	16.6	5.4	20.9	TR.	63.2	35.9	آذار
April	46.5	26.7	13.6	22.1	30.6	37.4	15.8	TR.	15.6	1.4	18.1	TR.	47.1	33.3	نيسان
May	48.6	28.4	20.2	30.3	34.4	40.6	5.4	40.2	9.4	13.9	5.5	23.4	18.8	24.3	أيار
June	8.5	0.5	0.0	0.0	15.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.9	0.0	حزيران
July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	تموز
August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	..	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	آب
September	2.4	2.2	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	..	0.5	0.0	0.2	0.0	0.5	0.4	أيلول
October	0.0	0.5	0.0	0.5	6.1	0.2	3.6	..	8.9	0.0	3.8	4.0	10.9	TR.	تشرين الأول
November	148.9	129.1	103.0	166.4	64.9	19.1	19.4	..	15.0	48.0	17.2	172.7	40.4	48.7	تشرين الثاني
December	..	..	..	..	..	..	28.4	..	16.1	47.9	21.6	20.9	61.2	91.2	كانون الأول
Total average **	635.7	641.2	370.6	460.2	409.6	345.2	138.3	..	113.6	135.2	134.6	296.7	370.8	455.5	** إجمالي

**Tablo7:** 2014 Yılı Belirli İstasyonlara Göre ve Ay Ay Düşen Yağmur Miktarı. Bina rehabilitasyonu nedeniyle (0.1 mm) 'den daha az yağış. Genel ortalama dönem (1940-2014). Ata rehabilitasyonu nedeniyle Basrah istasyonu toplam e aylık toplam oranı (Ağustos- Aralık). (Irak Meteoroloji Örgütü ve Sismoloji.)

	Zakho	Dohuk	Jamjalal	AL- Sulaimaniya	Salah Al- Deen resort	Erbil	Basrah	Rutba	Baghdad					
	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار Rainfall quantity	كمية الأمطار المعدل العام General Ave. quantity	كمية الأمطار المعدل العام General Ave. quantity	كمية الأمطار المعدل العام General Ave. quantity	كمية الأمطار المعدل العام General Ave. quantity				
January	168.2	..	98.0	..	74.9	28.2	..	14.1	19.4	26.1	35.8	64.2	36.9	كانون الثاني
February	8.2	..	12.0	..	8.2	16.8	..	17.3	10.3	20.7	6.8	61.6	4.0	شباط
March	134.5	..	174.8	..	93.4	19.7	..	17.0	36.5	22.1	23.6	64.0	94.0	آذار
April	22.1	..	56.9	..	14.7	16.0	..	15.5	5.2	19.8	14.3	46.4	14.2	نيسان
May	0.0	..	0.0	..	0.0	5.5	..	9.9	34.1	7.6	TR.	18.8	4.5	أيار
June	0.0	..	0.0	..	0.0	0.1	..	0.1	0.0	0.1	TR.	0.9	..	حزيران
July	0.0	..	0.0	..	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	..	تموز
August	0.3	..	0.0	..	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	..	آب
September	2.5	..	0.0	..	0.0	0.0	0.0	0.5	..	0.2	0.0	0.5	..	أيلول
October	111.9	..	64.4	..	68.7	3.6	0.0	8.8	..	5.2	4.6	10.6	..	تشرين الأول
November	153.5	..	153.0	..	69.2	19.0	60.0	14.9	..	19.0	18.5	40.5	..	تشرين الثاني
December	75.9	..	118.3	..	56.0	28.4	0.5	16.2	..	21.8	3.9	61.3	..	كانون الأول
Total average **	677.1	..	677.4	..	385.2	137.4	..	114.3	..	142.6	107.5	368.9	..	اجمالي *

### 1.2.1. GAP'ın Gelişim Süreci ve Temel Stratejileri

Fırat ve Dicle Havzası projeleri gerçekleştirildiğinde 1.637.549 hektar alan sulanacak, 7476 elektrik enerjisi kapasitesi elde edilecek ve 27 milyar kWh yıllık elektrik üretilebilecektir.

GAP'ın enerji projelerinin yüzde 59'u işletmede olup, yüzde 15'inin inşaatı devam etmektedir. Türkiye enterkonnekte sistemine giren enerjinin önemli bir bölümünü üretmekte olan Karakaya ve Atatürk Barajları hidroelektrik santrallerinden 1998 yılı sonu itibariyle yaklaşık 145.6 Milyar Kwh, Mayıs 1999 itibariyle de toplam 151 Milyar Kwh enerji elde edilmiştir 1998 yılı itibariyle GAP'ta üretilen yaklaşık 20 Milyar Kwh'lık enerji, Türkiye genelinde üretilen 42.2 Milyar Kwh'lık enerjinin yüzde 47,4'ünü oluşturmaktadır. Aynı dönemde Türkiye'nin 68.7 Milyar Kwh'lık toplam enerji üretimi içinde GAP'ın payı %18 olmuştur (Forum,1999) (Sepetçioğlu,2020).

GAP Türkiye'de veya gelişmekte olan ülkelerde teşebbüs edilen en ayrıntılı entegre bölgesel gelişme projesidir. Projenin toplam maliyeti 32 milyar \$ olarak hesaplanmakta, bunun 12,6 milyar \$'ı Temmuz 1997 sonu itibariyle daha önceden projeye harcanmıştır. Barajların inşası, hidro enerji tesisleri ve sulama şebekeleri devam etmektedir. Proje, tamamlandığı zaman, her yıl 27 milyar Kw/s elektrik üretecektir. GAP projelerinden 1997'de üretilen hidroelektrik enerji, 19,4 milyar Kw/s.'tir. 154 080 hektardan fazla arazi şimdi sulanmaktadır ve diğer 200 000 hektar arazinin sulanması için bu günlerde hazırlık çalışmaları başlatılmıştır (Ünver,1999)

GAP bölge kalkınma dairesinin en son verilerine göre GAP'a 32 milyar dolar kamu harcaması yapılması planlanmış, proje için şimdiye kadar 13 milyar dolar harcama yapılmıştır. Yatırım programında yer alan (devam eden) ve GAP'ın başlıca projeleri olan sulama, enerji ve içme suyu projelerinin toplam yatırım tutarı Türk lirası cinsinden yaklaşık 29 Milyar liradır. Bu projelere 1997 yılı sonu itibariyle 12 Milyar lira harcanmış olup, 1998 yılında 858 Milyon lira ödenek tahsis edilmiştir. Yatırımların gerçekleşme oranı yüzde 42,8'dir.

### 1.2.2.GAP'ın Irak'a Etkileri

Güneydoğu Anadolu Projesinin yapılmasının bir diğer nedeni ise, yıl içerisinde düzensiz bir akım sergileyen Fırat ve Dicle Nehirlerinin akımlarının barajlar vasıtasıyla düzenlenerek, ihtiyaçlara uydurulmasını sağlamaktır. Bu nedenle Güneydoğu Anadolu Projesi diğer amaçlarının yanında Fırat ve Dicle Nehirlerinin akımlarını düzenlemek ve değerlendirmek için yapılmaya başlanmış başarılı bir

projedir. Bu proje ile nehirlerin akışları yaz ve kış aylarında düzenlenmiş olacağından, Türkiye kadar Irak'a da fayda sağlayacaktır.

Su taşkınlarından Irak'ın korunması için taşkın zamanlarını Irak'a bildirmek üzere 1946 yılında Türkiye-İrak arasında "Dostluk İyi Komşuluk" anlaşması imzalanmıştır. Türkiye Fırat Nehri üzerinde yaptığı Keban, Karakaya ve Atatürk barajlarıyla suların ani yükselip alçalmasını önleyerek, nehrin debisini düzenlemektedir. Bu barajların yapılmasıyla Suriye ve Irak halkı sel felaketlerinin tahribatından kurtulmuştur (Tiryaki,1994).

İrak'ta Fırat ve Dicle nehirlerini çevreleyen ovalar, su seviyelerinin artması ile taşkın alanları haline dönüşmektedir. Basra Körfezi yakınlarındaki göl ve ıslak alanlar kurak mevsimde 8.288 km<sup>2</sup>'ye kadar küçülürken, ilkbahar taşkınlarında 28.490 km<sup>2</sup>'ye kadar artmaktadır.

Türkiye tarafından yapılan ve sonuçta Irak ve Suriye'nin menfaatine olan çalışmalara taraflı yaklaşım sergilendiğinin örneği N. Beschomer tarafından kaleme alınan Su ve Orta Doğu'da istikrarsızlık başlıklı yayında "Akımların düzenlenmesi hidrolojik yönden faydalı fakat politik yönden geçersizdir" şeklinde kaleme alınmıştır (Bilen,2000)

Barajlarla suyun akışını düzenlemek sadece Türkiye'nin çıkarına olmayıp, komşu ülkeler Suriye ve Irak'ın su ihtiyaçlarına da katkıda bulunmaktadır. Barajların varlığı Türkiye'ye komşularına yıl boyunca düzenli olarak saniyede 500 metreküp su sağlamasına imkân vermektedir. 1989, 1990 ve 1991 yazlarında art arda gelen kuraklıkta da bu böyle olmuştur. Bu sürekli su akışından başlıca yararlananların, kuraklığın ağır sonuçlarından etkilenmeyen Suriye ve Irak olduğu açıkça bellidir. Ancak öyle görünüyor ki, Suriye ve Iraklılar suyun düzensiz akmasını, Türk tarafından denetlenmesine tercih etmektedirler.

GAP projesinin Irak üzerindeki en önemli olumsuz etkileri:

Bu proje Dicle ve Fırat nehirlerinin suyu için büyük bir tehlike oluşturmaktadır, çünkü Dicle suyu azalacaktır. Türkiye'den 17 milyar metreküpten 5,13 milyar metreküpe çıkan Fırat suyu azalacak, Suriye ve Irak'a (5,28-5,32) ile (11-5,13) milyar metreküp arasında su gelecektir.

İrak'a akan su hacmindeki eksiklik, geri kalan iyi toprakların kullanımını engelleyecektir.

Fırat Nehri boyunca dağıtılan (6) milyondan fazla Iraklı, su kıtlığı çekecek ve (3) milyondan fazla verimli tarım arazisinden etkilenecektir.

İrak-Türkiye ekonomik ilişkilerinin Irak'tan ihraç edilen petrole bağlı olduğunu belirtiyoruz. Benzin genellikle Irak'a satılmaktadır. Ekonomik ilişkilerin kurulması Ceyhan petrol hattı ve Türkiye'nin rafine etmesi, iki ülke arasında sağlam bir değişim, uluslararası yasalara uygun olarak tahsis edilen su payına uyulmasını gerektirir.

Uluslararası nehirlerin seyri ve iki ülke arasındaki ihracat ve ithalat arasında bir denge olması. Türk su projeleri ekonomik ve kalkınma yönleriyle sınırlı olmayıp güvenlik boyutlarına sahiptir. Buda tüm Irak'taki kalkınma planlarını tehdit etmek için bir baskı aracı kullandığından Suriye ile politikte anlaşılabilir değildir.

### 1.2.3.GAP'ın Sonuçları

GAP, Güney Doğu Anadolu Bölgesi için çok önemli bir fırsattır. Proje, sosyal ve ekonomik göstergelerin ilerlemesi üzerinde yoğunlaşan, dengeli bölgesel gelişimi başarmak için Türk Hükümetlerinin kararlılığını yansıtır.

Bilinen ve gözlenen o ki GAP, Türkiye'nin aşağı komşuları Suriye ve Irak'ta Fırat ve Dicle Nehirlerinin akışında bir azalmaya sebep olacağı ve bunun bu ülkelerin tarımsal ve enerji projelerine zarar vereceği konusunda derin bir endişeye sebep olmuştur. GAP'ın hidropolitik aşamaları, Arap medyasında bölgedeki dengelere bir tehdit olarak vasıflandırılmış ve bu Atatürk Barajının inşasıyla doruk noktaya ulaşmış, saldırgan bir hareket olarak verilmiştir. Bunların ötesinde Türkiye'nin GAP işlemleri çerçevesindeki düşünceleri, aşağı komşuları tarafından saldırgan olarak algılanmıştır (Bağış,2017).

GAP'ın, önemli sonuçları şöyle özetlenebilir. Bunların birincisi, Proje ile Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ve Irak'ın kuzey kesiminde toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesi sonucunda ekonomik ve sosyal faaliyetler hızla artacaktır. Sulu tarım yapılmaya başlanmasıyla birlikte tarım sektöründe büyük miktarda üretim artışı beklenmektedir. Tarımsal üretimde ortaya çıkacak bu değişiklik tarım dışı sektörü etkileyecektir. Tarım ve tarım dışı sektörlerin gelişmesiyle dış ticaret ve hizmet

kesiminde de gelişmeler olacak, yeni ihracat imkanları ortaya çıkacaktır (Gökçen,1989).

Projenin ikinci önemli sonucu sosyolojiktir. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ve Irak'ın kuzey kesiminde milli bütünleşme istenen seviyede değildir. GAP bitiminde sulu tarıma açılacak alanlarda yapılacak toprak reformuyla merkez köyler oluşacak, insanların merkezi yerlere yerleşmesi sağlanacaktır. Merkez köylerde tesis edilecek küçük sanayi kuruluşları, okullaşma, sağlık tesisleri ve atölyeler, zirai sanayi türünün doğmasını temin edecektir. Köylüler meslekleriyle uğraşırken aynı zamanda sosyal tesislerden, iletişim imkanlarından yararlanmak suretiyle bilgi ve görgülerini arttıracaktır (Türkdoğan,1989).

Irak'ın, Suriye sınırından Şatt-ül Arap Nehrine kadar Fırat Havzası üzerinde toplam 1.952.000 hektar genişliğinde 32 sulama projesi bulunmaktadır. Bu projelerin bir kısmı inşa edilmiştir. Diğerlerinin inşası savaş nedeniyle durmuştur. Irak, Fırat Nehri üzerinde Rawa, Hadita, Harbaniye, Ramadi, Darbandıkan, Dohan, Saddam ve Şamara barajlarını yapmıştır. Bu barajları, sulama, elektrik enerjisi üretimi ve içme suyu temin etmek amacıyla planlamıştır.

Dicle ile Fırat Nehri'nin birleşmesiyle oluşan Şatt-ül Arap Nehri vasıtasıyla Irak 105.000 hektar alanı sulamaktadır. Irak, Fırat Nehri ile Dicle Nehri'ni birleştirmiş suni bir Saddam Nehri inşa ederek iki nehri daha verimli kullanmayı başarmıştır (Dellapenna,1996).

Irak kendi toprakları içerisinde Dicle Nehri üzerinde kurduğu Saddam, Bekme, Dokan ve Darbandıkan Barajları sayesinde ülkesinin doğu ve kuzey kesimindeki zirai amaçlı su ihtiyacını ve enerji gereksinimini karşılamaktadır.

Irak'ta suni olarak Saddam Nehri yapılmıştır. Dicle ve Fırat Nehirleri birleştirilerek, Dicle'nin Irak topraklarında kullanımı genişletilmiştir. Saddam Nehri tam olarak bittiğinde 6 Milyon dönüm arazi tarıma elverişli hale gelecektir. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Projesi Çerçevesinde Dicle Nehri üzerinde yaptığı barajlarla düzensiz olarak akan bu nehir suları düzene kavuşturulacaktır. Böylelikle ilk ve sonbaharda artan yağışlar nedeniyle tarım alanları zarar gören Irak da bu projeden faydalanacaktır (Dellapenna,1996).

## **2. Hidropolitik Yaklaşımlar ve Çatışma Potansiyelleri**

### **2.1. Hidropolitik Yaklaşımlar**

#### **2.1.1. Türkiye'nin Yaklaşımı**

Türkiye, Fırat ve Dicle Nehirlerini Suriye ve Irak tarafından iddia edildiği gibi "Uluslararası akarsular" olarak değil, "Sınır aşan akarsular" olarak kabul etmektedir. Bu nedenle Türkiye'ye göre suya kaynaklık eden ülkeler ile aktığı ülkeler arasında eşit egemenlik ve eşit paylaşımdan söz etmek mümkün değildir. Bir başka deyişle Fırat ve Dicle Nehirleri paylaşılabilir doğal kaynak olarak düşünülmemelidir. Palandöken Dağları'na yağın kardan beslenen bu nehirlerin suları öncelikle Türkiye'ye aittir. Fırat ve Dicle Nehirleri egemen kaynaklardır. Türkiye yeraltı ve yer üstü kaynakları üzerinde serbestçe tasarrufta bulunma hakkına sahiptir. Uluslararası Hukukta söz konusu nehirlerin suları üzerine Türkiye'nin egemenlik hakkını kısıtlayıcı bir kural yoktur. Dicle ve Fırat egemen kaynaklar olup kendi sınırları içerisinde kalan kesimleri üzerinde Türkiye uygun gördüğü şekilde faydalanma hakkına sahiptir. Dicle ve Fırat Nehirleri üzerinde kuracağı tesisler ile bunların önceliklerine Türkiye kendisi karar verir.

Fırat ve Dicle Nehirleri, bir havzayı oluşturan nehirler olarak birlikte ele alınmalı, tek bir sınır aşan su sistemi veya müşterek bir havza olarak değerlendirilmelidir. Tarafların bütün bölgesel su kaynaklarının ortak envanteri çıkarılmalı, havzada tarıma elverişli topraklar gözden geçirilerek sınıflandırılmalıdır. Arazi kullanımı ile ürün desenine bağlı olarak havzanın ortak toplam su tüketim ihtiyacı belirlenmelidir. Havzanın su ve toprak kaynaklarının birlikte değerlendirilmesiyle hangi tarımsal projelerin nerelerde ve hangi sulama koşullarıyla en rasyonel biçimde uygulanabileceği tespit edilmelidir. Ortaya konan verilerin ışığında her ülkenin su ihtiyacı belirlenmeli, su kaybını en aza indirecek tedbirler alınmalıdır (Dış İşleri Bakanlığı Bülteni,2018).

Türkiye'nin bu önerisi özellikle Irak tarafından Fırat'taki su talebini büyük oranda engelleyeceği gerekçesiyle reddedilmiştir. Su meselesinin çözümüne ilişkin uluslararası ilke ve kurallara uygun olarak hazırlanan bu yaklaşımının kabul görmemiş olması, sorunun çözümü yolunda mesafe alınmasını engellemektedir. Konunun siyasi bir konu olmadığı, teknik bir konu olduğu ve bu nedenle ilgili ülkelerin müşterek teknik çalışmalarının gerektiği bilinmelidir. Meteorolojik, hidrolojik ve toprak ile ilgili ortak

teknik çalışmaların, çıkış noktası olarak ele alınması gerekmektedir. Ayrılcı terör örgütlerini destekleyerek Türkiye üzerinde baskı kurulmaya çalışılmamalı, Güneydoğu Anadolu projesini önlemeye veya geciktirmeye yönelik çaba ve girişimlere son verilmelidir.

Türkiye, ilgili ülkelerin karşılıklı iyi niyeti ve iş birliği ile sorunun çözümlenebileceğini ve bu suretle suların akılcı, adil ve optimum bir şekilde kullanılmasının mümkün olabileceğini kabul etmektedir. Türkiye, Körfezin sürekli sıcak olmasından dolayı Kerkük-Yumurtalık petrol boru hattından yeterli gelir elde edememektedir. Türkiye'nin bu durumdan dolayı uzun yıllardır ciddi manada maddi kaybı olmuştur. Ekonomik sıkıntının son haddine ulaştığı bu günlerde Türkiye'nin bu gelirden faydalanamaması hiç de iç açıcı değildir. 1991 yılı Körfez Harekati'ndan sonra Fransa ve Rusya ekonomik ve politik gerekçeleri ile BM ambargosunu delmişlerdir.

Temmuz 2001 itibariyle Türkiye-Irak arasında imzalanan doğal gaz antlaşması hem Türkiye'nin yakın komşusu ile yaptığı ekonomik anlaşma hem de siyasal yakınlaşmaya zemin oluşturması açısından önemlidir. Öte yandan Kuzey Irak'taki otorite boşluğu, Irak'ın olduğu kadar Türkiye'nin de toprak bütünlüğünü tehdit etmektedir. Bu bölgede çeşitli ülkelerin gizli servislerinin gerek Türkiye ve gerek Irak aleyhine çalışmalar yaptıkları bilinmektedir (Bağış,2017). Kendisini toparlaması halinde Irak, Suriye terörüne karşı Türkiye için son derece önemlidir. Türkiye'nin bu ülke ile ekonomik ve siyasal alanlarda iş birliğini geliştirmesi bu açıdan faydalıdır. Türkiye; Irak'ın yeniden yapılandırılmasında her alanda görev almaya çalışmalıdır. Bu durum hem ekonomik imkân hem de Irak'ın Türkiye'ye yakınlaşmasını sağlayacaktır. Orta ve uzun vade de bu ülke ile menfaatlerini uyuşturmalıdır. Yine Türkiye Irak'ın su meselesinde Suriye ile ittifak oluşturmasını engellemek için, ileriye dönük olarak Dicle'den bir miktar daha fazla yararlanmasını sağlayabilir. Bu şekilde Suriye'nin su meselesinde yalnızlığa itilmesi sağlanmıştır olacaktır.

### 2.1.2.Irak'ın Yaklaşımı

Irak Fırat ve Dicle sularına yaklaşımında, Türkiye ile siyasal bir çözüme bağlamak amaçlanmaktadır. Türkiye'nin petrole karşı "su" kozunu kullanmaya çalıştığı, fazla suya sahip olduğu ve suyu bir servet olarak değerlendirme yolunu seçtiği tezini sıkça işlemektedirler. Bu yolla Türkiye'yi istedikleri niteliklere haiz bir anlaşmaya yanaşmaya zorlamak istemektedirler. Öte yandan; Türkiye'nin su fazlasına sahip olduğu tezini işlerken, Türkiye tarafından geliştirilen Barış Suyu Projesi ve diğer su projelerini iddialarına dayanak yapmaktadırlar.

Türkiye'nin Orta Doğu'nun su sorununun çözümüne yönelik ileri sürdüğü bu projeler aracılığıyla, bölge ülkelerini kendisine bağımlı duruma getirerek siyasal ve ekonomik yönden etkisi altına almaya çalıştığına, dikkati çekmek istemektedirler.

Aşağı-Kıyıdaş devlet durumunda olan Suriye ve Irak devamlı olarak, Türkiye'nin Fırat ve Dicle sularından faydalanma eylemlerinin, kendilerine zarar verdiğini ileri sürmekte, uluslararası alanda kendi lehlerinde bir kamuoyu oluşturma gayreti içerisinde bulunmakta, Dicle ve özellikle Fırat suları konusundaki davranışlarıyla Türkiye'nin egemenlik haklarını tartışır bir tutum sergilemektedirler.

Irak'ın Fırat-Dicle sularıyla ilgili yaklaşımlarını ve suların kullanımı konusundaki görüşlerini şu şekilde özetlemek mümkündür: Fırat ve Dicle Nehirleri uluslararası akarsulardır. Dolayısıyla Türkiye bu nehirler üzerinde tam egemenlik hakkına sahip değildir. Fırat ve Dicle'nin suları uluslararası hukukun öngördüğü esaslar çerçevesinde üç ülke arasında yapılacak bir anlaşma ile adil bir şekilde paylaşılmalıdır. Anlaşma yapıncaya kadar Türkiye Fırat'tan 700 m<sup>3</sup>/sn su vermelidir.

Türkiye bölgede su kaynakları bakımından en zengin ülkedir. Bu nedenle Türkiye ihtiyacından fazla olan suyu komşularına satılacak, ekonomik bir meta olarak görmemeli, bir silah veya politika aracı olarak kullanmamalıdır. Fırat ve Dicle Nehirleri Irak ve Suriye için olmak ya da olmamak sorunudur. Türkiye bu nehirlerden uluslararası hakkının üstünde kullanıma gitmemelidir. Nehirlerin üzerindeki barajlar sıkma aleti olmamalıdır. Fırat ve Dicle tek bir su sistemi veya müşterek bir havza olarak mütalaa edilmemeli, görüşmelerde ayrı ayrı ele alınmalıdır. Fırat ve Dicle üzerinde kurulacak bütün tesisler ile öncelik sıraları, üç ülke tarafından müştereken kararlaştırılmalıdır. Irak Fırat ve Dicle nehirlerinden daha fazla su talep etme hakkını şu iki temel düşünce inşa etmektedir (Dış İşleri Bakanlığı Bülteni,2018)Irak'ın Fırat ve Dicle nehirleri üzerindeki "Kadim Sulamaları" nedeniyle "Müktesep Hakları" bulunmaktadır. Müktesep Hakkın iki boyutu vardır. Birincisi Fırat ve Dicle nehirleri binlerce yıldır Mezopotamya topraklarına hayat verdiği için bu bir kazanılmış haktır, ikinci boyutu ise Irak'ın 1.9 Milyon hektarlık tarım alanını sulamak için birçok işletme tesisi yapmış olmasıdır. Bundan dolayı Türkiye söz konusu insanların bu

hakkını elinden almamalıdır. Irak'ın savunduğu diğer ikincisi görüş ise; bu iki nehir uluslararası su yollarıdır. Kıyıdaş ülkeler arasında "Ortak Kaynaklar" niteliğindedir. Bundan dolayı Fırat ve Dicle Nehri'nin su kaynakları kıyıdaş ülkeler arasında matematiksel bir formülle paylaşılmalıdır.

Matematiksel paylaşıma göre;

Her ülke iki nehirden ihtiyacı olan su miktarını ayrı ayrı bildirecektir.

Her ülkede iki nehrin kapasitesi ayrı ayrı saptanacaktır.

Kıyıdaş ülkenin belli bir nehirden almak istediği suyun toplam miktarı o nehrin debisinden fazla olursa, geri kalan miktar, oransal olarak her bir ülkenin talep ettiği miktardan düşülecektir. Böylece nehir suları paylaşılır.

Irak, Dicle Nehri sorununu Türkiye, Suriye ve Irak'ın ortak görüşme konusu yapılmasına karşı çıkmaktadır. Fırat ve Dicle Nehirleri sorunlarının ayrı ayrı görüşülmesini ve Suriye'nin Dicle Nehri konusunda söz sahibi olmamasını istemektedir (Kut,1991). Çünkü Irak'a göre, Fırat ve Dicle Nehirleri iki ayrı havzadır. Irak, Dicle üzerinde tarihten gelen ön kullanım hakkına sahip olduğunu ileri sürmektedir.

Öte yandan Irak Türkiye'nin Dicle Nehri suyunu azaltacak projelerden rahatsız olmaktadır. Müzakereler yoluyla bir asgari su debisi pazarlığından yana değildir. Bununla beraber Türkiye'nin Dicle üzerindeki GAP'a dahil 6 proje dolayısıyla Irak'ın aldığı suda önemli bir azalmaya sebep olmayacaktır (Savage,1991). Çünkü Dicle Nehri havzası sulu tarım yapmaya uygun değildir. Türkiye'nin yapmış olduğu barajlar ise elektrik üretimi amaçlıdır. Bu barajlar Dicle Nehri'nin sularını düzenleyecektir. Bu durum Irak'ın işine yaramaktadır.

## 2.2.Uluslararası Dünya Hukukunda Hidropolitik Sorunlara İlişkin Temel Yaklaşımlar

Günümüzde akarsular üzerinde uluslararası terminolojinin son derece karmaşık olduğu görülmektedir. Bu itibarla akarsuların ve uluslararası suların tanımı çeşitli yönlerden yapılabilir.

Uluslararası akarsu havzası tanımını ilk defa ortaya koyan Uluslararası Hukuk Derneği'dir. Uluslararası Hukuk Derneğine göre uluslararası akarsu havzası, "*iki veya daha çok devletin ülkeleri dahilinde kalan ve içindeki yüzeyde gerek doğal gerekse suni bütün akarsuların, belli bir alanın sularını akıtarak bir denize mahreci bulunmayan kapalı ülke içi kısımlara açılan ortak mahreçlerde son bulunduğu bölgedir.*"

Diğer taraftan uluslararası su yolları, göller ve kanalların tarifini şu şekilde yapmak mümkündür. Uluslararası su yolları, "*Bir devletin ülkesinden doğduktan sonra o ülkenin topraklarından geçerek iki ya da daha çok devlet arasında sınır oluşturan akarsular, uluslararası su yolu olarak kabul edilir.*" Bu su yolunun ulaşımına uygun olması da uluslararası ulaşım açısından uluslararası su yolu sayılmasında bir ölçüt olarak değerlendirilebilir. Uluslararası göller ise "*birden çok devletin paylaştığı göllere uluslararası göl*", uluslararası kanallar ise "*Bir su yolu olarak kullanılmak üzere açılan kanallara uluslararası kanallar*" denir. Birleşmiş Milletler Uluslararası Hukuk Komisyonu 43. sayılı bildirgesinde uluslararası sularla ilgili olarak su yolu ve su yolu devleti terimlerini tanımlamıştır.

Dünya üzerindeki miktarı değişmezken kalitesi azalma eğiliminde olan, artan nüfusun beslenme ve diğer ihtiyaçları, kentleşme ve sanayileşme gibi nedenlerle olumsuzla doğru bozulan ve dengesiz dağılımı nedeniyle dünyanın belli bölgelerinde tehlike işareti vermeye başlayan su ile ilgili konuların çokluğu kavram karışıklığına sebep olabilmektedir.

Uluslararası ilişkilerde de kavramlar ve tanımlar bazen disipline veya sektöre, bazen ülkeye, bazen de zamana göre değişebilmektedir. Uluslararası hukukta ifade edilmiş şekillerine göre, ilgili ülkeye çeşitli sorumluluk ve yükümlülükler getiren bu kavramların başlangıç aşamasında tanımların çok iyi bilinmesi ve bilinçli olarak kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışması içinde geçen bazı kavramların açıklamalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur:

Ulusal Akarsular; Kaynağından denize aktığı yere kadar aynı devletlerin sınırları içinde kalan akarsulardır.

Uluslararası Akarsular; İki ya da daha fazla sayıda devletin ülkesinden geçerek denizlere ulaşan veya bu devletler arasında doğal sınır oluşturan akarsulardır. Genelde 20 Nisan 1921 "Barcelona Sözleşmesi" ile belirlenen hukuki statüleri gereği geçiş serbestlikleri vardır. Kıyı devletleri ulaşımı engelleyecek önlemler alamaz ve özel hizmetleri karşılığı dışında hiçbir ücret talep edemezler. Sınıraşan Sular; Bir devletin topraklarından doğup bir başka devletin veya devletlerin sınırlarını geçerek topraklarında akan sulardır

(Ünver,1999).

### 2.3.Uluslararası Hukukta Su Sorununa İlişkin Temel Yaklaşımlar

Ülkeler arasındaki nehirlerin sınırlarının tespit edilmesi sorunu, nehirlerin ulaşma elverişli olup olmadığına göre ya da orta çizgi esaslarının kabulüyle belirli bir esasa kavuşturulmuştur. XIX. yüzyılın sonlarına kadar önemli faydalanma şekillerini teşkil eden ulaşım, balıkçılık, tomruk yüzdürülmesi ve küçük çapta sulama gibi, etkileri aynı milli sınır alanlarının içinde kalan fiillerden ulaşım özgürlüğü tartışması konusu hariç, kıyıdaş devletlerarasında önemli çıkar çatışmaları meydana getirmedeği için uluslararası hukukça çözülmesi gereken bir sorun niteliğinde görülmemiştir. Ülkeler arasında sınır aşan nehirler üzerindeki serbest ulaşım problemleri, değişik zamanlarda yapılan anlaşmalar ve ihdas edilen hukuki düzenlemelerle büyük oranda çözümlenmiştir (Tiryaki,1994).

Uluslararası Hukuk Derneği'nin su konusunda almış olduğu öneri yoruma açık olup, her türlü ihlali meşru sayar nitelikte görülmektedir.

Birleşmiş Milletler Genel Kurulu Uluslararası Hukuk Komisyonu, 15 Aralık 1980 yılında, uluslararası suyollarının seyir dışı kullanımını bir yasa ile düzenlemiştir. Uluslararası Hukuk Komisyonu 17 maddelik bir taslak hazırlamıştır. Hazırlanan bu taslak paylaşılan kaynakların sularını kullanmaktan, sınır aşan nehrin yükselip alçalması ve diğer durumları hakkında bilgi alışverişinden, nehir akışının denetimi için temel hukuki ölçüler getirmeye, suyun ve suya ilişkin tesislerin korunmasına yönelik var olan su tartışmalarını çözümlenmek ve yenilerini azaltmak için yapılmıştır (Bulloch ve Darwish,1994).

XX. yüzyılın başından itibaren, sınır aşan suların kullanımında akarsuların sularını depolama ve yatağını saptırma imkanları artmıştır. Teknolojik gelişmeyle birlikte, endüstri ve tarım alanlarında su ihtiyacı artmıştır. Bu ihtiyacın bir gereği olarak sınır aşan sular üzerinde endüstriyel ve tarımsal amaçla hidroelektrik santralleri yapılmıştır. Diğer yandan sınır aşan suların kullanımıyla ilgili entegre su kullanma projeleri uluslararası hukuki bir sorun olarak gündeme gelmektedir

Uluslararası hukuk açısından sınır aşan akarsularla ilgili çözülmesi gereken iki önemli sorun vardır. Bunlardan birincisi devletleri ayıran akarsularda egemenlik alanlarının tespit edilmesi, ikincisi ise iki ya da daha çok devletin topraklarından geçen, sınır aşan akarsular üzerinde yapılan endüstriyel veya tarımsal amaçlı kullanım faaliyetlerinin düzenlenmesi ile ilgilidir.

Günümüzde uluslararası suların endüstriyel veya tarımsal amaçlı kullanımıyla ilgili olarak uluslararası hukukta kabul görmüş temel bir hüküm oluşma aşamasında olduğu görülmektedir. Sadece iki veya daha çok ülke arasında sınır aşan su ve sular mevcut ise, bu ülkeler su ve suların kullanımı hakkında ikili görüşmeler yapmaktadırlar. Şayet su ve sular konusunda anlaşmazlık var ise her devletin karşılıklı menfaatine uygun halde çözümlenmeye çalışmaktadırlar.

### 2.4.Faydalanma Hakkının Kapsamına İlişkin İleri Sürülen Doktrinler

#### 2.4.1.Mutlak Egemenlik (Harmon) Doktrini

Genel olarak bu doktrin, yukarı kıyıdaş devletin, aşağı-kıyıdaş devletin etkilenmesini göz önüne almadan, nehir sularını istediği gibi, kesintisiz olarak saptırabilmesi ya da kullanabilmesi olarak tanımlanmaktadır.<sup>32</sup> Mutlak ülke egemenliği görüşü 1895 yılında, ABD Başsavcısı Judson Harmon tarafından ortaya atılmıştır. Judson Harmon 'un ABD ile Meksika arasında Rio Grande Nehri ile ilgili olarak ortaya çıkan uyuşmazlıkta verdiği görüş, ABD tarafından uzun süre yerleşmiş bir uluslararası hukuk kuralı olarak ileri sürülmüş ve klasik bir şekilde büründürülmüştür (Bir,1986)

*"Uluslararası hukuk kuralları, ABD'ye Rio Grande nehrinin faydalanma olanağını (Söz konusu faydalanma neticesinde nehrin ABD ülkesinde kaldığı noktadan aşağıdaki kesiminde suların miktarı azalmış olsa bile) kendi vatandaşlarından esirgemek yolunda hiçbir vecibe yüklememektedir. Bu çeşit bir vecibenin bulunabileceği faraziyesi ABD'nin ulusal ülkesi üzerinde var olan egemenliğine aykırı düşer."*

Meksika Hükümetinin, gene Rio Grande nehrine ilişkin şikayetleri üzerine, ABD Dışişleri Bakanlığı, 1 Mayıs 1905 tarihli ikinci bir notada, Harmon doktrinini şu şekilde savunmuştur.

*"Rio Grande sularının ABD'de oturan Amerikan vatandaşlarına ait toprakların sulanması amacıyla saptırması ve bunun sonucunda, Meksikalı vatandaşların, Meksika ülkesindeki topraklarını sulamak için gerekli suyu bulamamaları yüzünden, ABD Hükümetinin Meksika Hükümetine karşı doğabilecek hukuki sorumluluğu meselesini inceleyen Bakanlığımız, böyle bir sorumluluğun doğabileceği gerekçelerinin*

*uluslararası hukukta bulunmadığı görüşündedir. Bununla beraber, ABD Hükümeti, hareket tarzını yüksek hakkaniyet ilkelerine ve iyi komşular arasında tesisi gereken dostça duygulara uygun bir şekilde tespit etmek kararındadır"*(Toklu,1999).

ABD, bu ikinci notada yer alan düşüncelerle, 1906 da Meksika Hükümeti ile Rio Grande sularının sulama amaçlarıyla adil bir şekilde dağıtımına ilişkin bir antlaşma imzalamıştır. ABD, belirli bir miktar suyu, kuraklık mevsimini de göz önünde tutarak, Meksika'ya bırakmayı taahhüt etmekteydi; ancak, ABD, aynı antlaşmanın başka maddelerinde ortaya koyduğu gerekçelerle, söz konusu antlaşmaya hiçbir hukuki emsal niteliği tanımadığını da açıkça belirtmiştir. Şöyle ki antlaşmanın beşinci maddesinde "*ABD bu antlaşmanın akdi dolayısıyla, herhangi bir ilke ya da örnek olayın yaratılmasını, hiçbir şekilde, kabul etmez...*" hükmü yer almıştır. Colorado nehrine ilişkin uyuşmazlık ise, ancak 3 Şubat 1944 tarihinde imzalanan bir antlaşma ile sona ermiştir. Bu tarihten sonra ABD tutumunu değiştirmeye ve Harmon doktrinine aykırı açıklamalarda bulunmağa başlamıştır. ABD'nin Harmon Doktrininden vazgeçmeye başladığının ilk işareti bu antlaşmanın senatoda onaylanması sırasındaki çalışmalar yapılırken verilmiştir (Bir,1986)

ABD bu görüşü kendi milli çıkarlarına aykırı durumlar ortaya çıkardığı için genel olarak desteklememiştir. Yine de uluslararası alanlarda Harmon Görüşü birçok yazar tarafından destek bulmuştur (Tiryaki,1994)

Bu görüşün yerine bundan sonra ABD tarafından sınır aşan sulara kısıtlı ülke egemenliğinin söz konusu olduğu ileri sürülmüştür. Harmon doktrini, her şeyden önce, sadece tek bir devletin mutlak egemenliğini benimsediğinden oldukça eleştirilmiştir.

#### **2.4.2.Doğal Durumun Bütünlüğü Doktrini**

Doğal durumun bütünlüğü doktrini ile ilgili sınır aşan sulara endüstriyel ve tarımsal maksatlı olarak faydalanma konusunda görüş belirten ve destekleyen hukukçuların önde gelenleri İsviçreli hukukçu Max Huber ile İngiliz Oppenheim'dir. Oppenheim görüşünü şu şekilde belirtmektedir.

*"Ülke egemenliği sınırsız hareket özgürlüğü sağlamaz. Ülke egemenliğine rağmen devlet kendi ülkesindeki doğal şartları komşu devletin doğal şartlarının aleyhine değiştirmeye, kendi ülkesinden komşu ülkeye akmakta olan nehrin akımını durdurmaya ya da saptırmaya yetkili değildir. Milli olmayan nehirler, sınır aşan sular ve sınır teşkil eden nehirler kıyıdaş devletlerden herhangi birinin keyfi denetimi altında değildir. Çünkü, sınır aşan sularla ilgili uluslararası hukuk kuralı uyarınca, hiçbir devlet, kendi ülkesindeki doğal şartları komşu devlet ülkesinin doğal şartları aleyhine değiştiremez. Bu yüzden, hiçbir devlet yalnız kendi ülkesinden komşu devlete akan bir nehrin sularını durduramaz ve saptıramaz. Fakat aynı zamanda, nehir sularının, komşu devlete zarar verecek veya bu devletin nehrin akımından kendi kesiminde faydalanmasını önleyecek şekilde kullanması da yasaklanmıştır"* (Tiryaki,1994).

Bu doktrinin kabul edilip uygulanması durumunda üç sonuç ortaya çıkmaktadır. Yukarı Kıyıdaş Devlet uluslararası akarsuyun aşağı kıyıdaş devletin ülkesinde yer alan kesimindeki suların fiziki niteliğinde herhangi bir değişiklik yapamaz. Aşağı kıyıdaş devletin uluslararası akarsuyun yukarı kıyıdaşça kullanılmasında vetoetme hakkı vardır. Aşağı kıyıdaş devletin gelecekteki muhtemel kullanımları korunmaktadır (Sar,1970).

Sınır aşan suların kıyıdaş devletlerin ülkesinde yer alan kesimlerindeki suların doğal durumlarında değişiklik yapma olanağına yukarı-kıyıdaş devlet sahiptir. Bu bağlamda söz konusu yasaklama, yalnız yukarı-kıyıdaş devlete yönelmektedir. Doğal durumun bütünlüğü doktrini, sınır aşan suların aktıkları devletin ülkesindeki doğal durumlarında yapılacak her türlü değişiklik yapma hakkını kaldırmıştır. Buradan tamamen aşağı-kıyıdaş durumundaki devlet lehine bir durum ortaya çıkmaktadır.

Başvurmakta ve kıyıdaş olduğu nehirlerden faydalanma hakkının kapsamını genişletmeye çalışmaktadırlar.

#### **2.4.3.Ön Kullanım Üstünlüğü Doktrini**

Uluslararası alanda "doğal ya da tarihi", "kazanılmış" ve "kadim" haklar olarak değişik terimlerle ifade edilmesine rağmen, hepsi aynı kavramı ifade etmektedir. Bu görüşü uluslararası hukuka yansıtan E. Vatteldir. Bir ülke kendi toprakları üzerinde sınır aşan suları, diğer nehre kıyıdaş ülkelerden daha önce kullanmaya başlamışsa, bu ülkenin suyu kullanımı devam ettiği sürece ilgili sular üzerinde ön kullanım üstünlüğü vardır. Ancak, bu kazanılmış hak kapsamına ülke topraklarına akan bütün sular girmez. Bir



başka deyişle, fiilen ön kullanıma konu olan sular girer (Zehir,1994).

Doktrinin özünü teşkil eden, kazanılmış haklara zarar vermeme yükümlülüğü genelde yukarı-kıyıdaş devlet açısından söz konusudur. Kazanılmış haklara zarar verebilecek durumda olan sürekli olarak yukarı-kıyıdaş devlettir. Aşağı-kıyıdaş devletin hemen hemen böyle bir imkânı yoktur. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kıyıdaş devletlerin kullanımlarına zarar verilmesine ilişkin hukuki sorunlar daha çok aşağı-kıyıdaş devlet açısından ortaya çıkar. Diğer taraftan, aşağı-kıyıdaş devletlerin nehirlerden faydalanmaya daha önce başladıkları da bir gerçektir. Zira herhangi bir akarsuyun etrafında yerleşme ve endüstri faaliyetleri çoğunlukla akarsuların ağızlarına yakın yerlerde, mecraların aşağısında başlamaktadır. Nüfus yoğunlaşması ve endüstriyel gelişme akarsuyun mecrasının yukarisına doğru nadiren gelişmektedir.

Bu ön kullanımın üstünlüğü doktrinine, aşağı-kıyıdaş devletler açıklanan sebeplerden ötürü

#### 2.4.4.Adil (Hakkaniyete Uygun) Kullanım Doktrini

Sınıraşan suların adil kullanımını doktrinini uluslararası hukuka kazandıran Amerikalı bilim adamı C. Eagleton olmuştur. Sınıraşan suların hakkaniyete uygun kullanımını görüşünü ABD'li hukukçu Lipper şu şekilde tanımlamıştır (Bir,1986).

Uygulamada, adil kullanım doktrini, ön-kullanımın üstünlüğü doktrininde olduğu gibi, özellikle, faydalanma hakkını diğer kıyıdaşların eylemlerine karşı korumak durumunda olan aşağı-kıyıdaş devletin başvuracağı bir görüştür. Aşağı-kıyıdaş durumundaki devlet, yukarı-kıyıdaş devletle düştüğü uyumsuzlukta, kullanımlarının makul ve adil olduğunu öne sürecek ve bu şekilde faydalanma hakkını yukarı-kıyıdaş ülkeye karşı korumaya çalışacaktır. Bu görüş, kısmen aşağı kıyıdaş devletin lehine yorumlanabilir. Bu yönünden ötürü, uluslararası hukuk açısından bazı hukukçular tarafından eleştirilmiştir bu doktrinin uygulamada bir anlam kazanabilmesi için, aşağı-kıyıdaş devletin faydalanma hakkına dokunulmazlık kazandıran makul ve adil payın ne olduğu sorusunun cevaplandırılması gerekmektedir. Kimi yazarlar tarafından adil kullanım doktrini uyarınca, makul ve adil payın ne olduğunun her özel durumun ortaya koyduğu faktörlerin ışığında tespit edilmesi gerektiğini ileri sürülmektedir. Ancak her özel durumun kendine özgü şartlarına bağlı bu faktörlerin, bütün uyumsuzluklara uygulanacak şekilde genelleştirilmesi güçtür (Bilen,2000)

### 3.Dünyadaki Sınır aşan Su Sorunları ve Yapılan Antlaşmalar

Memba ve mansap ülkeleri arasında sınır değıştiren sulara ilişkin olarak yapılan görüşmelerde, kaynak ülkede inşa edilen barajların yarattığı olumlu etkiler daima ortaya konularak vurgulanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ile Meksika arasında Colorado Nehri'ne ilişkin resmi görüşmelerde, Meksika'ya yılda 4 milyar 400 milyon m<sup>3</sup> su talebine karşılık ancak 1,85 milyar m<sup>3</sup> su tahsis edilmiş olup; bu miktar Meksika'nın önerisinin %42'sine tekabül etmektedir. Ayrıca tahsis edilen 1,85 milyar m<sup>3</sup>'ün yaklaşık yarısını havzadaki kullanımlardan artan dönüş suları oluşturmaktadır. Belirtilen şartlar altında, ABD Colorado Nehrinin doğal akımlarının ancak %5'ini Meksika'ya vermiştir. ABD tarafında talebin yarısından daha az su tahsisinin gerekçesi, Haziran 1941 tarihli notasında şu şekilde açıklanmıştır. (ABD Dışişleri Bakanlığı, arşiv no 711/12155/1915).

"Colorado Nehri'nden Meksika'ya verilmesi teklif edilen su, büyük miktarlardaki düzensiz doğal akıştan 1930 yılında Meksika tarafından talep edilen 3.600.000 acre-foot (4 milyar 400 milyon m<sup>3</sup>)'den daha kıymetlidir. Nehrin yıllık akışındaki büyük değışimler ve Boulder Barajı'nın kuraklığı önlemedeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Boulder Barajı olmasaydı 1937, 1939 ve 1940 yıllarında yaşanan kuraklıktan daha şiddetli bir kuraklıkla karşılaşılacaktı. Ayrıca, sunulan plan gereğince Meksika'ya verilecek su, Boulder Barajı'nda depolanması için yapılan inşaat ve barajın işletme-bakım masraflarını içermemekte olup, bu masraflar talep edilmeyecektir. (Bilen,2000)

Libya, Akdeniz kıyısında hızla şehirleşen topraklarının su ihtiyacını karşılamak için GMR (Great Man Made River) adlı büyük suni nehirler projesini başlatmıştır. Libya bu proje ile ülkenin güney bölümündeki Libya Çölünde bulunan yeraltı sularını 683 millik bir su boru hattıyla Trablus bölgesine aktarmayı planlamıştır. 11 Milyar dolara mal olan bu projenin ilk bölümü 1991 yılı yazında tamamlanmıştır. Tüm proje 25 milyar dolara mal olacaktır. Böylelikle Libya, mevcut su arzını ikiye katlayacağını hesaplamaktadır (Falkenmark,1990)

Arjantin, Brezilya, Uruguay ve Paraguay'dan oluşan ticari birlik (bir nevi ortak pazar), çerçevesinde oluşan potansiyel enerji pazarına su gücü arz etmek amacıyla Arjantin ve

Paraguay kıyıdaş oldukları Parana Nehri üzerinde bir hidroelektrik santral projesini özel sektörün yapması amacıyla ihale açmışlardır.

Hindistan ve Bangladeş kıyıdaş oldukları Ganj, Meghna, Teesta ve Bruhmaputra Nehirlerini bölüştürecek kapsamlı bir plan üzerinde mutabakata varmışlardır. Mutabakatla, "hakça paylaşım " ilkesini gerçekleştirdikleri gibi, kurak mevsimlerde nehir akışı hakkında bilgi sahibi olabilmek için s sınırlarına yakın olan istasyonlarda ortak gözlemler yapmaya karar vermişlerdir.

Tayland ve Burma, kıyıdaş oldukları Sahveen ve Moei Nehirleri üzerinde sekiz hidroelektrik santralını inşa etmeye karar vermişlerdir. Tayland, Laos, Vietnam ve Kamboçya kıyıdaş oldukları Mekong Nehri üzerindeki kaynakların iş birliğiyle geliştirilmesi için bir anlaşma yapmışlardır. Tayland ve Kamboçya kıyıdaş oldukları Mekong Nehri üzerinde barajı Kamboçya'da, hidrolik santralını Tayland'da kalacak bir proje üzerinde anlaşmışlardır.

Yukarıdaki örneklerden görüleceği üzere dünyadaki birçok ülkede sınır aşan sularla ilgili anlaşmazlıklar, barışçı yollarla çözümlenmiştir. Bu durum aralarında anlaşmazlık olan dünyanın diğer memba ve mansap ülkelerince, coğrafi ve ekonomik şartlar zorlanarak başarılmıştır. Su, ülkeler arasında barış ve iş birliği antlaşmalarına olanak sağlayabilecek, stratejik bir maddedir.

### **3.1. Birleşmiş Milletler Uluslararası Suyollarının Denizcilik Dışı Kullanımlarına İlişkin Sözleşme (21 Mayıs 1997)**

Birden çok devlet tarafından kullanılan akarsulara ilişkin uyuşmazlıklar BM tarafından hazırlanarak uluslararası topluma sunulan uluslararası suyollarının ulaşım dışı amaçlarla kullanımlarına ilişkin sözleşmenin oluşturulmasına kadar uluslararası alandaki siyasal yapının belirleyici olduğu yaklaşımlarla çözülmüştür. Uluslararası ortamın her devlet için bağlayıcı bütün uyuşmazlıklar için uygulanabilir çözümler ürettiğini söylemek mümkün olmadığını a göre mevcut durumun tespiti ayrı bir önem arz etmektedir.

1950'li yıllardan itibaren birden fazla devleti ilgilendiren akarsulardan yararlanmaya ilişkin kuralların oluşturulması çabaları herhangi bir uyuşmazlığa taraf olan ülkeler tarafından oluşturulmaya çalışılan yazılı olmayan hukuk kuralları boyutundan çıkmış, bu tür uyuşmazlıklara taraf olan ülkelere yönelik olarak genel ilkelerin oluşturulması çabaları yönünde bir seyir izlemiştir. Bu yıllarda doktrinde adil kullanım görüşünü inceleyen bir kısım yazarlar doktrinin gelişmekte olan bir hukuk kuralı olduğunu savunmuşlar; buna karşılık Uluslararası Hukuk Enstitüsü ve Uluslararası Hukuk Derneği gibi özel kuruluşlar Adil Kullanım Doktrinini ileri sürmüşlerdir (Water Power And Dam Construction,1992)

Yine BM'nin girişimiyle BM Deniz Hukuku Sözleşmesi hazırlanmış 30 Nisan 1982 tarihinde konferansa katılanların oyuna sunulmuştur. Bu sözleşme de 21 Mayıs 1997 tarihinde oylanarak kabul edilen taslak gibi, oy dağılımı yönünden devletlerin çok büyük bir kısmının iradelerini yansıtmaktan uzaktır. Bu sözleşme bir çerçeve sözleşme niteliğindedir; bu husus zaten muhtelif genel kurul kararlarında da belirtilmiştir.

Uluslararası hukuk kullanım ve yararlanma hakkını her devletin egemenliğine bağladığını a göre her devlet suyun kendi ülkesinde bulunan kısmından uluslararası hukukun belirlediği birtakım kriterleri göz önünde tutarak, ama her halde takdir ve değerlendirme kendisine ait olarak yararlanma hakkını kullanacaktır. Ancak kıyıdaş devletler bu suların yararlanırken aşağı kıyıdaş devletlere esaslı zarar vermemeye özen göstereceklerdir. Uluslararası hukuk ve mevcut uygulamalar sınır aşan su yolu sisteminde ilgili her devletin böyle bir su yolu sisteminin kendi ülkesindeki suyundan faydalanma hakkının olduğunu göstermektedir. Bu durumda uluslararası su kavramı hem sınır aşan suları hem de sınır oluşturan suları kapsamaktadır.

Sözleşmenin 5. maddesi "*su yolu devletleri ülkelerindeki uluslararası su yolunu hakça ve makul bir şekilde kullanacaktır*" demekle, bir sınır aşan akarsuyun paylaşılabilir bir mal olmadığını sadece hakça, makul, optimal ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabileceğini açıkça ifade etmektedir. Günümüzde hakça ve makul kullanımın anlamı suyu kullanan devletin diğer devletlere zarar verecek biçimde kullanımının önlenmesidir genel yaklaşımından başka; hakça kavramının tanımlanması gerektiği uluslararası hukukta birtakım ölçütler olmakla birlikte, bu kavramın anlaşılmasının zor ve değişken yorumlara müsait olduğu görüşlerini savunan yazarlar da vardır.

Sözleşmenin 6. maddesi hakça ve makul kullanımın tespitinde hangi esasların göz önüne alınacağını Helsinki Kararlarına atıfta bulunarak coğrafi, iklimsel, ekolojik faktörler, sosyal ve ekonomik ihtiyaçlar, nüfus, mevcut ve potansiyel kullanım gibi kriterlere göre belirleneceğini belirtmiştir. Ancak bu faktörlerin hepsinin bir bütün olarak ele alınacağı ve bütüne dayalı bir sonuca ulaşılacağı da ayrıca vurgulanmıştır (Aydoğan,1998).

Günümüzde uygulanan uluslararası hukuk gerek doğması gerekse somut olaylara uygulanması bakımından uluslararası birimler arasındaki toplumsal dayanışma derecesine ve irade uzlaşmasına sıkı sıkıya bağlıdır. Uygulanan uluslararası hukuk devletlerin uyumsuzlukların çözümü konusunda barışçı yollara başvurması gerektiği dışında hiçbir genel kural koymamakta ve barışçı yollardan hangisinin seçileceği hususunu devletlerin ortak rızasına bırakmaktadır. Sözleşmelerin tarafları bağlayacağı taraf olmayanları bağlamayacağı açıktır (Çelik,2017).

Bu durumda sözleşmeye birlikte taraf olmayan ancak aralarında sınır oluşturan veya sınır aşan su uyumsuzluğu bulunan devletlerin uyumsuzluğu çözme konusunda yararlanacağı kuralların ne olacağı sorusunun cevabı bulunmalıdır. Sorunun cevabı yine uluslararası hukuk olmakla birlikte taraflar uluslararası hukukun bütün kaynaklarından yararlanabileceklerdir. Bağlayıcı olmamakla birlikte yansıttığı ölçüde uluslararası suyollarının ulaşım dışı amaçlarla kullanılmasına ilişkin sözleşmeden de yararlanmak mümkündür.

### **3.2. Irak'taki Su Sorunlarında Türkiye'nin önemi ve Türkiye üzerinde yapılan düzenleme çalışmaları**

Türkiye Cumhuriyeti gerek kendi topraklarının dışından kaynaklanarak ülkesine akan ve gerekse kendi topraklarından doğarak başka ülkelerin topraklarından geçerek denize dökülen sınır aşan akarsularla ilgili olarak bugüne kadar ilgili komşu ülkelerle birtakım anlaşmalar imzalamıştır. Yine söz konusu anlaşmalardan dolayı, bir kısım su konusunda hukuki taahhüt altına girmiştir. Dicle, Fırat ile ilgili hukuki düzenlemeler aşağıda ele alınmıştır.

#### **3.2.1. Dicle ve Fırat Nehri ile İlgili Hukuki Düzenlemeler**

Dicle Nehri, Doğu Anadolu Dağları ve Hazar Gölü sızıntılarından doğan, Türkiye sınırlarında 523 km. toplam uzunluğu ise 1900 km. olan ve Basra Körfezine dökülen bir nehrimizdir. Fırat ise Erzurum'un 30 km. doğusunda Dumlubaba kaynağından çıkarak, Gaziantep ve Adıyaman il sınırlarını belirler, önce Suriye'ye, daha sonra da Irak topraklarına girer. Irak'ta denize uzak olmayan bir noktada Dicle ile birleşerek Şatt'ül Arab'ı oluşturur ve Basra körfezine dökülür. Türkiye sınırları içinde 971 km. olan Fırat'ın toplam uzunluğu ise 2800 km'dir.

Dicle ve Fırat nehirleri ile ilgili olarak Türkiye Cumhuriyeti'nin yükümlülük altına girdiği ilk antlaşma Lozan Barış Antlaşmasıdır. Söz konusu nehirlerle ilgili hükmün bulunduğu madde antlaşmanın 109. maddesidir. Bu antlaşmanın belirtilen maddesinde "*Birinci Dünya Savaşı öncesi ilgili devletlerin topraklarında bulunan sulara kazanılmış hakları korunmak için de ilgili devletler birbirinin menfaatlerini gözeteceklerdir.*" hükmü kabul edilmiştir" (Esenyel,2001)

Bu iki nehirle ilgili 29 Mart 1946 tarihinde "*Türkiye ile Irak arasında Dostluk ve İyi Komşuluk Anlaşması*" ve 1947 yılında "*Dicle, Fırat ve Kolları Sularının Düzene Konması Protokolü*" ile 7 Şubat 1976 tarihinde "*Ekonomik ve Teknik İşbirliği Anlaşması*" toplam üç antlaşma karşılıklı olarak imzalanmıştır. Bu anlaşmalarda Türkiye'nin Dicle ve Fırat Nehirlerinin sularından endüstriyel ve tarımsal amaçlı faydalanmasını engelleyen, Türkiye'yi yükümlülük altında bırakan bağlayıcı bir hüküm yoktur. İlgili ülkelerce karşılıklı olarak sel sularından korunmak maksadıyla bilgi alışverişinde bulunulmasını ve ülkeler arasındaki herhangi bir ihtilafta, tarafların eşit oranlarda temsil edilmesini hükme bağlamıştır (Bir,1986)

Türkiye daha Keban barajı planlanmadan yani 1950'lerin başında Suriye ve Irak'a müzakere teklifleri yapmış, bu ülkeler yapılan bütün bu tekliflere karşı çıkmışlardır. 1966 yılında, Ankara'da antlaşma imzalanarak, Keban Barajında su tutulmasıyla birlikte Fırat sularından 350m<sup>3</sup> ve daha sonra 450 m<sup>3</sup>/sn su verileceği karara bağlanmıştır. Bu miktar Karakaya Barajı'nda su tutulmasıyla birlikte (1976) ve Atatürk Barajı yapımıyla (1990) 500m<sup>3</sup>/sn' ye çıkartılmıştır.

Protokoldeki ilgili bölüm aşağıdaki gibidir;

- (a) İki taraf da ortak kullanılan suyun kirlenmemesi için iş birliği yapacaktır,

(b) Üç ülke de OTK'nın oluşması için Bakanlık seviyesinde görüşmeler yapacak, izlenecek yol ve metotlara karar verilerek, her ülkenin gerçek ihtiyacı olan suyun miktarı belirlenecektir.

Atatürk Barajı havzasının doldurulması sırasında ve Fırat sularının üç ülke arasında nihai tahsisine kadar Türk tarafı, Türkiye-Suriye sınırından yıllık ortalama olarak 500 m<sup>3</sup>/sn. 'den fazla su bırakmayı taahhüt eder. Aylık akışın 500 m<sup>3</sup>/sn. altına düştüğü durumlarda farkın gelecek ay kapatılmasını kabul eder.

Taraflar, en kısa zamanda Fırat ve Dicle nehirleri sularının tahsisi için Irak tarafı ile çalışacaklardır.

Taraflar, Bölgesel Sular Ortak Teknik Komitesinin çalışmalarının hızlandırılmasını kabul etmişlerdir.

## Sonuç

Orta Doğu coğrafyasında çok hızla yaklaşan bir su krizi tehlikesi mevcuttur ve her geçen gün kendini daha fazla hissettirmektedir. Su kaynaklarının mevcut durumları ve süratle azalma eğilimi ile artan tüketim ihtiyaçları dikkate alındığında gelecekte su savaşlarının yaşanması kuvvetle muhtemel bir durumdur. Ancak buna engel olmak veya en azından geciktirmek bölge insanının elindedir.

Tarafların kendi hür iradeleriyle, altında imzalarının bulunduğu, uymaya zorunlu olacakları hukuksal anlaşmalar yaparak, bölge ülkeleri arasında özellikle sınır komşusu ülkelerin politik anlaşmazlıklarının çözümü şarttır. Ayrıca bölge ülkelerinin yaklaşan "su sorunu" adlı felaketten uzak durabilmeleri için alabilecekleri birçok tedbir mevcuttur.

Bunları kısaca özetlemek gerekirse;

Tarım sulama alanında püskürtme ve suyla doldurma yöntemi yerine damlama yöntemi kullanılması gerekli hale gelmiştir. Bu yöntemin yaygınlaştırılması ciddi bir su tasarrufu sağlayabilir.

Hiç istifade etmeden kayıp olup giden drenaj sularının tekrardan kullanılması gerekli olmuştur.

Denize akan suların barajlar ve bentler yapılarak azaltılması suyun az olduğu dönemlerde ciddi bir rahatlama sağlayabilir.

Eğer su problemi insanlık üzerine kötü bir bulut gibi çökmüşse, ancak çağdaş teknolojinin bu sorunun çözümü için çok yolu vardır. Yağmur sularının stoklanması, bazı durumlarda sürekli depo olarak kullanılması için barajlar inşa edilmesi, bu çözümlerden biridir, barajın su kaybetmeyecek şekilde tasarlanması gerekir.

Bilgi bankalarının kurulması, periyodik bir şekilde düzenli bilgilerin toplanması, toplanan bilgilerin düzenlenmesi ve yayınlanması için teçhizatın bulundurulması yüzey sularının periyodik olarak değerlendirilmesi, bu etütlerin bilgiler atıkça yenilenmesi önem arz etmektedir.

Kırsal bölgelerde, kentlerde, sanayi, tarım sulama ve elektrik enerjisi üretim alanlarında yüzey sularının ve yer altı sularının her birinin ayrı ayrı nehir havzalarında ve kullanım açısından değerlendirilmesi önemlidir.

Kırsal bölgelerde, kentlerde, sanayi, tarım sulama ve elektrik enerjisi üretimi gibi çeşitli amaçlar için ihtiyaç duyulan su miktarının, milli gelişme hedeflerine paralel olarak yer altı sularının ve yüzey su kaynaklarının ilerdeki gelişmeler hedef teşkil etmesi için arada bir değerlendirilmesi faydalı olabilir.

Yeraltı ve yerüstü sularının kirliliğini kontrol etmek için suyun çeşitli seviyelerinde taramalar yapmak ve su kirliliğini tespit etmek için şebekeler kurmak faydalı olabilir.

Su kaynaklarının ve besleme kanallarının kirliliğini temizlemek için teçhizat, sermaye ve işçi bulundurulması gerekir.

Çok tartışılan alternatiflerden biri de kuzey kutbunda yüzen buz dağlarının ithal edilmesi olayıdır, ancak bu da çok büyük dev gemiler ve özel limanlar gerektirecektir.

Bölge ülkeleri arasında bir güven havası yaratmak gerekir, bu da sular üzerinde ülkelerin haklarını düzenleyen uluslararası kanunların ve yasaların çıkartılması ile mümkündür.

Yukarıda ifade edilen somut öneri ve tavsiyeler ülkelerin iyi niyetli yaklaşımları olmadan sadece bir tavsiye niteliğinde kalmaya mahkûm olacaktır. Su sorunu ortak bir sorundur ve hep birlikte başa çıkılması gereken bir problemdir. Aynı coğrafyadaki tek bir ülkenin bu sorunla mücadele etmesi ütöpik bir

yaklaşım olacaktır. Zira, birçok su kaynağı ulusal değil uluslararası nitelik taşımaktadır ve kullanım konusunda ortak bir değeri ifade etmektedir.

Su konusunda Irak ile komşularının kısır politik yaklaşımlardan ve iç siyasi hesaplardan uzak durması da büyük önem arz etmektedir. Zira su, yeri doldurulamayacak bir değer olduğundan politik malzeme yapılamayacak kadar değerlidir. Su, yaşamın kaynağıdır ve öyle kalmaya devam edecektir. Hakça paylaşım, adil kullanım ve tasarruf tedbirleri ile su, bir çatışma potansiyeli değil, barışa katkı sağlayacak bir değer olacaktır.

### Kaynakça

- Adel, B. J. (1994). *Su Savaşları*. İstanbul: Altın Kitapları Yayınları.
- Ahmet, G. (Konya). *Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP'ın) Ekonomik Sonuçları*. 1989: Palet yayınları.
- Bakanlığı, T. D. (1999). Bölgesel ve Sınıraşan Sular Dairesi, Orta Doğu'da Su Sorunu. Ankara.
- Bilen, Ö. (1996). *Ortadoğu su sorunları ve Türkiye*. Ankara: TESAV Toplumsal, Ekonomik, Siyasal Araştırmalar Vakfı.
- Bir, M. (1986). *Akarsulardan Faydalanma ve Türkiye'nin Uluslararası Hukuku İlgilendiren Akarsuları*. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi.
- Cemal, Z. (1998). *Türkiye ve Orta Doğu Su Meseleleri* (Cilt 62-78). İstanbul: Marifet Yayınları.
- Cengiz, O. (1993). *Su Sorunu ve Orta Doğu'da Stratejik Durum*. İstanbul: , Su Sorunu, Türkiye ve Orta Doğu, Bağlam Yayınevi.
- Demirci, N. (1996). Water potential and probability distributions of annual and monthly discharges in Tigris basin in Turkey. *M.S. Thesis, Thesis in hydrology and water resources engineering*, 129. İzmir.
- Edip, Ç. (1987). *Milletlerarası Hukuk (I-II)*. İstanbul: Filiz Kitapevi.
- Eren, Z., & Kaya, F. (2020). Fırat-Dicle Havza Koruma Eylem Planı Çerçevesinde Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinin Karasu Nehrinin Su Kalitesi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 95-109.
- Gün, K. (1993). *Orta Doğu'da Su Sorunu Çözüm Önerileri*. İstanbul: HAK Yayınları.
- İhsan, B. A. (2017). Dicle Fırat ve Türkiye'nin Su Politikası. *Harp Akademileri Bülteni*(92).
- İnan, Y. (1992). *Uluslararası Adalet Divanının Yargı Yetkisi*. Ankara: AİTİA Yayınları.
- Kaika, M. (2003, nisan 3). The Water Framework Directive: A New Directive for a Changing Social, Political and Economic European Framework. *Europen Planning Studies*, 11, s. 229-316.
- Kallis, G. v. (2001, Haziran 2). The EU Water Framework Directive: Measures and Implications. *Water Policy*, s. 125-142.
- Kolars, J., & Mitchell, W. (1991). The Euphrates river and the Southeast Anatolia Development Project. *Carbondale, Southern Illinois University, Water - The Middle East Imperative Series*, s. 325.
- Kutan, R. (1996). Water disputes in middle-eastern countries. *Ankara, Aydınlar Ocağı, Panel series 17*.
- M, F. (1990). Global Water Issues Confronting Humanity. *Journal of Peace Research*, May.
- Orhan, T. (1994). *Sınıraşan Sular ve Orta Doğu'da Su Sorunu*. İstanbul: HAK Yayınları.
- Osman, T. (2012). *Güneydoğu Anadolu Projesi'nin Türkiye'nin Ekonomik, Sosyal ve Dış Politikasına Etkileri*. İstanbul: Ekim yayınları.
- Ömer, E. (2001). *Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Bu Potansiyel 'in Kullanılması*. İstanbul: HAK Yayını.
- Özdemir, Y. Ö. (2000). Türkiye'de Aşağı Fırat'ın ve Dicle'nin güney kollarının uzun süreli akışları. *İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, 11(1), 2075-2100.

- Özdemir, Y. Ö. (2000b). Long-term discharges of Lower Euphrates' and Tigris' southern tributaries in Turkey. *Chamber of Civil Engineers, Digest 2000*, , 621-625. .
- Özden, B. (2000). *Turkey & Water Issues in The Middle East*. Ankara: Afşaroğlu Printing House.
- P, B. (1992). The Middle East & Europe: An integrated commission approach . *Water - A resource under pressure*. London, EC Commision Federal Trust for Education and Research. .
- Pazarcı, H. (1994). *Orta Doğu Ülkelerinde Su Sorunu*. Ankara: Tesav Yayınları.
- Sepetçioğlu, M. Y. (tarih yok). Gap Özelinde Türkiye Su Kaynaklı Yenilenebilir Enerji Projeleri Görünümü. *Türk Hidrolik Dergisi*,, 4(1), 1-10.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (1996, june). Water Issues Between Turkey, Syria and Iraq. Ankara.
- Taha Rauf. (2012). Deviations in the amount of annual Rainfall on Iraq, compared with the general rates during the period 1970/1971-1999/2000. *Diyala Journal*, 56, 57-88.
- Teclaff, L. A. (1978). Harmonizing Water Use and Development with Environmental Protection. *Albert E. Utton ve Ludwik A. Teclaff (der.)*, *Water in a Developing World-The Management of a Critical Resources*, . Colorado ABD: Westview Press.
- Türkdoğan Orhan. (1989). *Güneydoğu Anadolu Projesinin Sosyo Kültürel Yönü GAP ve GAP'ın Doğuracağı Sonuçlar*. İstanbul: Aydınlar Ocağı Yayınları Özel Matbaası.
- Ünver Olcay. (1999, November 16). Regional Socioeconomic Development and Water, The Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey.
- V., G., & N., A. (1994). Baraj Haznelerinin İklim Etkisi. *Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri-1*. Ankara.
- W., D. J. (1996). The Two Rivers and Lands Between: Mesopotamia and The International Law Of Transboundary Waters. *BYU Journal of Public Law*.
- Yussıf, F. (1983). Condensed history of water resources developments in Mesopotamia. *Water International*, 8(1), s. 19-22.

# Ultrasonic Assisted Adsorption of Acid Red-1 Using Magnetic Zeolitic Tuff: Experimental Design Methodology

Fatma Nur ÇATLIOĞLU<sup>1</sup> & Sema AKAY<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aksaray University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Chemistry, Aksaray, Turkey

Corresponding author e-mail: sema.akay7@gmail.com

**Abstract:** With the development of technology, the colored wastewater, which has been increasing in industry year after year, has become a serious threat to the ecosystem. Many techniques were used for removal from wastewater of various dyes used in the industry. The ultrasound-assisted adsorption is one of these techniques.

Solution of Acid Red-1 (AR-1) was treated in ultrasonic system using zeolitic tuff (ZT). ZT was embedded with magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles and characterized by SEM, EDX, BET and XRF analyses. By following response surface methodology based on the Box-Behnken design, the optimum conditions and effects of temperature, treatment time, initial AR-1 concentration, and adsorbent (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT) dosage parameters were determined. For AR-1, the optimum conditions were 35°C, 45 min treatment time, 5 mg L<sup>-1</sup> dye concentration, and 0.125 g L<sup>-1</sup> adsorbent dosage, where 73% adsorption could be obtained from the proposed model. When adsorbent dosage, temperature and treatment time have positive influence on adsorption, dye concentration affected it negatively. Consequently, it was demonstrated that the AR-1 removal obtained through ultrasound-assisted adsorption on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT is comparable to other treatment.

**Keywords:** Adsorption, Acid Red-1, Magnetic zeolitic tuff, Ultrasonic system, Response surface methodology

## Introduction

The primary concern in the developing countries is the presence of dyes and pigments in wastewater of different industries including textile, cosmetic, paper, printing, leather, plastic, and food, among others. As one of the major sources of wastewater, these effluents cause serious problems for environment, human health and other living organisms due to their toxic, carcinogenic and mutagenic effects (Khataee et al., 2017; Sohni et al., 2017).

Dyes can be divided into three groups as cationic, anionic and nonionic dyes. Among them, anionic dyes consist of acid dyes, reactive dyes, and direct dyes. Acid dyes, part of the larger family of azo dyes, are highly soluble in water and contain sulphonic acid groups which give the dye molecules a negative charge. These groups increase solubility in water, and cause serious organic and color pollution. (Zhou, Zhang & Cheng, 2015; Kayan, Akay, Kulaksız, Gözmen & Kalderis, 2017). Since wastewater formation cannot be prevented, its harmful effects to the environment can be reduced through a disposal system suitable for treatment and technique. The treatment of colored wastewater containing dyes was performed with different physicochemical and biological methods such as advanced oxidation processes, chemical oxidation, membrane technology, and adsorption. Among these methods, adsorption is one of the most influential treatment processes because of its ease of operation, flexibility, high efficiency, and low cost (Khataee et al., 2017; Dastkhon et al., 2015; Zhou, Zhang & Cheng, 2015). Different materials as adsorbent have been used for dye removal from wastewater through adsorption. Recently, natural porous minerals have been used in water purification as adsorbent because of their surface properties, abundance and low-cost (Gutiérrez-Segura, Solache-Ríos & Colín-Cruz, 2009; Humelnicu, Baiceanu, Ignat & Dulman, 2017). Among them, zeolitic tuff (ZT), which is a porous, natural volcanic tuff, has received increased attention, since it is one of the most widely available forms of zeolite, with a large geographic distribution and abundant quantities at low or no cost. Their high mechanical durability and considerable chemical resistance make them effective support material for adsorbents and different catalysts (Taban & Şimşek, 2009; Khataee et al., 2018; Baran, Akay & Kayan, 2020).

The nanomaterial based adsorbents are considered as an efficient option for treating the wastewater (Chaudhary, Kaur, Umar & Chaudhary, 2016). However, effortless separation of the adsorbed pollutants from the ambience requires a suitable adsorbent such as magnetic nanomaterials. In this regard, iron based magnetic nanomaterials have recently attracted great attention because of their unique properties such as relatively high surface area, superior separation efficiency, and easy recovery by a magnet. Moreover, it has been understood that integration of adsorption with other efficient treatment processes such as ultrasound and nano- adsorbents are another technique to enhance the efficiency and decrease the cost of adsorption. (Asfaram, Ghaedi, Hajati & Goudarzi, 2016; Chaudhary, Kaur, Umar & Chaudhary, 2016; Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017; Khataee et al., 2017).

The use of ultrasonic irradiation in adsorption leads to acceleration in chemical reactions and mass transfer on the adsorbent surface as a result of acoustic cavitation which involves the formation, growth, and collapsing of bubbles. Moreover, it has been well established that ultrasonic irradiation can be used as a very efficient technique in enhancing the adsorption since it increases the affinity between adsorbate and adsorbent. (Dastkhon et al., 2015; Asfaram, Ghaedi, Hajati & Goudarzi, 2016; Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017; Khataee et al., 2017).

In adsorption techniques, it is desirable to have knowledge of the interactions between the process variables and their impact on removal percentage / adsorption capacity in order to maximize the pollutants removal yield of the adsorbents. However, the traditional experimental design approach for optimization of process variables requires a very large number of batch experiments to be carried out, which would be very expensive and time consuming due to usage of high quantity of chemical and material. (Singh, Gupta, Singh & Sinha, 2011; Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017). Recently, some experimental design methods have been used for multivariable chemical process optimization. Response surface modeling (RSM) is a combination of mathematical and statistical techniques used for studying the effect of several variables influencing the responses and carrying out the minimum number of experiments. The main objective of RSM is to obtain the experimental conditions or optimum conditions of the adsorption process. At present, Box–Behnken design (BBD), central composite design (CCD), Placket–Burman design (PB) are utilized to design experiments. When it comes to investigating four independent variables, BBD is preferable to CCD due to the minimum number runs required to achieve 95% confidence level. A very scarce number of studies applying the experimental design and optimization approach for adsorption technique have been notified in literature (Singh, Gupta, Singh & Sinha, 2011; Zhou, Zhang & Cheng, 2015; Şener, Kayan, Akay, Gözmen & Kalderis, 2016; Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017). However, there is no information available in literature regarding the experimental design and optimization of Acid Red-1 (AR-1) dye adsorption on magnetic zeolitic tuff (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT).

The main objectives of this research are to (i) synthesize and immobilize Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles on the surface of ZT, (ii) examine the physicochemical characteristics of ZT and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT samples using SEM, EDX, BET and XRF analyses, (iii) investigate the effect of operating parameters such as concentration of AR-1, adsorbent dosage, temperature and treatment time by following RSM based on the Box-Behnken design.

## Experimental

### Materials

AR-1 dye, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O and FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O were purchased from Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). Stock solution of the dye (100 mg L<sup>-1</sup>) was prepared with ultra-pure water and used in appropriate concentrations with dilution from the initial stock solution.

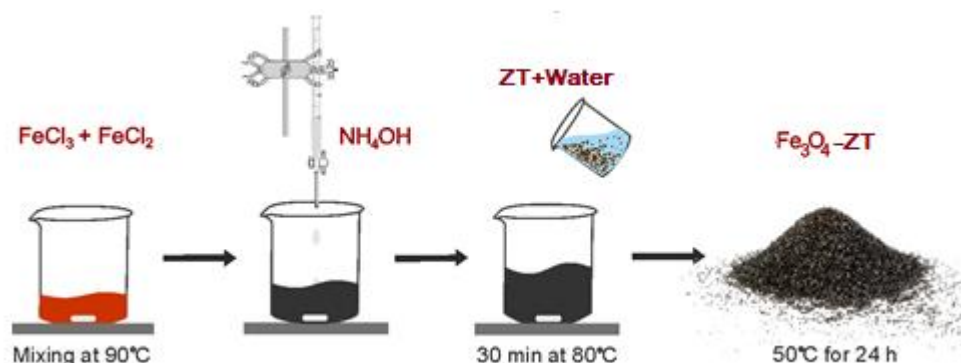
ZT was collected from Selime near Aksaray town in the Cappadocia region, and was dried at 30 °C for 1.5 days after washing and removing its impurities.

### Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT composite

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT was prepared through co-precipitation of iron oxide particles on the ZT surface in alkaline conditions. The procedure is reported in detail in (Gupta & Nayak, 2012), and is described as follows. FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (6.1 g), FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (4.2 g), ultra-pure water (100 mL) were added in a beaker and heated to 90 °C until complete dissolution of the iron salts. Solution of 10 mL of ammonia solution (26%) and solution of 1 g of ZT dissolved in 200 mL of water were added in this mixture sequentially, and stirred for 30 min at 80 °C. After 30 min, the suspension was allowed to cool to room temperature. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT composite was



collected as a black precipitate, by vacuum filtration and washed to neutral pH with distilled water. It was then dried at 50 °C for 24 h (Figure 1), and stored for further use.



**Figure 1.** Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT.

### Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT composite

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT (before and after dye adsorption) was morphologically characterized in scanning electron microscope (SEM, Zeiss/Supra 55, Germany). Energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy analysis was performed on ZT, using a Tescan Mira3 instrument (Czech Republic). The surface area, pore volume, pore size and nanoparticle size of ZT and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT were investigated using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) equation based on the nitrogen adsorption (Micromeritics, USA). The chemical composition of ZT was characterized using X-ray Fluorescence spectrometer (XRF) (Rigaku ZSX Primus II, Japan).

### AR-1 adsorption studies

The efficiency of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT composite has been investigated for AR-1 adsorption. RSM was used for experimental design and optimization, and the optimization conditions of the experiments were determined with the BBD method. The adsorption studies were performed in agreement with the method reported in Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017. Adsorption runs of AR-1 were conducted in a 100 ml erlenmeyer flask placed in an ultrasonic bath with frequency of 45 kHz and power of 80 W (VWR USC300TH, USA). Conforming to the Box–Behnken design, AR-1 solutions with concentrations ranging from 5 to 20 mg L<sup>-1</sup>, and appropriate quantities of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT were stirred in ultrasonic bath at the predetermined times (30-60 min) and temperatures (25-45 °C). After adsorption, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT was removed through magnet and final AR-1 concentration was measured in a UV–Vis spectrophotometer at a wavelength of 506 nm. Finally, the dye adsorption percentage was determined as follows (Eq. 1):

$$\text{Adsorption \%} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

where  $C_0$  and  $C_e$  are the initial and equilibrium concentration of AR-1 in mg L<sup>-1</sup>, respectively.

### Box-Behnken design and optimization of AR-1 adsorption

The statistical software package Design Expert v.9.0.6 (Stat-Ease Inc., Germany) was used to determine the experimental design, and optimization for adsorption. Initial AR-1 concentration ( $x_1$ ), treatment time ( $x_2$ ), temperature ( $x_3$ ), and adsorbent dosage ( $x_4$ ) were considered to be the independent variables (or factors) (Table 1). Each factor was coded at three levels (−1, 0, 1), which yielded a total number of 29 experimental runs (Table 4).

**Table 1.** The level and range of independent variables for AR-1 adsorption

Independent variables	Factor	Range and levels		
		-1	0	+1
Initial AR-1 concentration (mg L <sup>-1</sup> )	$x_1$	5	12.5	20
Treatment Time (min)	$x_2$	30	45	60
Temperature (°C)	$x_3$	25	35	45
Adsorbent dosage (g L <sup>-1</sup> )	$x_4$	0.025	0.075	0.125

The experimental data obtained were fitted into a polynomial second degree model described by the following Eq. (2).

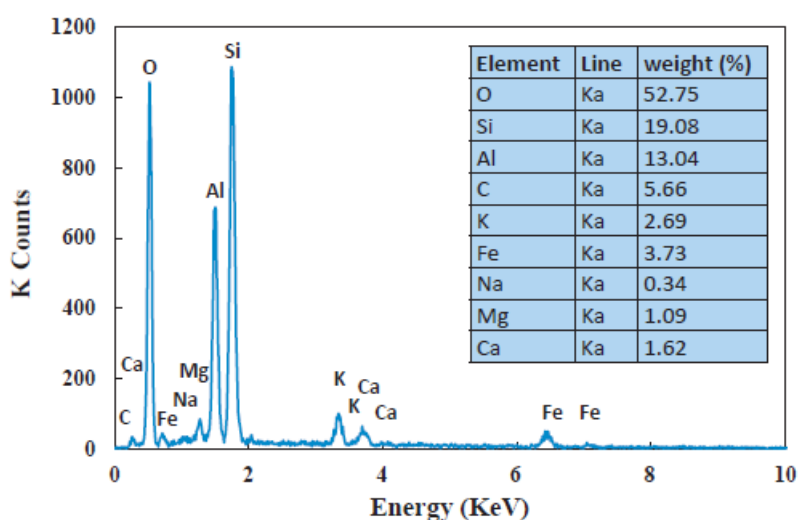
$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \varepsilon \quad (2)$$

where, Y is the predicted response,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ - $\beta_3$ ,  $\beta_{11}$ - $\beta_{33}$  and  $\beta_{12}$ - $\beta_{23}$  are the constant coefficient, the linear coefficient, the quadratic coefficient and the interaction coefficient, respectively.  $x_1$ - $x_3$  are the independent variables, and  $\varepsilon$  is the residual error (Zhou, Zhang & Cheng, 2015). The adequacy of the proposed model and the influence of each binary and quadratic term on the response Y was determined by analysis of variance (ANOVA). Three-dimensional (3D) surface plots were plotted within the experimental range by holding two variable constant in the model. Finally, the optimal conditions for maximum AR-1 adsorption were determined.

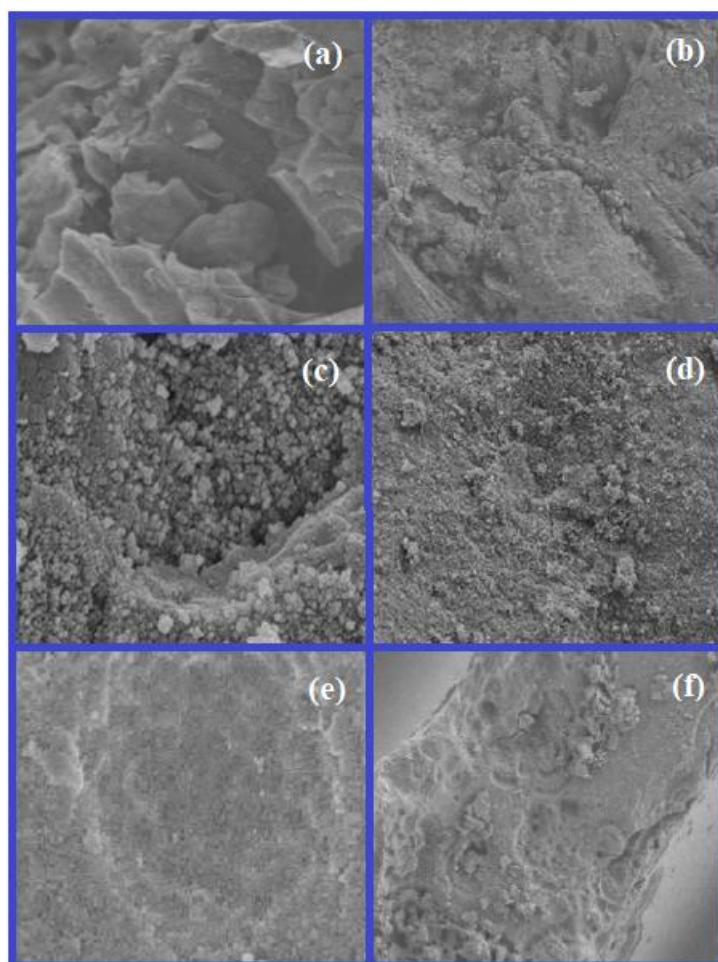
## Result and discussion

### Characterization

The elemental composition and the morphological properties of ZT were characterized by EDX and SEM analyses (Figure 2 and Figure 3). Our previous study demonstrated that elemental composition of pure ZT determined using EDX (Khataee et al., 2018). Figure 2 shows that the pure ZT comprised O, Si, Al, C, K, Na, Mg and Ca elements. It is also seen that the nature of the ZT structure contains Fe at rate of 3.73%.



**Figure 2.** EDX analysis of pure ZT.



**Figure 3.** SEM micrographs of pure ZT (a-b), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT (c-d) and after adsorption (e-f).

ZT (Figure 3a-b) has irregular shapes and rough surfaces. The particle size of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles loaded on the ZT surface is shown in Figure 3c-d. As shown in Figure 3c and d, the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles have spherical particles, with diameters at an average value of 30 nm. It can be seen that iron nanoparticles were uniformly immobilized and synthesized on ZT surface successfully. Figure 3a and b show the relatively rough surface of pure ZT before adsorption, whereas Figure 3e and f obviously show a more homogeneous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT surface covered with AR-1 clusters after adsorption.

Changes observed in surface area, pore volume, pore size and nanoparticle size during the immobilization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles on ZT is shown in Table 2. The BET surface area, pore volume and pore size of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT nanocomposite was higher than the pure ZT. However, nanoparticle size also appears to be greatly reduced. These differences may be attributed to the presence of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles on the modified ZT. Therefore, it was supposed that the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles were immobilized onto the surface of ZT.

**Table 2.** BET results for pure ZT and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT

Adsorbent	Surface area (m <sup>2</sup> /g)	Pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	Pore size (Å)	Nanoparticle size (Å)
Pure ZT	0.92	0.21	36.82	40609.91
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZT	76.36	0.27	139.03	1382.45

The chemical composition of ZT resulted from the XRF analysis (our previous study) is shown in Table 3 (Khataee et al., 2018). Even though the main constituent of pure ZT was Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O other components including CaO, MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> could also be observed in their structure. The structure of ZT contained the most SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compounds and the weight percent (wt.%) of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in ZT were 46.519% and 9.493%, respectively.

**Table 3.** The chemical composition of pure ZT

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>
ZT	9.493	1.025	3.533	3.754	1.280	0.112	0.532	0.085	46.519	0.223	0.12

**AR-1 adsorption on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT**

To evaluate the efficiency of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT on adsorption AR-1, a total of 29 experiments were performed, as indicated by the BBD and adsorption results obtained are shown in Table 4.

**Table 4.** Box–Behnken design and experimental results for AR-1

Run no	Factor X <sub>1</sub>	Factor X <sub>2</sub>	Factor X <sub>3</sub>	Factor X <sub>4</sub>	Response
	Concentration (mg L <sup>-1</sup> )	Time (min)	Temperature (°C)	Adsorbent dosage (g L <sup>-1</sup> )	Adsorption (%)
1	5	30	35	0.075	45
2	20	30	35	0.075	31
3	5	60	35	0.075	53
4	20	60	35	0.075	36
5	12.5	45	25	0.025	17
6	12.5	45	45	0.025	23
7	12.5	45	25	0.125	52
8	12.5	45	45	0.125	66
9	5	45	35	0.025	22
10	20	45	35	0.025	11
11	5	45	35	0.125	73
12	20	45	35	0.125	54
13	12.5	30	25	0.075	32
14	12.5	60	25	0.075	42
15	12.5	30	45	0.075	47
16	12.5	60	45	0.075	51
17	5	45	25	0.075	42
18	20	45	25	0.075	34
19	5	45	45	0.075	52
20	20	45	45	0.075	48
21	12.5	30	35	0.025	22
22	12.5	60	35	0.025	28
23	12.5	30	35	0.125	56
24	12.5	60	35	0.125	61
25	12.5	45	35	0.075	50
26	12.5	45	35	0.075	51
27	12.5	45	35	0.075	51
28	12.5	45	35	0.075	51
29	12.5	45	35	0.075	50

At the conditions determined by the BBD, adsorption ranged from 11 to 73%. The lowest adsorption % was obtained at a temperature of 35 °C, treatment time of 45 min, initial AR-1 concentration of 20 mg L<sup>-1</sup>, and adsorbent dosage of 0.025 g L<sup>-1</sup>. The highest was performed at a temperature of 35 °C, treatment time of 45 min, initial AR-1 concentration of 5 mg L<sup>-1</sup>, and adsorbent dosage of 0.125 g L<sup>-1</sup>.

The model was tested by ANOVA to provide the statistical significance of the proposed model, as shown in Table 5.

**Table 5.** ANOVA results of the quadratic model for AR-1 adsorption

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-value	p-value
--------	----------------	--------------------	-------------	---------	---------

<b>Model</b>	6157.60	14	439.83	33.09	<0.0001
A-Concentration	457.07	1	457.07	34.38	<0.0001
B-Time	117.25	1	117.25	8.82	0.0101
C-Temperature	366.75	1	366.75	27.59	0.0001
D-Adsorbent dosage	4783.61	1	4783.61	359.86	<0.0001
AB	1.51	1	1.51	0.1138	0.7409
AC	2.98	1	2.98	0.2238	0.6434
AD	19.94	1	19.94	1.50	0.2409
BC	13.99	1	13.99	1.05	0.3224
BD	0.1482	1	0.1482	0.0112	0.9174
CD	14.55	1	14.55	1.09	0.3131
A <sup>2</sup>	129.72	1	129.72	9.76	0.0075
B <sup>2</sup>	102.01	1	102.01	7.67	0.0150
C <sup>2</sup>	85.80	1	85.80	6.45	0.0235
D <sup>2</sup>	253.24	1	253.24	19.05	0.0006
<b>Residual</b>	186.10	14	13.29		
Lack of fit	185.61	10	18.56	151.36	0.0001
Pure error	0.4905	4	0.1226		
<b>Total</b>	6343.71	28			

R<sup>2</sup>: 0.9707 - R<sup>2</sup><sub>adj</sub>: 0.9413 - CV%: 8.44 - Adequate precision: 19.9358

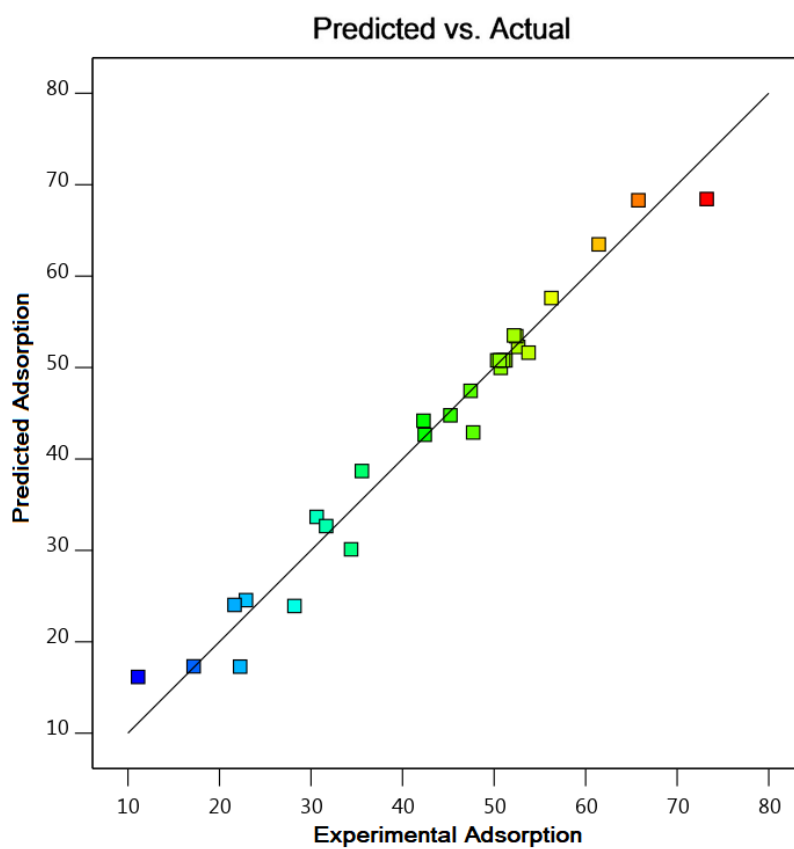
The predicting ability of the proposed model was performed using the F-value, p-value, correlation coefficient (R<sup>2</sup>), and adjusted correlation coefficient (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>) (Sarkar & Majumdar, 2011). It was indicated that the proposed model was highly significant because of a very high F value (33.09) and a very low p-value (p < 0.0001). R<sup>2</sup> and R<sup>2</sup><sub>adj</sub> values for AR-1 were obtained as 0.9707 and 0.9413, respectively. The coefficient of variance (CV) was determined as 8.44, and indicated high precision and very reliable data. The adequate precision value is the signal to noise ratio and the ratio of 19.9358 for AR-1 indicates an adequate signal.

The experimental results were fitted into Eq. (2) presented earlier. After elimination of negligible variables and their influences, the following equation was derived, which mathematically describes the adsorption of AR-1 on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT:

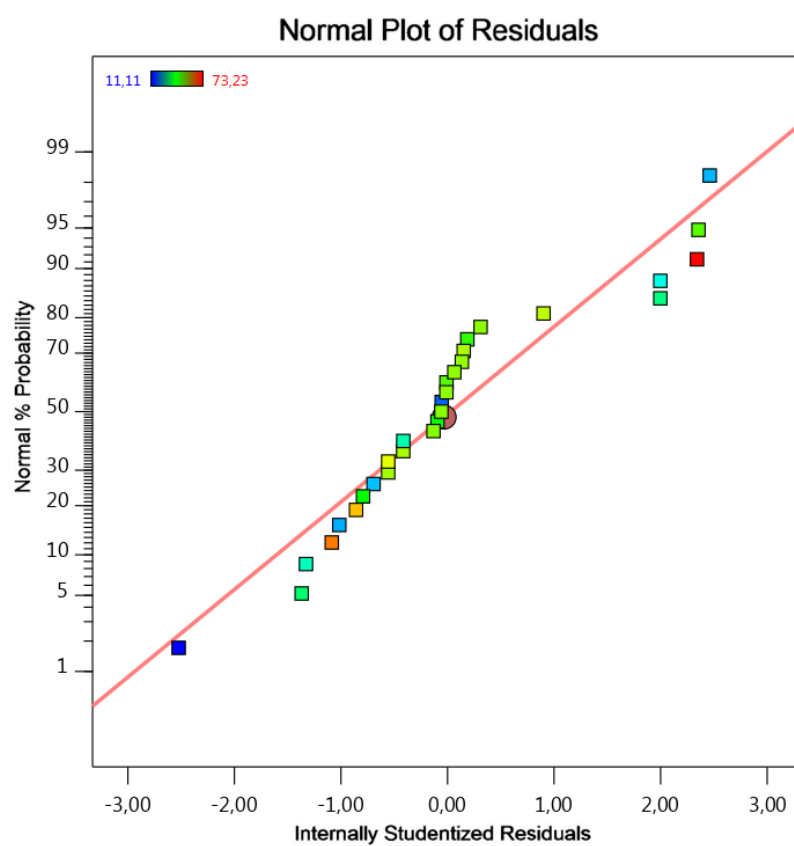
$$Y = 50.78 - 6.17x_1 + 3.13x_2 + 5.53x_3 + 19.97x_4 - 0.6150x_1x_2 + 0.8625x_1x_3 - 2.23x_1x_4 - 1.87x_2x_3 - 0.1925x_2x_4 + 1.91x_3x_4 - 4.47x_1^2 - 3.97x_2^2 - 3.64x_3^2 - 6.25x_4^2 \quad (3)$$

The effect each of these terms created can be ranked as follows: adsorbent dosage (x<sub>4</sub>) > temperature (x<sub>3</sub>) > time (x<sub>2</sub>) > concentration (x<sub>1</sub>). As shown in Eq. 3, adsorbent dosage is the most influential factor, while concentration is the lesser important factor.

BBD method is confirmed by the following graphs, in which it is compatible with adsorption experiments. The comparison between predicted and actual values for adsorption of AR-1 is shown in Figure 4. The correlation coefficients (R<sup>2</sup>=0.9707 and R<sup>2</sup><sub>adj</sub>=0.9413) indicate the reliability of the proposed model.



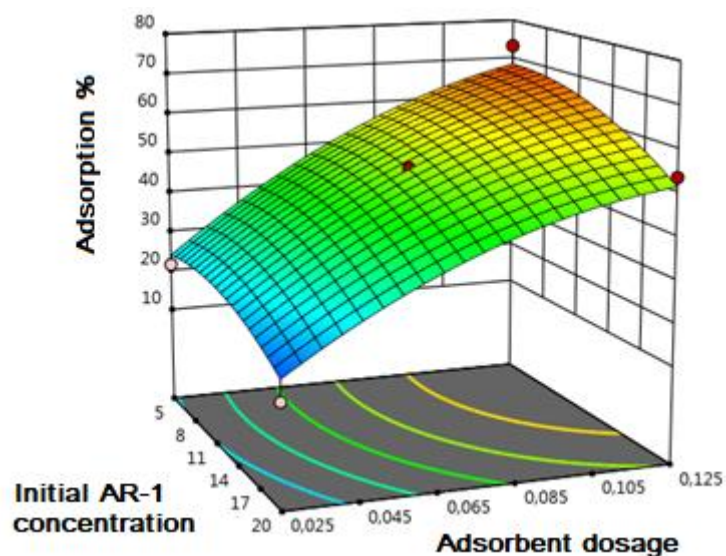
**Figure 4.** The predicted and actual plot of AR-1 adsorption.



**Figure 5.** The residual and normal % probability plot of adsorption %.

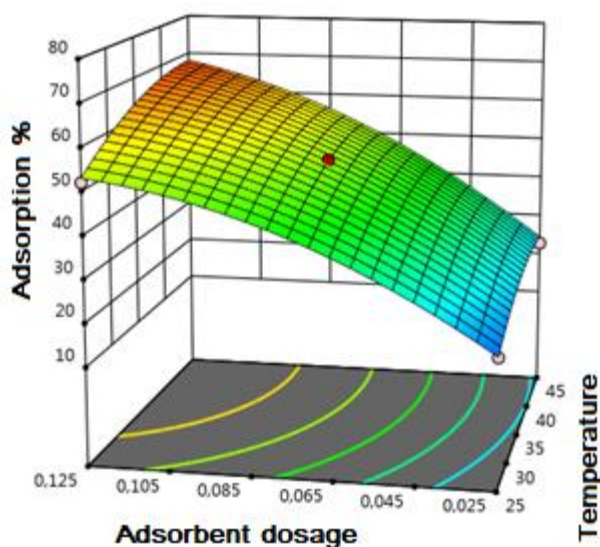
Figure 5 indicates a plot of the normal probability of the standardized residuals that should be normally distributed for adsorption percent of AR-1. The standardized residuals demonstrate how good the proposed model fulfills the hypothesis of the ANOVA.

In order to gain a better understanding of the effect of each independent variable and the interactions between them, three-dimensional (3D) response surface plot for the measured responses of AR-1 was created based on the model Eq. (3). 3D surface plots were plotted within the experimental range and by holding two variable constant in the proposed model.



**Figure 6.** 3-D surface plots for the interactive effect of initial AR-1 concentration and adsorbent dosage.

The interactive effect of the adsorbent dosage and initial AR-1 concentration on the adsorption percent, while holding temperature at 25 °C and treatment time 45 min is shown in Figure 6. When the initial AR-1 concentration was increased from 5 to 20 mg L<sup>-1</sup>, adsorption was decreased from 42 to 34%. As the adsorbent dosage was raised (from 0.025 to 0.125 g L<sup>-1</sup>) adsorption was increased from 17 to 52%. Contrary to lower dye concentrations, at higher dye concentrations lower adsorption yield is because of the saturation of active adsorption areas. The efficiency in adsorption percentage with raising adsorbent dosage is due to its high surface area and abundant active center (Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017). Consequently, at higher adsorbent dosage probably due to increase in specific surface area and availability of more reactive surface sites the adsorption percentage significantly increased.

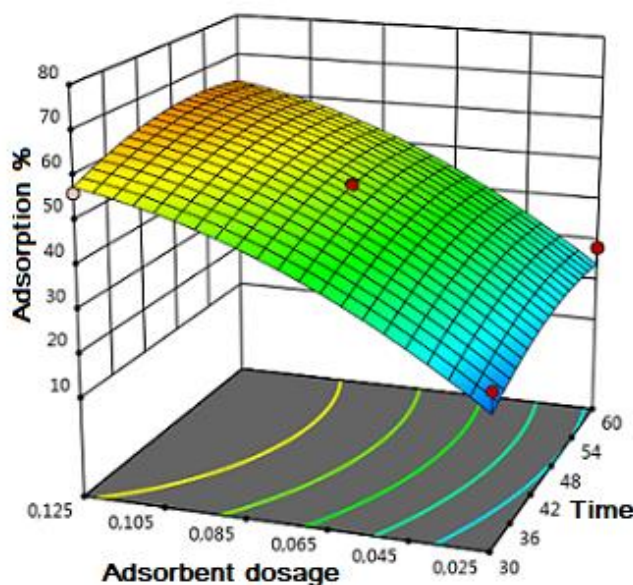


**Figure 7.** 3-D surface plots for the interactive effect of adsorbent dosage and temperature.

The interactive effect of the adsorbent dosage and temperature (at constant time of 45 min and initial AR-1 concentration of 12.5 mg L<sup>-1</sup>) is shown in Figure 7. It was observed that the adsorption increased from 52%



to 66%, when the temperature was increased from 25 °C to 45 °C. Similar behavior was observed by raising of adsorbent dosage from 0.025 to 0.125 g L<sup>-1</sup>, where adsorption increased from 23% to 66%. Therein, temperature can be considered as one of the effective factors of the process. But, it has been found to be less effective, although the temperature factor has a positive effect alongside the adsorbent dosage factor (Eq. 3).



**Figure 8.** 3-D surface plots for the interactive effect of adsorbent dosage and treatment time.

Figure 8 shows the combined effect of adsorbent dosage and treatment time at a constant temperature and initial AR-1 concentration. As the time increased from 30 to 60 min, adsorption was increased from 32% to 42%. Similar behavior was also observed when adsorbent dosage was raised from 0.025 to 0.125 g L<sup>-1</sup>, where AR-1 adsorption was increased from 22% to 56%. Treatment time appeared to have very little effect in the AR-1 adsorption. The adsorption of AR-1 increased with increasing adsorbent dosage. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT used as adsorbent had a high surface area value (76.36 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) due to magnetic particles on surface. Increasing the adsorbent dosage increased the number of active surface areas for adsorption.

Additionally, the experiments were carried out in an ultrasonic bath in order to make the adsorption process more efficient and to make the pore structures more open by benefiting from the cavitation power. It has been observed in earlier studies that the adsorption process was improved by increasing the mass transfer by applying ultrasonic sound waves in the solution (Bagheri, Ghaedi, Asfaram, Bazrafshan & Jannesar, 2017; Khataee et al., 2017).

The main objective of RSM was to determine the optimum values of the independent variables in order to maximize the response. According to the BBD, the optimum conditions were 35 °C, 45 min treatment time, 5 mg L<sup>-1</sup> dye concentration, and 0.125 g L<sup>-1</sup> adsorbent dosage, where 73% adsorption could be obtained from the proposed model.

## Conclusions

ZT, which was both cheap and natural, was preferred as adsorbent support material. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZT was synthesized and evaluated as a novel adsorbent for AR-1 adsorption. Adsorption efficiency was optimized by the application of the BBD in combination with RSM. The optimum conditions and effects of AR-1 concentration, treatment time, temperature, and adsorbent dosage parameters were determined. At the conditions determined by the BBD, adsorption ranged from 11 to 73%. The lowest adsorption % was obtained at a temperature of 35 °C, treatment time of 45 min, initial AR-1 concentration of 20 mg L<sup>-1</sup>, and adsorbent dosage of 0.025 g L<sup>-1</sup>. The highest was performed at a temperature of 35 °C, treatment time of 45 min, initial AR-1 concentration of 5 mg L<sup>-1</sup>, and adsorbent dosage of 0.125 g L<sup>-1</sup>. Adsorption % for AR-1 was decreased as the dye concentration was increased. Treatment time appeared to had very little effect in the AR-1 adsorption. It was found to be less effective, although the temperature factor had a positive effect alongside the adsorbent dosage factor. As the adsorbent dose increased, so did the adsorption %, indicating dependence on the adsorbent's high surface area and reactive surface sites. Consequently, it was determined that adsorbent dosage was the most influential factor of all the factors examined.



The ANOVA results showed that the proposed model was highly significant due to a very high F value (33.09) and a very low p-value ( $p < 0.0001$ ). Furthermore,  $R^2$  values indicated that the proposed model was highly significant to the obtained data and capable of describing the relationship between the adsorption conditions and the responses.

## References

- Khataee, A., Kayan, B., Kalderis, D., Karimi, A., Akay, S., & Konsolakis, M. (2017). Ultrasound-assisted removal of Acid Red 17 using nanosized  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -loaded coffee waste hydrochar. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35(Part A), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.09.004>
- Sohni, S., Gul, K., Ahmad, F., Ahmad, I., Khan, A., Khan, N., & Khan, S. B. (2017). Highly efficient removal of Acid Red-17 and bromo phenol blue dyes from industrial wastewater using graphene oxide functionalized magnetic chitosan composite. *Polymer Composite*, 39(9), 3317-3328. <https://doi.org/10.1002/pc.24349>
- Kayan, B., Akay, S., Kulaksız, E., Gözmen, B., & Kalderis, D. (2017). Acid Red 1 and Acid Red 114 decolorization in  $\text{H}_2\text{O}_2$ -modified subcritical water: process optimization and application on a textile wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 59, 248–261. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.0552>
- Dastkhooon, M., Ghaedi, M., Asfaram, A., Goudarzi, A., Langroodi, S. M., Tyagi, I., Agarwal, S., & Gupta, V.K. (2015). Ultrasound assisted adsorption of malachite green dye onto ZnS: Cu-NP-AC: equilibrium isotherms and kinetic studies–response surface optimization. *Separation and Purification Technology*, 156(Part 2), 780–788. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.11.001>
- Asfaram, A., Ghaedi, M., Hajati, S., & Goudarzi, A. (2016). Synthesis of magnetic c- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - based nanomaterial for ultrasonic assisted dyes adsorption: modeling and optimization, *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 418–431. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.04.011>
- Chaudhary. S.. Kaur. Y.. Umar. A. & Chaudhary. G.R. (2016). 1-Butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate functionalized ZnO nanoparticles for removal of toxic organic dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 220, 1013–1021. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.05.011>
- Bagheri, A.R., Ghaedi, M., Asfaram, A., Bazrafshan, A. A., & Jannesar, R. (2017). Comparative study on ultrasonic assisted adsorption of dyes from single system onto  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetite nanoparticles loaded on activated carbon: Experimental design methodology, *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 294-304. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.047>
- Baran, T., Akay, S., & Kayan, B. (2020). Fabrication of palladium nanoparticles supported on natural volcanic Tuff/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and its catalytic role in microwave-assisted Suzuki–Miyaura coupling reactions. *Catalysis Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10562-020-03378-7>
- Şener, M., Kayan, B., Akay, S., Gözmen, B., & Kalderis, D. (2016). Fe-modified sporopollenin as a composite biosorbent for the removal of  $\text{Pb}^{2+}$  from aqueous solutions, *Desalination and Water Treatment*, 57(58) 1–19. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1182449>
- Gupta, V. K., & Nayak, A. (2012). Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents prepared from orange peel and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 180, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.006>
- Singh, K. P., Gupta, S., Singh, A. K., & Sinha, S. (2011). Optimizing adsorption of crystal violet dye from water by magnetic nanocomposite using response surface modeling approach. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 1462–1473. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.032>
- Zhou, Y., Zhang L., & Cheng, Z. (2015). Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 739–762. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.10.023>
- Khataee, A., Gholami, P., Kayan, B., Kalderis, D., Dinpazhoh, L., & Akay, S. (2018). Synthesis of  $\text{ZrO}_2$  nanoparticles on pumice and tuff for sonocatalytic degradation of rifampin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 349–361. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.008>

Gutiérrez-Segura, E., Solache-Ríos, M., & Colín-Cruz, A. (2009). Sorption of indigo carmine by a Fe-zeolitic tuff and carbonaceous material from pyrolyzed sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3) 1227–1235. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.102>

Humelnicu, I., Baiceanu, A., Ignat, M-E., & Dulman, V. (2017). The removal of Basic Blue 41 textile dye from aqueous solution by adsorption onto natural zeolitic tuff: Kinetics and thermodynamics. *Process Safety and Environmental Protection*, 105, 274–287. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.016>

Taban, S., & Şimşek, O. (2009). Zeolitik tuf katkı oranı ve deniz suyunun çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 145-153.

Sarkar, M., & Majumdar, P. (2011). Application of response surface methodology for optimization of heavy metal biosorption using surfactant modified chitosan bead. *Chemical Engineering Journal*, 175, 376–387. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.125>

# Early Age Performance And Mechanical Characteristics of Concrete Which is Used in Service Buildings

Nildem TAYŞI\* & Yunus ÇELİK\*\*

\*Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, taysi@gantep.edu.tr

\*\*Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, clk.ynus@gmail.com

## Abstract

Concrete has an important place in construction industry. Its widespread usage makes concrete attractive and requires investigation in every aspect. Early age compressive strength specification, which is one of the mechanical properties of concrete, can be given as an example. The aim of this paper is to examine the early compressive strength of concrete used in service buildings that need to be built quickly for some various reasons. In order to achieve this aim, various concrete samples with C25/30 and C30/37 concrete classes, which are widely used in service buildings, have been tested and test results have been examined according to the relevant standards. Relation between early age and hardened concrete characteristic and especially compressive strengths are investigated according to test results. As a result of this analysis capacity of early age concrete is assessed and possible application problems of concrete capacity are examined.

**Key Words:** Concrete, early age of concrete, compressive strength capacity of concrete

## Introduction

Concrete is described as composed of the cement, aggregates, water, with or without inclusion of the admixture and fibers, which develops its properties like strength, durability etc. by hydration (TS EN 206, 2014). Production of this material begins with a calculation, which is performed according to TS 802 standard, and this calculation is recorded on a report which is called as mix design. These materials that are specified on mix design report, are mixed according to rules that are described in TS EN 206 standard after that, samples are taken from this mix. These samples are tested to be sure that mix design are satisfying the desired concrete specifications like workability (slump), compressive strength, durability etc.

For monitoring the concrete specifications especially compressive strength which is one of the mechanical properties of concrete, service building project is selected and concrete samples which are tested, are taken from this project.

These concrete samples are belong to structural member of service building like foundation, column, shear wall and slab. After testing of concrete, tests result are assessed according to relevant standards and early age of concrete is monitored according to both design and realized compressive strength.

As a result of early age assessment, some possible application of early age performance are discussed. One of application might be prediction of both the real compressive strength and compressive strength class of concrete. Other application might be removal of formwork before 28 days with early age of compressive strength result.

## About Service Building

The Project comprises the design, construction, maintenance and operation of a new integrated health campus in the city of Gaziantep, Turkey. The hospital project has 1875 beds capacity and consists of healthcare buildings (Oncology, Pediatric, Psychiatry, Operation rooms, Physical therapy and rehabilitation hospital, high security forensic hospital etc.) including administration and provincial health directorate building. The plot assigned to the Project is 330000 m<sup>2</sup> to the south east of Gaziantep city center. Total estimated amount of concrete for this project is 500000 m<sup>3</sup>. To make concrete delivery easily accessible and effectively, concrete is produced in a batching plant which is installed in the construction site, for this project. All concrete tests like compressive strength, slump, measurement of temperature etc. are conducted by accredited laboratory.



**Figure 1.** Model of Gaziantep integrated health campus project concept

## Materials and Methods

### Materials

C25/30 and C30/37 class of concrete, which are used for constructing of Gaziantep integrated health campus project, are chosen as materials for this paper. Mix design of these concrete classes are shown in Table 1 and Table 2. As a chemical admixture water reducing/plasticizing admixture is selected to reduce the water content without effecting consistency of concrete and increase the flowing (slump) of concrete to make concrete workability easily (TS EN 934-2, 2010), with solid content 29 %.

Environmental conditions of the service building is also important while preparing of the mix design, therefore according to TS EN 206 Annex F exposure class for Gaziantep city is selected as XC1. This means that concrete inside the building is under low air humid and submerged permanently in the water and the weather is dry or permanently wet according to TS EN 206. This exposure class also has minimum requirements related to water-cement ratio, compressive strength class and amount of cement (kg). Comparison between exposure class requirements and compressive strength class is given in Table 3.

**Table 1.** Mix design report of C25/30 class of concrete

Ingredients	Type of material	Specific gravity of material	For 1 m <sup>3</sup>		
			Ratio (%)	Volume (lt)	Amount (kg)
Cement	CEM II A-P 52.5 N	3.10	-	90.3	280.0
Water	Domestic Water	1.00	60	165.0	165.0
Admixture		1.12	1.5	3.8	4.20
Aggregates (mm)	0-5	2.62	60	444.5	1165.0
	5-12	2.70	16.5	122.3	330.0
	12-22	2.72	23.5	174.1	474.0

**Table 2.** Mix design report of C30/37 class of concrete

Ingredients	Type of material	Specific gravity of material	For 1 m <sup>3</sup>		
			Ratio (%)	Volume (lt)	Amount (kg)
Cement	CEM II A-P 52.5 N	3.10	-	103.2	320.0
Water	Domestic Water	1.00	54.2	170.0	170.0
Admixture		1.12	1.5	4.3	4.80
Aggregates (mm)	0-5	2.62	58.0	419.0	1098.0
	5-12	2.70	17.0	122.8	332.0
	12-22	2.72	25.0	180.6	491.0

**Table 3.** Comparison between exposure class requirements and concrete classes (TS EN 206, 2014)

	Exposure class requirements	C25/30 Mix design parameters	C30/37 Mix design parameters
Maximum water-cement ratio	0.65	0.60	0.54
Minimum compressive strength class	C20/25	C25/30	C30/37
Minimum cement (kg/m <sup>3</sup> )	260	280	320
Minimum air content (%)	-	-	-

## Methods

### Compressive Strength Testing Process

Compressive strength test are applied on hardened concrete sample for measuring the compressive strength specification of concrete. Firstly samples are taken from fresh concrete, these samples are poured into the cleaned cubicle molds and to get avoid from surpass air bubbles vibrator or table vibrator is used, after preparation of samples, labels which are all information like pouring date, pouring places etc., are placed on samples. These samples are kept into cubicle molds between 16 hours and 3 days (TS EN 12390-2, 2010). These concrete samples are kept into curing pool after taken out from cubicle molds, with condition which is described in TS EN 12390-2. These concrete samples are being tested after 7 and 28 days later according to TS EN 12390-3 with compressive strength test device. For early age compressive strength measurement 3 days old concrete samples are also tested. Test results are listed in Table 4 to Table 8.

**Table 4.** 3 days compressive strength results

Location	Concrete Class	Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )
----------	----------------	---	---

It is designed to be poured whole site	C25/30	18.9, 17.3	18.1
	C30/37	24.8, 22.6	23.7

**Table 5.** 7 days compressive strength results of C25/30 class of concrete

Pediatric Hospital Pouring Date: 01.07.2018		Provincial health directorate building Pouring Date: 02.07.2018	
Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )	Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )
25.4, 24.5, 25.0			
24.2, 26.7, 25.2		26.6, 26.7, 25.4	
27.4, 24.4, 25.1	25.7	24.5, 26.5, 25.3	25.4
26.4, 25.8, 25.6		23.8, 25.8, 23.7	
27.8			

**Table 6.** 7 days compressive strength results of C30/37 class of concrete

Location	Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )
Main hospital block Date: 04.07.2018	32.6, 32.6	32.6
Oncology hospital Date: 04.07.2018	33.0, 32.7, 33.3 32.8	33.0
Pediatric hospital Date: 04.07.2018	31.9, 31.2	31.6
General hospital Date: 04.07.2018	30.7, 31.1	30.9
Oncology Hospital Date: 04.07.2018	31.1, 31.0	31.1
Psychiatry hospital Date: 04.07.2018	31.9, 30.2	31.1
Pediatric hospital Date: 05.07.2018	29.9, 31.1	30.5
General hospital Date: 05.07.2018	30.3, 36.6	33.5
Main hospital block Date: 05.07.2018	32.7, 32.5	32.6
Psychiatry hospital Date: 05.07.2018	35.6, 34.7	35.2

**Table 7.** 28 days compressive strength results of C25/30 class of concrete

Pediatric Hospital Pouring Date: 01.07.2018	Provincial health directorate building
--	---

Pouring Date: 02.07.2018			
Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )	Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )
34.8, 34.7, 33.9			
35.4, 34.3, 35.0		33.9, 35.1, 33.5	
36.5, 34.4, 34.5		34.5, 34.7, 33.9	
33.7, 33.8, 33.0		34.8, 35.2, 36.5	
33.6, 34.5, 34.1	34.8	37.5, 34.0, 34.9	34.9
34.4, 36.2, 36.3		35.6, 34.7, 35.5	
35.2, 34.8, 35.5		34.4, 34.5, 34.3	
34.4, 36.1, 36.4			
34.9, 34.7			

**Table 8.** 28 days compressive strength results of C30/37 class of concrete

Location	Individual compressive strength results ( $f_{ci}(MPa)$ )	Average of compressive strength ( $f_{cm}(MPa)$ )
Main hospital block Date: 04.07.2018	39.5, 39.4, 39.2 40.2	39.6
Oncology hospital Date: 04.07.2018	39.2, 41.6, 39.9 41.4, 45.8, 40.7 39.5, 39.1	40.9
Pediatric hospital Date: 04.07.2018	40.4, 40.8, 41.3 39.7	40.6
General hospital Date: 04.07.2018	40.2, 41.5, 42.6 40.7	41.3
Oncology Hospital Date: 04.07.2018	40.2, 41.4, 41.3 40.1	40.8
Psychiatry hospital Date: 04.07.2018	40.1, 39.8, 40.9 39.0	40.0
Pediatric hospital Date: 05.07.2018	40.3, 39.1, 40.3 39.5	39.8
General hospital Date: 05.07.2018	41.8, 41.0, 39.8 41.2	41.0
Main hospital block Date: 05.07.2018	40.2, 39.9, 40.4 40.3	40.2
Psychiatry hospital Date: 05.07.2018	40.0, 42.2, 40.0 41.4	40.9

### Concrete Assessment Criteria and Early Age Performance

Concrete assessment criteria will be according to; exposure class requirements (see Table 3.), TS 13515 complementary standard for the implementation of TS EN 206 requirements.

**Table 9.** Assessment criteria for 28 days old concrete (TS 13515, 2014)

Number of sample "n"	First Criteria	Second Criteria
	Average compressive	Any result of

	strength test result ( $f_{cm}$ ) of “n” samples (MPa)	individual sample ( $f_{ci}$ ) (MPa)
1	Not Applicable	$\geq f_{ck}^*$
2-4	$\geq f_{ck}^* + 1$	$\geq f_{ck}^* - 4$
More than 5	$\geq f_{ck}^* + 2$	$\geq f_{ck}^* - 4$

\* $f_{ck}$  is the characteristic compressive strength of concrete. For testing of concrete cube molds are used therefore, for C25/30 class of concrete  $f_{ck}$  is equal to 30 MPa and for C30/37 class of concrete,  $f_{ck}$  is equal to 37 MPa.

Concrete assessment criteria can be according to TS 500 standard requirement as in Table 10 and all results should be satisfied both conditions simultaneously.

**Table 10.** Assessment criteria for 28 days age concrete (TS 500, 2000)

First Criteria	Second Criteria
Average compressive strength test result ( $f_{cm}$ ) of each party	Minimum compressive strength test result ( $f_{min}$ ) of each group in a party
$\geq f_{ck}^* + 1$	$\geq f_{ck}^* - 3$

\* $f_{ck}$  is the characteristic compressive strength of concrete. For testing of concrete cube molds are used therefore, for C25/30 class of concrete  $f_{ck}$  is equal to 30 MPa and for C30/37 class of concrete  $f_{ck}$  is equal to 37 MPa.

Note that a party can be defined as concrete samples are taken according to concrete sample plan, which is specified in TS 13515 for each pouring. And a group is can be defined as average of the 3 samples which are taken as in order, in a party.

Fresh concrete becomes hardened at the same time concrete gains strength. These strengths can be compressive, tensile etc. Compressive strength specification is one of the most important specifications of hardened concrete material and it reaches the designed compressive strength at the end of the 28th days except some special concrete. Therefore, early age of concrete can be defined as simply, concrete which is not reached 28 days old. Compressive strength capacity of concrete can be defined as, ability of compressive strength results of any day old of a concrete to reach its designed result. For this paper compressive strength capacity of concrete will be taken as percentage and it will be calculated (1.1) equation. Concrete capacity (CC) for any x days old of concrete;

$$CC_x = (f_{cm} / f_{ck}) \times 100 \quad (1.1)$$

To be at the safety side, smallest compressive strength results will be taken into consideration. Concrete performance will be calculated for both characteristic compressive strength and realized compressive strength.

## Result and Discussion

Compressive strength assessment and early age performance (capacity) of concrete can be summarized as;

1. According to exposure class requirements, mix designs of both C25/30 and C30/37 class of concrete are satisfied.
2. TS 13515 standard requirements (as in Table 11) are satisfied for all compressive strength results.



**Table 11.** TS 13515 compressive strength result requirements

Concrete Class	First Criteria	Second Criteria
	Average compressive strength test result ( $f_{cm}$ ) of “n” samples (MPa)	Any result of individual sample ( $f_{ci}$ ) (MPa)
C25/30	Not Applicable	$\geq 30$
	$\geq 31$	$\geq 26$
	$\geq 32$	$\geq 26$
C30/37	Not Applicable	$\geq 37$
	$\geq 38$	$\geq 33$
	$\geq 39$	$\geq 33$

3. According to TS 500 standard requirements as seen in Table 12, all compressive strength results for both criteria are satisfied simultaneously.

**Table 12.** TS 500 compressive strength result requirements

Concrete Class	First Criteria	Second Criteria
	Average compressive strength test result ( $f_{cm}$ ) of each party	Minimum compressive strength test result ( $f_{min}$ ) of each group in a party
C25/30	$\geq 31$	$\geq 27$
C30/37	$\geq 38$	$\geq 34$

4. Concrete Capacity according to characteristic strength;

For C25/30 class of concrete;

$$CC_3 = \left( \frac{18,1}{30} \right) \times 100 = 60,3\% \quad (1.2)$$

$$CC_7 = \left( \frac{25,4}{30} \right) \times 100 = 84,7\% \quad (1.3)$$

For C30/37 class of concrete;

$$CC_3 = \left( \frac{23,7}{37} \right) \times 100 = 64,1\% \quad (1.4)$$

$$CC_7 = \left( \frac{30,5}{37} \right) \times 100 = 82,4\% \quad (1.5)$$

5. Concrete Capacity according to realized strength;

For C25/30 class of concrete;

$$CC_3 = \left( \frac{18,1}{34,9} \right) \times 100 = 51.8\% \quad (1.6)$$

$$CC_7 = \left( \frac{25,4}{34,9} \right) \times 100 = 72.8\% \quad (1.7)$$

For C30/37 class of concrete;

$$CC_3 = \left( \frac{23,7}{41,3} \right) \times 100 = 57.4\% \quad (1.8)$$

$$CC_7 = \left( \frac{30,5}{39,8} \right) \times 100 = 76.6\% \quad (1.9)$$

Concrete capacity can be changed in point of view of design (characteristic) and realized compressive strength result. It can be summarized in Table 13;

**Table 13.** Capacity comparison for C25/30 and C30/37 class of concrete

Class of concrete	Designed Compressive Strength (%)		Realized Compressive Strength (%)	
	$CC_3$	$CC_7$	$CC_3$	$CC_7$
C25/30	60.3	84.7	51.8	72.8
C30/37	64.1	82.4	57.4	76.6

### Possible Applications of Early Age Performance (Capacity)

The first application might be prediction of compressive strength class of concrete. Compressive strength result of early age concrete shows that we can predict both the real compressive strength and class of concrete. After mixing a new design it should be waited to get design compressive strength class for 28 days, so to interfere the failure of concrete mix design, we can use 3 and 7 days compressive strength performance (capacity) to predict exact and designed compressive strength results.

The second application might be related to removal of formwork. After pouring of concrete, due to hydration process concrete start to gain strength and it can be reached to design strength within 28 days. This means that the formwork should be installed until 28 days and if there is no enough material to install the new formwork system, the concrete work cannot be performed within 28 days and the works like screed, ceramic tiling etc. which are come after concrete work cannot be performed either. This situation will cause delaying in work planning program and effecting the cost of project. To prevent such problem, formwork can be removed before 28 days within rules are specified in TS 500. This standard does not give exact value of compressive strength result. For this purpose, it can be requested to check design loads and realized loads as in Table 14, than required compressive strength for removal of formwork can be re-evaluated.

**Table 14.** Design and Realized Loads

	Designed Loads	Realized Loads
Concrete Self	2,5 t/m <sup>3</sup>	2,5 t/m <sup>3</sup>

Weight		
Screed	140 kg/m <sup>2</sup>	140 kg/m <sup>2</sup>
Aerated Concrete Wall	1 t/m <sup>3</sup>	1 t/m <sup>3</sup>
Suspended Ceiling	45 kg/m <sup>2</sup>	Will not installed within 28 days
Gypsum board partition wall	45 kg/m <sup>2</sup>	Will not installed within 28 days
Live load	500 kg/m <sup>2</sup>	150 kg/m <sup>3</sup> (only workers loads)
Mechanical devices load	500 kg/m <sup>2</sup>	Will not installed within 28 days
Snow Load	1,3 kN/m <sup>2</sup>	The concrete work is performed in summer season
Wind Load	Calculated	Will be taken into consideration.
Earthquake Load	Calculated	Will be taken into consideration.
Heat Load	Calculated	Will be taken into consideration.

## Conclusions

Concrete is the material that has immense importance in construction sector because, it can be shaped in accordance with design requirement and decrease the construction cost. As an academic point of view, it has an important place as well, its characteristic specifications can be predicted and calculated as seen from this paper. In this work, compressive strength performance with C25/30 and C30/37 class of concrete has been searched. This information might be used, like prediction of the class of concrete and site application of compressive strength capacity of concrete. It is requested to prepare, design any class of concrete with respect to standards and predict the class of concrete. In static calculation report it should be given a scenario about slab situation and according to this scenario it should be specified the required minimum compressive strength of concrete and removal plan as well, to prevent loss of time and increase the cost.

## References

- TS 13515. (2014). *Complementary Turkish standard for the implementation of TS EN 206*. ANKARA: TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ.
- TS 500. (2000). *Requirements for design and construction of reinforced concrete structures*. ANKARA: TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ.
- TS EN 12390-2. (2010). *Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests*. ANKARA: TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ.
- TS EN 206. (2014). *Concrete - Specification, performance, production and conformity*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- TS EN 934-2. (2010). *Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 2: Concrete admixtures; Definitions, requirements, conformity, marking and labelling*. ANKARA: TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ.



# Using Frequency Selective Surface as a passive sensor in Structural Health Monitoring

Mona Maktabi Başoğlu\* & Bora DÖKEN\*\* & Sedef Kent Pınar\*\*\*

\**Istanbul Technical University, Informatics Institute, maktabi18@itu.edu.tr*

\*\**Istanbul Technical University, Electrical and Electronic Engineering Faculty, dokenb@itu.edu.tr*

\*\*\**Istanbul Technical University, Electrical and Electronic Engineering Faculty, kents@itu.edu.tr*

## Abstract

Structural health monitoring (SHM) is widely applied in various engineering sectors due to its ability in detecting damages and deformations. Nowadays SHM relies mainly on sensors that can be mounted on any civil structure and can be monitored over time either in a passive or active way. Passive sensors are more likely to be used because they are affordable, can easily be mounted on a civil structure, and they don't require any active element. One of the latest investigated sensors in SHM is to use frequency selective surfaces (FSSs) as passive sensors. FSSs are planar periodic conducting structures printed on dielectric substrates and behave as spatial filters. Their frequency response is dependent on their periodic conducting geometries, electrical properties of dielectric substrates that they are printed on, and the frequency and incident angle of the incoming electromagnetic waves. Therefore, when a deformation occurs on a civil structure that FSS sensor mounted, the frequency response of FSS changes. The change in frequency response will give the amount of damage in civil structure. A novel FSS which is based on crossed shaped geometry is proposed in this work. The proposed FSS acts as a passive sensor for tilting detection in civil structures up to 60 degrees. The working frequency of FSS is chosen in S-band, since fewer dielectric losses are conducted in lower frequencies.

**Keywords:** Structural health monitoring, Frequency Selective Surface, FSS, Periodic Structures,

## Introduction

Structural Health Monitoring (SHM) is widely applied in many engineering sectors due to its importance in detecting damages in bridges, tunnels, and building (Jang, Kang, & Kim, 2012; Jawaid, Thariq, & Saba, 2018; Norlyana Azemi, Mustaffa, Faizal Jamlos, Abdullah Al-Hadi, & Soh, 2018; Tan, Zhu, & Ren, 2019). These damages are normal or shear strain damages, tilting of civil structures, and delamination in layered structures. This might happen due to many internal and external reasons such as, the age of the structure, an incorrect construction process, and maybe an environmental reason. Today, researchers are developing sensors to use in SHM. These sensors are mainly classified as active and passive sensors. Active sensors are more expensive and require more complex installations than passive sensor systems. Therefore, researchers focus on developing and improving passive sensors since they can be applied after the construction finishes (Dhakal, Neupane, Thapa, & Ramanjaneyulu, 2013).

One of the latest investigated sensors in SHM is to use frequency selective surfaces (FSSs) as passive sensors (Jang et al., 2012, 2012; Kinzel, 2014; Mahmoodi & Donnell, 2017; Norlyana Azemi et al., 2018; D. Pieper, Donnell, Abdelkarim, & ElGawady, 2016; D. F. Pieper & Donnell, 2015). FSSs are planar periodic conducting structures printed on dielectric substrates (Ben A Munk, 2003). Their frequency response is dependent on their periodic conducting geometries, electrical properties of dielectric substrates that they are printed on, and the frequency and incident angle of the incoming electromagnetic waves. For that reason, when a deformation occurs on civil structure that FSS sensor mounted, the frequency response of FSS changes. The change in frequency response will give the amount of damage in the civil structure.

In this work, FSSs are used to design a passive sensor to detect tilting in civil structures. A novel FSS geometry which is based on crossed shaped geometry is proposed in this work. The proposed FSS sensor

detects tilting in civil structures up to 60 degrees. The propose of our design is to be able to detect and monitor any structural deviation based on the incident angle. Since the frequency response of FSS response depends on the angle of incoming electromagnetic waves, the tilting occurred in civil structures can be detected by the proposed FSS. The working frequency of FSS is chosen in S-band, since fewer dielectric losses are conducted in lower frequencies

### **Operating Principle of FSS as a Passive Sensor**

FSSs are formed by periodic arrays in one, two- or three-dimensional array pattern. Usually, these arrays are metallic elements on a dielectric substrate. Incident electromagnetic waves generate currents on the conductors of FSSs, while an electric field is generated over the non-conducting gaps between conductors. Periodic conductor structures of FSSs behave like inductors, while the dielectric gap between conductors will behave like capacitors. Therefore, FSSs have the ability to act as spatial filters (Wu, 1995). Many factors affect the electromagnetic properties of these arrays such as periodic element geometry. FSSs have an abundant application over an immense range of the electromagnetic spectrum, such as radomes, reflector antennas, satellites, in wireless communication and lately in SHM (B A Munk, 2000; Pelton & Munk, 1979) .

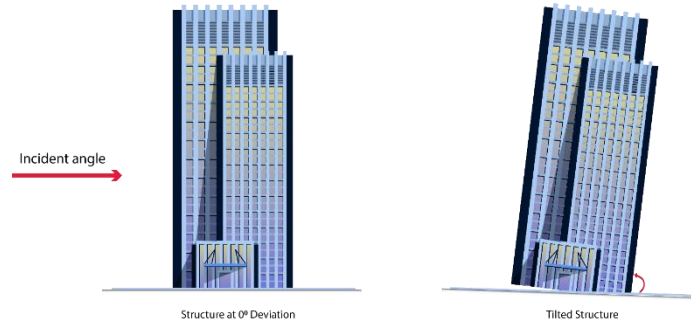
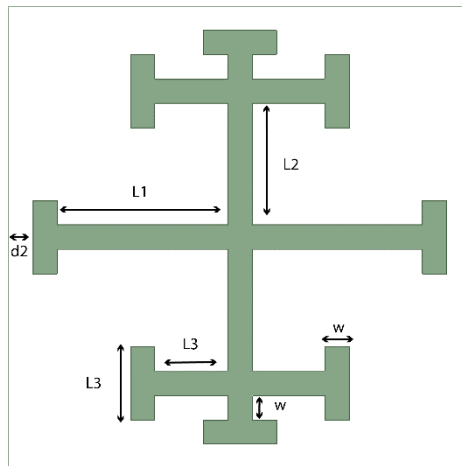
SHM aims to ensure the health of a structure to be in a stable condition, where it detects the changes and movements in a civil structure. Any material of a civil structure is exposed to some changes due to many factors; these factors are categorized mainly into: deviation, normal strain, shear strain, column buckling, and delamination [6]. Depending on the mechanics of the materials changes, FSS geometry on civil structure deforms and responds differently accordingly to each deformation. Since the FSS response depends on its geometry and to the incidence angle of the incoming electromagnetic wave, any deformation will lead change to the frequency response. By measuring the deviation in frequency response of FSS, the damage or deformation of civil structure can be calculated.

This paper deals with the detecting of deviation occurs in civil structure using FSS as a passive sensor. The principle of deviation detection by the proposed FSS sensor is mainly based on the resonant frequency shift which is related to the tilting occurred in a structure.

### **Design and Simulation**

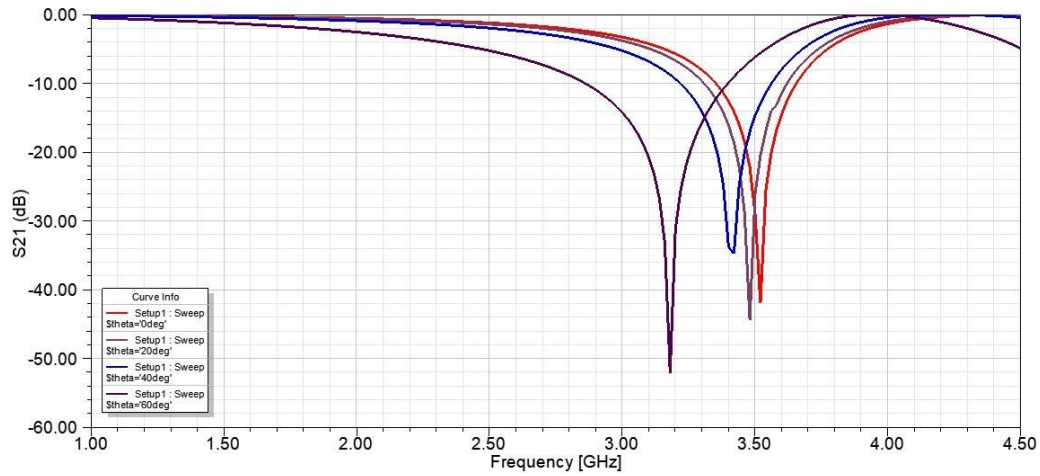
In this study, a new FSS sensor is designed for detection the tilting in civil structure. As a sensor, FSS will be mounted on civil surfaces and a noticeable change in the frequency response of the FSS will be caused by the tilting of civil structure (Figure 1). A passive SHM sensor design is realized by taking advantage of this feature of the FSSs. The most important point to be considered here is that the resonance frequency change of FSS must be linear with the change of incidence angle. Therefore, at the first design stage, “Cross” FSS geometry is selected as the initial FSS geometry due to having large unit cell sizes and simple in structure (B A Munk, 2000). The large dimensions of the unit cell sizes reduce the stability of the FSSs (B A Munk, 2000). The working frequency of FSS is chosen in S-band, since fewer dielectric losses are conducted in lower frequencies.

At the second design stage “Cross” shaped FSS geometry is modified to increase the deviation of resonance frequencies when the incidence angle changes. Modified “Cross” geometry is then printed on 1mm FR4 dielectric substrate. 1mm FR4 substrate is selected to easily perform prototype fabrication at the design. Analyses and optimization processes are executed by Ansoft HFSS software. Optimization stage is performed by using the parametric analysis feature of HFSS software. Final modified “Cross” FSS geometry and its parameters are shown in Figure 2 and Table 1, respectively.

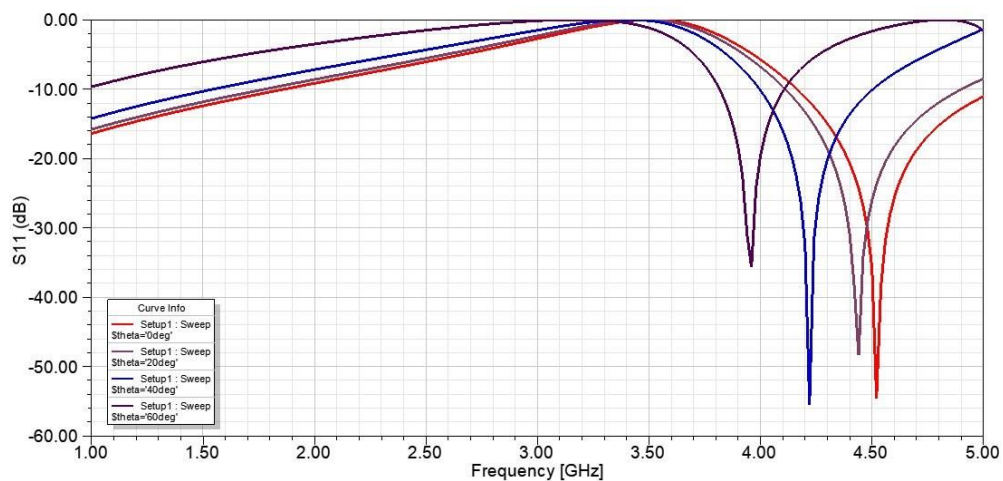
**Figure 1.** Tilted structure**Figure 2.** Unit cell geometry of the proposed FSS**Table 1.** Parameters of the proposed FSS

Parameter	Length (mm)
L1	14
L2	10
L3	6
W	2
d2	2

Figure 3-4 show the obtained transmission ( $S_{21}$ ) and reflection coefficient ( $S_{11}$ ) results for  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ , and  $60^\circ$  of incidence angles for both TE (Transverse Electric) mode, respectively. The deviations of frequency response with the angle of incoming wave (tilting angle) are also clarified in Table 2 and Table 3 for  $S_{21}$  and  $S_{11}$  results, respectively. The proposed FSS is not symmetrical with respect to the X and Y axis. Therefore, different simulation results are obtained in TE and TM modes. Since TE mode measurement results are better, they are given in this study.

**Figure 3.**  $S_{21}$  results for different incidence angles from  $0^\circ$  to  $60^\circ$ , TE mode**Table 2.** Deviation table of  $S_{21}$  results, TE mode

Degree ( $^\circ$ )	Frequency (GHz)	Deviation (%)
0	3.520	0
20	3.480	1.136
40	3.420	2.840
60	3.180	9.659

**Figure 4.**  $S_{11}$  results for different incidence angles from  $0^\circ$  to  $60^\circ$ , TE mode**Table 3.** Deviation table of  $S_{11}$  results, TE mode

Degree ( $^\circ$ )	Frequency (GHz)	Deviation (%)
0	4.520	0
20	4.440	1.769
40	4.220	6.637



60	3.960	12.389
----	-------	--------

According to the measurement results, it is seen that the deviation of resonance frequency is more at the reflection coefficient than the transmission coefficient. It is also observed that the change in resonance frequency is almost linear, which enables this design to use as a sensor for SHM.

## Conclusion

A novel FSS is designed for the detection the tilting in civil structures in S-band. According to the simulation results, proposed FSS sensor can detect tilting in civil structures up to 60 degrees. The thickness of the FSS is only 1mm. Therefore, the proposed FSS can mounted on civil structures and by measuring the reflection coefficient, tilting of this structure can be detected.

## References

- Dhakal, D. R., Neupane, K., Thapa, C., & Ramanjaneyulu, G. V. (2013). Different techniques of structural health monitoring. *Research and Development (IJCSEIERD)*, 3(2), 55–66.
- Jang, S.-D., Kang, B.-W., & Kim, J. (2012). Frequency selective surface based passive wireless sensor for structural health monitoring. *Smart Materials and Structures*, 22(2), 25002.
- Jawaid, M., Thariq, M., & Saba, N. (2018). *Structural Health Monitoring of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Woodhead Publishing.
- Kinzel, E. (2014). Design of a Frequency-Selective Surface strain sensor. In *2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)* (pp. 2074–2075). IEEE.
- Mahmoodi, M., & Donnell, K. M. (2017). Novel FSS-based sensor for concurrent temperature and strain sensing. In *2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting* (pp. 679–680). IEEE.
- Munk, B A. (2000). *Frequency Selective Surfaces - Theory and Design*. New York: John Wiley and Sons. Inc. Retrieved from internal-pdf://84.134.66.94/FSS Teory and Design Book.pdf
- Munk, Ben A. (2003). *Finite antenna arrays and FSS*. John Wiley & Sons. Retrieved from internal-pdf://61.200.149.237/Finite\_Antenna\_Arrays\_and\_FSS.pdf
- Norlyana Azemi, S., Mustaffa, F. H. W., Faizal Jamlos, M., Abdullah Al-Hadi, A., & Soh, P. J. (2018). Frequency Selective Surface for Structural Health Monitoring. *MS&E*, 318(1), 12033.
- Pelton, E., & Munk, B. (1979). Scattering from periodic arrays of crossed dipoles. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 27(3), 323–330.
- Pieper, D., Donnell, K. M., Abdelkarim, O., & ElGawady, M. A. (2016). Embedded FSS sensing for structural health monitoring of bridge columns. In *2016 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings* (pp. 1–5). IEEE.
- Pieper, D. F., & Donnell, K. M. (2015). Application of frequency selective surfaces for inspection of layered structures. In *2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings* (pp. 1204–1209). IEEE.
- Tan, Y., Zhu, J., & Ren, L. (2019). A two-dimensional wireless and passive sensor for stress monitoring. *Sensors*, 19(1), 135.
- Wu, T. K. (1995). *Frequency Selective Surface and Grid Array*. Wiley Interscience Publication.



# Lyocell Liflerindeki Fibrilleşmenin Ultrasonik Yöntem Desteği İle Kontrolü

Begüm ELGÜN<sup>1</sup>, İdil YİĞİT<sup>2</sup>, Hülya GÜL DEMİR<sup>3</sup>, Semiha EREN<sup>4</sup>, Hüseyin Aksel EREN<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, BURSA/TÜRKİYE <sup>3</sup>Barutçu Tekstil A.Ş. BURSA/TÜRKİYE

**Özet:** Son yıllarda önemi artan rejenere selülozik lifleri üzerinde yapılan çalışmalarla önemli gelişmeler sağlanmış ve yeni ürünler elde edilmiştir. Bu ürünlerden biri de ticari adı tencel olan lyocell lifidir. Aynı familyadan olan viskon ve modal liflerine göre mukavemet ve nem absorblama gibi pek çok iyi özelliklere sahip olan lyocell lifinin aynı zamanda fibrilleşme özelliği de bulunmaktadır. Fibrilleşme özelliği kumaşa tuşe anlamında avantaj kazandırsa da yüzeyde oluşturduğu etkiler renk farklılıklarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada; kumaş yüzeyinde mekanik etki sonucu oluşan fibrilasyon, işletme numuneleri ve laboratuvar numuneleri arasında özellikle renk konusunda farklılık oluşturduğu düşünülmüş, oluşan bu renk farklılığı ultrasonik homojenizatör ile desteklenerek işletmedeki mekanik etkiye benzetilmesi ve lyocell liflerinde fibrilleşme sağlanması konusunda araştırma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lyocell, fibrilasyon, ultrason, renk farkı

## 1. Giriş

Lyocell lifleri konfor, yüksek nem absorpsiyonu, mukavemet özelliklerinden dolayı çok fazla tercih edilen liflerdir. Ancak yapısı nedeniyle oluşan fibrilasyon, kontrol edilmezse istenmeyen yüzey görüntülerine ve buna bağlı olarak renk farklılıklarına sebep olabilir. Fibrilasyon genellikle; kumaşların sürekli yıkanması, bitim işlemleri, boyama gibi ıslak işlemler sırasında, mekanik etkilere bağlı olarak lif uzunluğu boyunca oluşan yarıklardan fibrillerin yüzeye çıkmasından kaynaklanabilir. Bu da başka bir ciddi problem olan ‘boncuklanma’ problemini oluşturur. Kısaca, lyocell’ in işlenmesi fibrilasyondan dolayı diğer rejenere selüloz liflere kıyasla teknik olarak daha zordur (Goswami ve diğ. 2009).

Fibrilasyon davranışı lyocell lifleri için önemli bir özelliktir fakat bazı durumlarda dezavantajda sağlayabilir. Örneğin; koyu tonlarda boyanmış kumaş, görsel olarak saydam olan çok ince elyafların neden olduğu ‘soğuk’ (grileşme) gibi bir görünüm geliştirebilir. Bu ince elyaflar, kumaş hacmine göre farklı ışık saçma davranışına sahiptir ve daha açık veya ‘buzlu’ görünebilirken, ana kumaş gövdesi üzerinde meydana gelen fibrilasyon kumaşta beyaz çizgiler veya hasar izleri olarak görülebilir (Bates ve diğ. 2006, Taylor 2015).

## 2. Kaynak araştırması

### 2.1 Lyocell (Tencel)

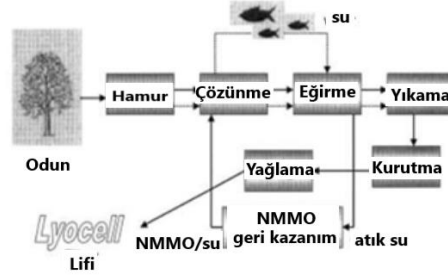
Lyocell lifleri büyük viskon üretici firmalarının yıllarca süren araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonucunda oluşturulmuş ve rejenere selüloz liflerinin üçüncü jenerasyonu olarak ortaya çıkmıştır. İşlem görmemiş viskon lifleri birinci, modal lifleri ikinci ve lyocell lifleri ise rejenere selüloz liflerinin üçüncü nesil temsilcisidir. Lyocell terimi hem organik çözen de çözülen üretilen tüm rejenere selüloz lifleri için kullanılan genel bir kavram, hem de Lenzing firmasının bu 48 yöntemle göre ürettiği kendi lifleri için kullandığı marka (lyocell) ismidir. Piyasada bulunan lyocell lifleri üreten firmalara göre değişik isimler alabilmektedir. Buna bağlı olarak Lenzing firmasının ürettiği lifler Lenzing-Lyocell, Courtaulds firması tarafından üretilen lifler ise tencel adını almaktadır. Günümüzde ise bu liflerin tümü tencel adı altında toplanmaktadır (Seventekin ve ark.1998).

### 2.2 Lyocell liflerinin üretimi ve özellikleri

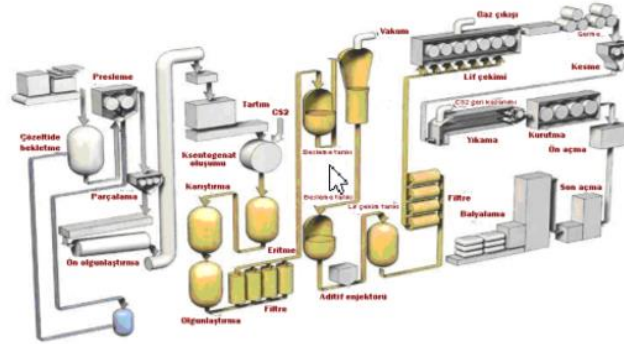
Liyosel lifleri, yaş çekim veya kuru-jet olmak üzere iki çekim metoduyla üretilebilirler. Yaş çekim yönteminde çözelti, bir pıhtılaştırıcı içine çekim süresince direkt olarak basılır. Pıhtılaştırıcı, polimer için bir çözücü değildir. Pıhtılaşma banyosu içine püskürtülen çözelti yayılır, lifler daha fazla uzatılır ve yıkanır. Kuru çekim prosesinde çözelti hava içine püskürtülür ve hemen pıhtılaştırıcı içine ilerler. Hava boşluğunun amacı lif kesiti boyunca oryantasyonu arttırma amacıyla püskürtücüye daha fazla akış sağlamaktır. Hava

boşluğu aynı zamanda polimer çözeltisinin sıcaklığını değiştirir. Genelde pıhtılaştırıcının sıcaklığından daha yüksek olan bir değere çıkarır (Cuculo ve ark. 2000).

Genel olarak Liyosel lifinin üretim süreci, Şekil 1’ de gösterildiği gibidir. Benzer özelliklere sahip Viskon lifinin üretimine göre daha az bir işlem adımı içerir.



Şekil 1. Liyosel lifinin üretim süreci (Rosenau ve diğ. 2001).



Şekil 2. Rejenere selüloz lif üretim aşaması (Yaman ve diğ. 2007).

Şekil 1’de gösterildiği gibi genel olarak lyocell üretim süreci, viskon üretimine göre daha az işlem adımı içermektedir. Selüloz lifleri çözücü olarak kullanılan NMMO çözeltisinden elde edilir. Az sayıda kimyasal kullanımı ve kullanılan NMMO ve suyun tamamen geri dönüştürülebilir olması prosesi ekonomik kılar ve bu durum lyocell lifinin üretimde tercih edilme bakımından önemli bir parametredir (Rosenau ve diğ. 2001).

Tablo 1. Lyocell üretim süreci ve viskon üretim süreci arasındaki farklılıklar ((Zhang ve diğ. 2018).

Süreç	Liyosel Üretim Süreci	Viskon Üretim Süreci
Çözücü	NMMO	NaOH/CS <sub>2</sub>
Çözünme	Fiziksel çözünme (kimyasal reaksiyon yok)	Merserizasyon/Ksantasyon (Kimyasal reaksiyon var)
Eğirme	Kuru jet ıslak eğirme (Yüksek viskozite oluşturmak için doğrudan çözünme)	Islak Eğirme (Lifler sülfürik asit ve katkı maddeleri içeren banyoda yaş çekim sistemi ile elde edilir)
Çevre	Çevre dostu	Ağır çevresel yükler
	Çözücünün %99’ u geri kazanılır.	Yüksek su ihtiyacı
	Zararlı yan ürünler oluşmaz	Yan ürün oluşumu

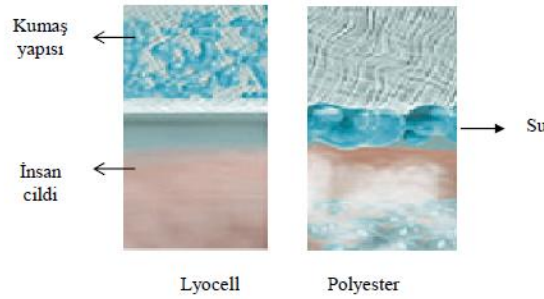
Lyocell; üretim aşamaları ve lif özellikleri bakımından en çok viskon lifine benzemektedir. Ancak Tablo 1.’de de verildiği gibi iki lifin üretim süreci arasındaki temel farklılıklar vardır. Bu farklılıkların başında lyocell lifinin üretiminin viskon’a göre çevre dostu olduğudur. Üretimi çevre dostu yapan en önemli işlem adımı; kullanılan çözücü (NMMO) ve suyun büyük ölçüde geri kazanılabilir olmasıdır. Ayrıca viskon üretiminde olduğu gibi zararlı yan ürünlerin açığa çıkması lyocell üretiminde meydana gelmez. Lyocell lifinin yaşam döngüsü minimum çevresel etkiye sahiptir ve sentetik liflerden (poliester, naylon, akrilik vs.) ve pamuk gibi doğal liflerden önemli ölçüde daha sürdürülebilir olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Zhang ve diğ. 2018).

### 2.3 Lyocell liflerinin özellikleri

Lyocell, doğada en çok bulunan selülozdan rejenere edilerek üretilen, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir elyafıdır. Yüksek derecede kristalin yapısı kuru ve yaş mukavemetini olumlu etkilerken, yapısındaki çok sayıdaki hidrojen bağı mükemmel emicilik özelliğe olmasını sağlar. Yüksek mukavemet ve emicilik özelliği sayesinde lyocell liflerinin tekstil ürünlerinde tercih edilebilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır (Periyasamy 2012, Babar ve diğ. 2017).

Tekstilde en çok kullanılan selülozik liflerden olan pamuk lifinin boyama prosedürü, lyocell lifi içinde uygulanabilir. Bununla birlikte, reaktif boyamalar sırasında, lyocell liflerinin aynı miktarda renklendirici içeren pamuğa kıyasla daha yüksek renk verimi verdiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Babar ve diğ. 2017).

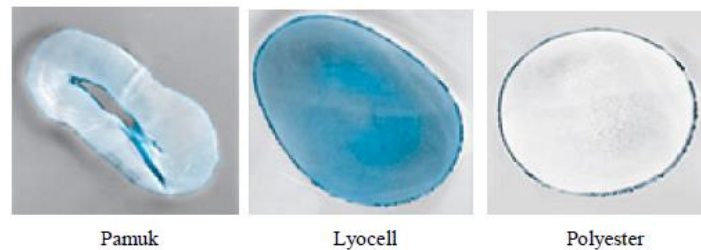
Lyocell lifi, bir selüloz lifinin tüm doğal özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda iyi nem absorblama özelliği, konfor, parlaklık, mükemmel renklendirilebilme özelliği ve biyolojik olarak parçalanabilme ve yaş mukavemetinin iyi olması gibi özellikleri ise bu lifi diğer rejenere selülozik liflerden pozitif anlamda ayırmaktadır. Yoğun mekanik işlemlere karşı da yüksek bir dayanıma sahip olan lyocell liflerinin yüksek yaş dayanımı ve modülü kumaşlarda boyutsal stabiliteyi sağlamaktadır (Özbağcı 2008).



**Şekil 3.** Lyocell ve polyesterin nem tutuculuğunun şematik gösterimi (Özbağcı 2008).

Aynı zamanda çok iyi nefes alabilir özelliğe sahip olması, nemi çok iyi transfer etmesi, vücudun terlemesi durumunda rahatsızlık hissi vermemesini sağlar. Birçok yıkamadan sonra bile parlaklığını ve rengini muhafaza eder dolayısıyla yüksek renk haslığına sahiptir (Özbağcı 2008).

Lyocell liflerinin yapısı oldukça yoğun ve enine kesitleri daha homojendir. Lyocell 'in emicilik özelliği de oldukça yüksektir. Yapıyı oluşturan zar/çekirdek yapısı incedir. Çekirdek yapısı ve lyocell'i oluşturan dış tabaka (zar) arasındaki fibriller yapı suyun iç kısmına daha hızlı difüzyonuna izin verir bu da daha lifin yaş işlemlerde daha hızlı şişmesi ve daha hızlı fibrilasyon anlamına gelmektedir. Böylece mamul kumaşta yumuşak ve esnek bir tuşe elde edilir. Lyocell iplikten bir kumaş yapısı geliştirilirken; lif şişmesi ve modülü göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek modül ve sağlamlık, kumaş içinde lyocell lifinin kolayca deforme olmayacağı ve daha kolay bir şekilde orijinal şeklini ve konumunu yeniden alacağı anlamına gelmektedir (Tomljenovic ve Cunko 2004).



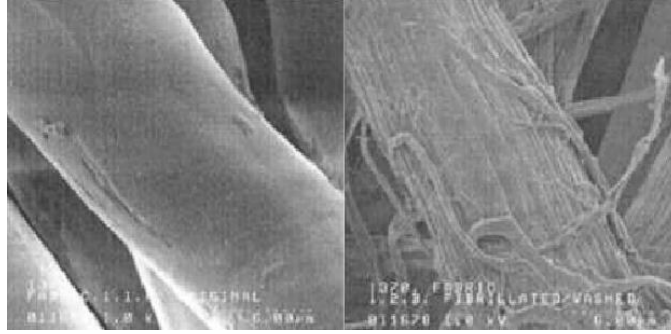
**Şekil 4.** Lyocell, pamuk ve polyesterin su çekiciliğinin fotoğrafı (Özbağcı 2008).

## 2.4 Lyocell lifinin fibrilasyonu

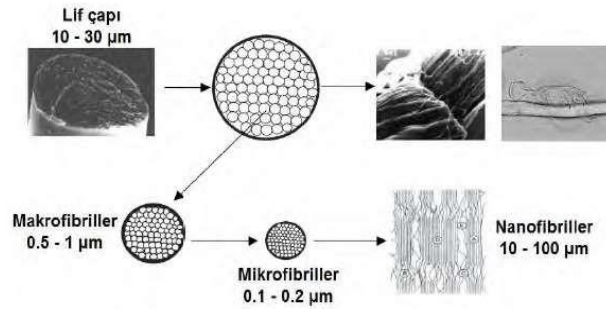
Fibrilasyon, fibrilleri su içinde şişen liflerin kumaş yüzeyi boyunca mekanik etki sonucunda mevcut yapıdan ayrılması anlamına gelir. Mekanik etki, dış kristal bölgelerin kırılıp en başta gelen elyaftan sıyrılmasını

sağlar. Bu soymalara fibril denir. Fibrilasyon etkisi, güzel görünümlü kumaşların üretilmesinden ve çekici “şeftali cildi etkisi” için kullanılabilir (Badr ve diğ. 2016).

Lyocell yaş ve kuru mukavemeti yüksek olan bir lifdir. Yaş mukavemeti fazla olmasına rağmen yaş işlemlerde hızlı şişen bir içyapıya sahiptir. Islak işlemler ve yıkamalar sırasında, fibriller soyulur ve kumaş yüzeyine taşınır. Fibrilasyon adı verilen bu yüzey değişikliğine, lifin, çapı 1-4 mikron olan mikro elyaflara uzunlamasına bölünmesi sebep olmaktadır. Başka bir deyişle fibrilasyon mikro liflerin kısmi olarak liflerden ayrılmasıdır (Drambei ve diğ. 2003). Islak ve şişmiş lyocell lifinin boyama ve yıkama sırasında özellikle metal yüzeylere sürtünmesi sonucunda lif yüzeyinden çıkan kısa liflerin fibrilasyona sebep olduğu belirtilmektedir (Bates ve diğ. 2006, Periyasamy 2012).



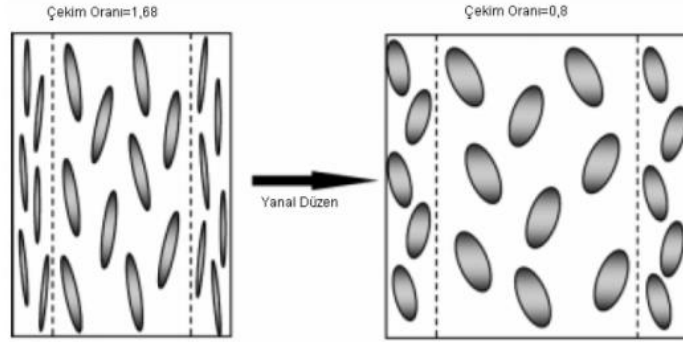
**Şekil 5.** Fibrillerine ayrılmamış lyocell lifi (a), fibrillerine ayrılmış lyocell lifi (b) (Carrillo ve diğ. 2003).



**Şekil 6.** Lyocell lifinin fibrilasyonunun şematik gösterimi (Atıcı ve Kaya 2019).

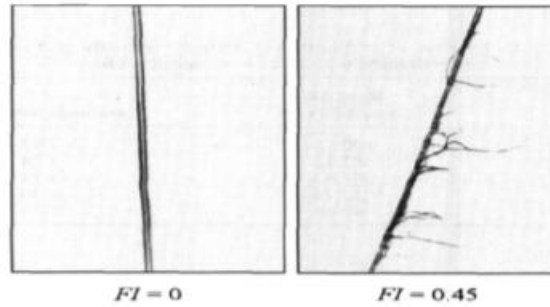
Lyocell lifleri, kendi gibi rejenere selüloz liflerinden olan viskon ve modal da bulunmayan daha uzun ve daha iyi yönlendirilmiş kristalin alanlara sahipken, daha kısa amorf alanlarla karakterize edilmektedir. Boşlukların şekli önemlidir. Fibriller lif eksenine boyunca uzunlamasına yerleşir. Şişme sırasında boşlukların genişlemesi ve fibriller arasındaki kuvvetlerin azalmasıyla fibrilasyon oluşur. Lyocell liflerinin fibrilasyona uğraması lyocell liflerinin mikrofibriller bir yapıya sahip olmasından kaynaklanır, çünkü molekül zincirlerinin bir kısmı zincirler boyunca yeniden kristalleşerek mikro kristaller oluşturmak üzere toplanır ve geri kalan zincirler de bu iki faz arasında amorf halde bulunur. Lyocell lifinin yüksek kristalin yapısı ve kristalitler arasında zayıf yanal bağlar nedeniyle lifler ıslak aşınma koşulları altında fibrilasyon olarak bilinen yüzeyde liflerin yerel olarak ayrılmasından geçer (Lenz ve diğ. 1992).

Fibrilleşme üzerinde etkili olan diğer önemli parametre de liflere uygulanan çekimdir. Aynı çekim banyosu kullanılarak elde edilen filamentlere çıkışta farklı gerilimler uygulandığında bu filamentlerin yapısal bozulmaları yani fibrilleşmeleri farklı olmaktadır. Yüksek fibrilleşme eğilimine sahip olan lifler daha fazla boşluğa sahiptir ve daha kolay kayarak ayrılırlar. Yüksek oryantasyonlu liflerde şişme artacağından fibrilasyon daha kolay meydana gelmektedir. Bu nedenle viskon, modal, lyocell lifi ve türevlerinin sahip oldukları kristalin yapılarına bağlı olarak bu liflerin fibrilleşmelerinde farklılıklar görülmektedir. Lyocell lifleri şişirici ajanlar ve sıcaklık ile en yüksek fibrilasyonun hassasiyetine en düşük fibrilasyon sağlamlığına ve en yüksek fibrilasyon yoğunluğuna sahiptir (Umur 2010).



**Şekil 7.** Farklı çekim oranlarındaki lyocell liflerinin çekirdek/zar boşluk yapısı ve boşlukların yerleşimi (Ardıç 2007).

Lyocell liflerinin fibrilleşmesini ortadan kaldırmak ya da kısmen azaltmak için uygulanan etkin yöntem bitim çözültisi içine çapraz bağlama ajanı ilavesi şeklinde olmaktadır. Uygun bir çapraz bağlama ajanı selüloz zincirleri arasındaki kovalent bağlar gibi bir sulu alkali içinde selüloz moleküllerinin hidroksil grupları içinde reaksiyona girer. Reaksiyon iç tabakadaki fibrilasyona karşı lifin dış katmanında meydana gelir. Bu nedenle de lifin çevresel fibrilasyonu azalır. Bitim solüsyonu içindeki çapraz bağlama ajanının konsantrasyonu arttığı zaman lifin relatif kristalinitesi azalır. Çapraz bağlama meydana gelince molekül ağırlığı artar ve dolayısıyla viskozitede de artış gözlenir. Zincirlerin düzenlenmesi ile iyi oryante olmuş lifler lif eksenine boyunca yüksek anisotropik karakteristik gösterir. Bir alkali ortamda şişme sırasında 0'dan 0.45'e kadar liflerin fibrilasyon indeksindeki değişim Şekil 8'de gösterilmektedir. Buradan anlaşılır ki lif şişme durumunda olduğu zaman fibriller yer alır (Udomkichecha ve ark.2002, (Goswami ve diğ. 2007).



**Şekil 8.** Bir alkali ortamda şişme sırasında 0'dan 0.45'e kadar liflerin fibrilasyon indeksindeki değişim (Ardıç 2007).

#### *Alkali kullanımının fibrilasyona etkisi*

Periyasamy 2012, yaptığı çalışmada Liyosel liflerinin boyanması ve alkali kullanılmasıyla Liyosel liflerinin fibrilasyon etkisi araştırmıştır. Çeşitli alkali ön işlemlerden geçirilen ve boyanan kumaşlarda fibrilasyonun azaldığı, pilling ve aşınma direncinin geliştiği, reaktif boyarmaddenin Liyosel' in OH grubu ile yaptığı çapraz bağlanma sonucunda fibrilasyonun azaldığı, iyi yıkama ve sürtme haslığı özelliği gösterdiği görülmüştür.

#### *Ultrason kullanımının fibrilasyona etkisi*

Tomljenović ve Čunko 2004, yaptıkları çalışmada ultrason işleminin, rejenere selüloz liflerinin, özellikle fibrilasyon sorununun en belirgin olduğu lyocell liflerinin fibrilasyon eğilimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Lyocell ve viskon liflerinin fibrilasyon eğilimi, güvenilirliğini artırmak için modifiye edilmiş mikroskopik bir yöntem kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, selüloz liflerinin fibrilasyon eğiliminin ultrason muamelesi ile azaltılabileceği, ancak bu durumun lyocell liflerinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bu çalışmadan sonra ultrasonun lyocell lifleri üzerinde fibrilleşme modeli üzerinde kullanılabileceği görülmektedir.

#### 4. Ultrason teknolojisi

Ultrason, insan işitmesinin üst sınırından daha yüksek bir frekansa sahip dögüsel bir ses basıncıdır. İnsan işitme ses dalgaları 16 Hz ile 16 KHz arasında, ultra ses dalgaları 20 KHz ile 500 MHz arasındadır. Ultrasonik titreşim, ışığın hareket yoluna benzer şekilde bir dalga şeklinde hareket eder. Bununla birlikte, bir vakumda hareket edebilen ışık dalgalarının aksine, ultrason sıvı veya katı bir ortam gerektirir (Niaz ve diğ. 2011).

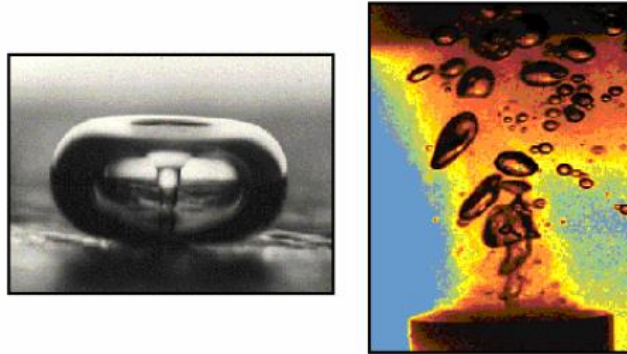


Şekil 8. Ses dalgalarının yaklaşık frekansları ve uygulama alanları (Erişmiş 2012).

Ultrason, farklı fiziksel mekanizmalarla kimyasal etki üretmektedir ve sonokimya için en önemli proses kavitasyondur. Kavitasyon olayı kısaca, sıvıya bir basınç uygulanması sonucu sıvıda gaz dolu kabarcıkların oluşumu, gelişmesi ve çökerek sönmeleridir (Erişmiş 2012).

Kavitasyon kavramı altında bir sıvının içerisinde boşlukların oluşumu ve bunların patlaması anlaşılır. Ultrasonun sağladığı titreşim de sıvı içerisinde bir basınç değişimi sağlar. Malzemeyi çevreleyen hava veya sıvı aynı frekansta titreşime başlar ve bu titreşimler daha sonra ultrason şeklinde yayılır (Vajnhandl ve Marechal 2005, Duran et al. 2006).

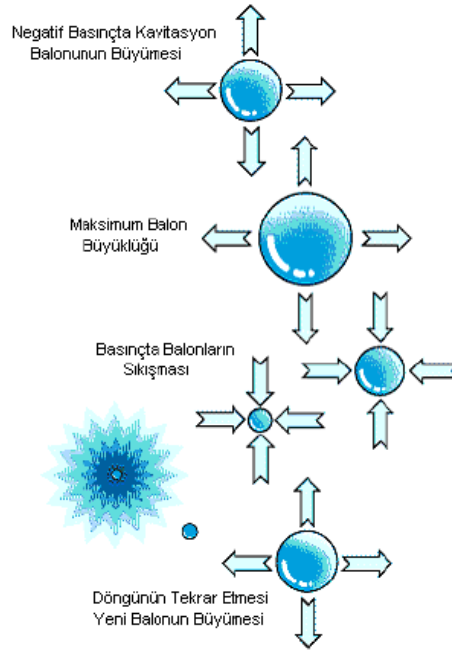
Ultrasonun frekansı ve yoğunluğu, akustik dögü için kararlı kavitasyon veya geçici kavitasyon oluşturmada hayati bir rol oynar (Vajnhandl and Majcen Le Marechal, 2005).



Şekil 9. Kavitasyon baloncukları (Değirmenci 2005).

Ultrasonun frekansı ve yoğunluğu, akustik dögü için kararlı kavitasyon veya geçici kavitasyon oluşturmada hayati bir rol oynar (Vajnhandl and Majcen Le Marechal, 2005). Kullanılan bu yüksek frekanslı enerji, kavitasyonu kararsız hale getirdiğinden, yüksek frekanslı ultrasona dalgalarla kavitasyonu daha azdır. Frekans orta derecede düşükse, daha az güç tüketimi ve ısıtma, düşük yoğunluklarda kavitasyonu destekler. Ortamın sıcaklığı, dalgaların yoğunluğunu etkileyen önemli bir rol oynar. Böylece sıcaklık yükseldikçe, yoğunluğun kavitasyon üzerindeki etkisi azalır. Heterojen sistemde kavitasyonun homojen bir sisteme göre birkaç kat daha fazla olduğu bildirilmiştir (Jajpura ve Nayak 2020).





**Şekil 10.** Kaviteasyon olayının etkisi (Duran et al. 2006).

Ultrason, kimyasal reaksiyonları hızlandırma, gazdan arındırma, ekstraksiyon vb. gibi çok çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemler için yaygın olarak kullanılır. Ultrasonun önemli mekanizması ise, sıvılardaki ultrasonik kaviteasyondur (Sun ve diğ. 2010). Kaviteasyon, ortamdaki basınç farkından dolayı katı-sıvı ara yüzünde süspansiyon olarak mevcut olan boşlukların veya buhar kabarcıklarının oluşumu, büyümesi ve çökmesi anlamına gelir. Çökme katı bir yüzeyin yakınında meydana geldiğinde mikro jetler ve şok dalgaları üretilir. Sudaki kaviteasyon için hesaplanan teorik basınç genliği, suyun yüzey gerilimine ve moleküller arasındaki Van der Waals mesafesine bağlıdır. Ultrasonun uygulandığı sıvıdaki küçük katı parçacıklar, var olan çözülmüş gazlar veya hapsedilmiş gaz buharı şeklinde bulunan safsızlıklar sıvının gerilme mukavemetini azaltır ve kaviteasyon oluşumunu kolaylaştırır (Vajnhandl ve Marechal 2005).

#### 4.1 Ultrason teknolojisinin çeşitli sektörlerde kullanım alanları

Ultrason teknolojisi endüstrinin çeşitli alanlarında fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Endüstrideki en yaygın kullanım amaçlarından biri ise, ultrasona kaviteasyondan yararlanılarak yapılan temizleme işlemidir. Kirli makine parçalarının, tıbbi gereçlerin, elektronik bileşenlerin ve klasik yöntemlerle temizlenmesi zor olan yüzey veya parçaların temizlenmesinde kullanılabilmektedir (Duran ve diğ. 2006).

Ultrason teknolojisinin başlıca kullanım alanlarına örnek verilecek olunursa;

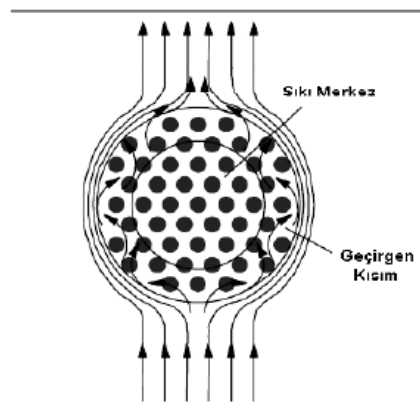
1. Maden bilimi ve makine teknolojisi
  - Erimiş metalleri saf hale getirme
- Ultrasonik şekillendirme, yüzey temizleme
- Ultrasonik kaynak
- Kesme
- Gözenekli materyallerin sıvılarla emdirilmesi
2. Kimyasal ve biyo-kimyasal teknolojilerde
  - Ekstraksiyon, sorpsiyon, filtrasyon ve kurutma
  - Emülsiyon-süspansiyon hale getirme, karıştırma, dispersiyon yapma, homojenizasyon
  - Parçalama, çözme, flotasyon ve kuagülasyon
  - Gaz giderme, buharlaştırma

- Yüzey temizleme
  - Polimerizasyon ve depolimerizasyon
  - İlaçların hazırlanması
  - Biyo-materyallerin sentezi
3. Çevre teknolojisinde
- Su işletmeleri
  - Kontamine katı materyallerin saflaştırılması
  - Sigaradaki dumanın kuagülasyonu
4. Yağ ve gaz endüstrisinde
- Petrol ve gazın üretiminde, işlenmesinde, taşınmasında ultrason kullanımı
5. Gıda endüstrisinde
- Meyve sularının ekstraksiyonu
  - Süt tozlarının hazırlanması
6. Enerji sanayinde
- Akustik brülör
  - Isı değıştiricilerin duvarlarındaki tortuların uzaklaştırılması
7. Tıp sektöründe

Tekstil sanayinde kullanımı yönünde ise çalışmalar yenidir ve hala pratik uygulamaya yansımış değildir (Duran ve ark. 2006).

#### 4.2 Tekstilde ultrason kullanımı

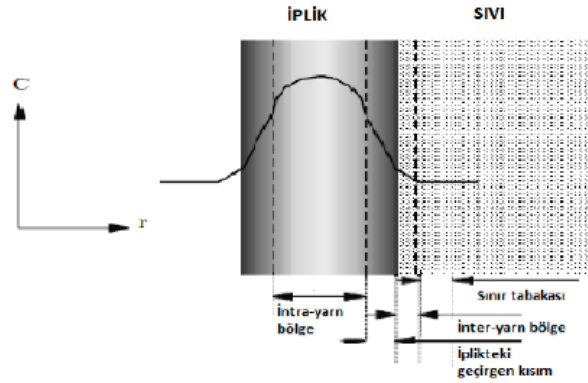
Tekstil terbiye işlemlerde su ve enerji büyük oranda kullanılan önemli kaynaklardır. Yaş terbiye işlemlerinin etkinliğini ve verimliliğini arttırarak bu hayati kaynakların ekonomik bir şekilde tüketilmesini sağlamak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, konvansiyonel olarak yapılan terbiye işlemlerinde genel olarak kütle transferi arttırılmakta, kütle transferini arttırmak için de ya işlem sıcaklığı yükseltilmekte ya da kuvvetli mekanik etkiler uygulanmaktadır. Ancak bu etkiler kumaşa zarar verebilme ihtimallerinden dolayı her zaman tercih edilmemektedir. Bu noktada ultrason enerjisi devreye girmekte ve kumaşa herhangi bir zarar verilmeden kütle transferi arttırılmakta ve böylece işlem verimliliği de arttırılmaktadır (Perincek et al. 2009).



Şekil 11. İpliğin sıvıyla temasını gösteren üst kesit görüntüsü (Erişmiş 2012).

Tekstil terbiyesi, tekstil malzemelerinin renk, tasarım, hidrofobik, vb. gibi özellikleri kazandırmak amacıyla kimyasallar ile işlemden geçirilmesi olarak tanımlanır. Tekstil terbiyesi, temel olarak katı/sıvı maddelerin tekstilde su ile taşınmasını içerir. Daha doğrusu, tekstilleri iplik içi ve iplik içi gözeneklerinde kütle transferi, yaş tekstil terbiyesinde temel unsurdur. Mevcut yaş tekstil prosesleri iki temel dezavantaja sahiptir: uzun işlem süreleri ve düşük enerji verimliliği. Bu işlemlerin iyileştirilmesi temel olarak tekstil malzemelerinin

kütle transferinin yoğunlaştırılmasını içerir. Yaş tekstil işlemlerinin yoğunlaştırılması amacı olarak ultrason, tekstil yüzeyinin yakınında ortamdaki (yani su) geçici kaviteasyonun, tekstillerde ultrasonik kütle transferi yoğunlaşmasının temel fiziksel mekanizması olduğu gösterilmiştir (Sun ve diğ. 2010).



**Şekil 12.** Tekstil malzemelerinde kütle transfer mekanizması (Erişmiş 2012).

Tekstil malzemelerinin ultrason ile muamelesi ile reaksiyon hızlarının arttığı, dolayısıyla tekstil malzemelerinin kumaş emiliminde ve beyazlık indeksinde iyileşmesinin yanı sıra daha düşük sıcaklıklarda bile haşıl sökme ve yıkama gibi yaş işlemlerin süresinde azalma olduğu belirtilmiştir. Bu gözlenen etkiler kaviteasyonun bir sonucu olarak görülmektedir (Jajpura and Singh, 2015).

Doğal kaynakların tükenmeye başlamasıyla başlayan çevresel endişeler ile yenilikçi teknolojilerin tekstilde kullanımını arttırmıştır. Tekstil boyama endüstrisi her zaman yüksek enerji maliyetleri, yüksek su tüketimi gibi nedenlerden dolayı yenilikçi teknolojilere çok açıktır. Ultrason sistemi de enerji tasarrufu kullanımı konusunda yapılan çalışmalarda yer alan bir sistemdir. Tekstil boyamacılığı da tekstil sektöründe en fazla su ve enerji kullanılan alanlardan biridir. Ultrason enerjisinin kullanılmasıyla enerji maliyetlerinde azalma ve verimlilikte artış sağlanabileceği düşünülmektedir (Khatri ve diğ. 2011).

#### *Haşıl sökme, pişirme ve ağartma işlemlerinde ultrason teknolojisinin kullanımı*

Ultrason teknolojisi ile yapılan haşıl sökme yönteminde, konvansiyonel haşıl sökme yöntemine göre enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntemle kimyasal maddelerden de tasarruflar sağlanmıştır. Kumaşın ıslanma özelliğinde ve ulaşılan beyazlık derecesinde, diğer metotlarla karşılaştırma yapıldığında bir farklılık olmadığı görülmüştür (Duran ve ark. 2007).

#### *Yıkama ve durulama işlemlerinde ultrason kullanımının kullanımı*

Tekstil sanayisi su ve enerji yoğun bir sanayi dalıdır ve iki büyük dezavantajı vardır. Bunlar, çok yüksek miktarlarda su ve enerji tüketmeleri ve uzun işlem sürelerine ihtiyaç duymalarıdır. Ultrason teknolojisinin sadece temizleme özelliğinden yararlanılarak, reaktif boyarmaddeler ile gerçekleştirilen boyamalar sonrasında yapılan yıkama işlemlerinde kullanıldığı bir çalışmada, ultrasona yıkamada su tüketiminin yarı yarıya azaldığı, işlem sürelerinin kısaldığı ve enerji tasarrufunun da sağlandığı belirtilmektedir (Duran ve ark. 2007).

#### *Boyama işlemlerinde ultrason kullanımı*

Ultrason enerjisinin desteklediği tekstil boyamacılığının, sadece enerji tasarrufu ve çevre dostu olduğu değil, aynı zamanda daha yüksek renk verimi sağlaması ve böylece daha iyi bir boyama özelliği sağlamış olmasıdır. Ultrason sisteminin boyarmadde ve kimyasalların lif içine daha hızlı ve homojen alınmasını sağlaması ile renk verimi artırılabilir. Ultrason enerjisinin boyamacılıkta kullanılmasıyla, pamuk, bambu ve naylonun reaktif boyalarla boyanması, dispers boyalarla selüloz asetat, doğal boyalarla yün ve katyonik pamuk, bazik boyalara sahip akrilik ve reaktif boyalara sahip selülozik nano lifler, ultrason enerjisinin başarıyla kullanıldığını bildirmiştir. Liyosel diğer selülozik kumaşlarla karşılaştırıldığında, lyocell kumaşlar üstün boyama özellikleri sunar, bu nedenle lyocell kumaşların ultrasonik boyaması için daha iyi boyama sonuçları beklendiği belirtilmiştir (Babar ve diğ. 2017).

Ultrasonik sistemin boyama prosesi üzerinde 3 kat etkisi vardır. İlk olarak dispersiyon etkisidir yani misellerin parçalanması ve yüksek moleküler ağırlıklı agregatların boya banyosunda homojen bir dispersiyon hale gelmesi, çözülmüş veya tutulmuş gaz moleküllerinin veya havanın lif kılcal damarlarından

uzaklaştırılmasıyla gazdan arındırılması ve kumaşın elyafı örten sınır tabakalarını kırarak boya ile elyaf arasındaki etkileşimi hızlandırarak boyanın lif içindeki difüzyonunu hızlandırır (Kamel ve diğ. 2010).

Bir boyama sistemi ultrasonik enerjiye maruz kaldığında;

- 1) Sudaki liflerin şişmesinde artış,
- 2) Boya moleküllerinin difüzyon katsayılarındaki artış
- 3) Boya moleküllerinin lif yüzeyine hareketinde iyileşme
- 4) Boya partiküllerinin agregatlarının daha küçük birimlere veya moleküler formlara ayrılması
- 5) Liflerin cam geçiş sıcaklığında azalma (Niaz ve diğ. 2011).

#### *Enzimatik işlemlerde ultrason teknolojisinin kullanılması*

Biyo-kimyanın farklı enzimleri keşfetmesi ve tanıtmaya başlamasıyla birlikte tekstil sektöründe enzim kullanımı her geçen gün artmaktadır. Tekstil sektöründe enzimler özellikle yaş işlemlerde kompleks kimyasal reaksiyonlarda katalizör görevi görmektedir (Perincek et al. 2009).

Ultrason tekstil endüstrisinde, gerek tekstil materyalleri üzerinde yabancı maddelerin iyi bir şekilde uzaklaştırılmasında kullanılabilecek ayrıca enzimlerle kombine edilerek, enzimlerin büyük molekülü olması nedeniyle hareket kabiliyetlerinin düşük olması dezavantajlarını gidererek enzimden beklenen etkiyi gerçekleştirmesinde ona destek olacaktır (Duran et al. 2006).

#### **5. Tartışma ve sonuç**

Standart laboratuvar ortamında boyanan kumaşlarda herhangi bir mekanik etki olmadığından fibrilleşme meydana gelmediği, işletme şartlarında boyanan kumaşlarda ise air-jetlerde yüksek mekanik etki ile kumaşlarda fibrilleşme meydana gelmektedir. Bu iki zıt durum işletme-laboratuvar arasında renk uyumsuzluğuna neden olmaktadır. Laboratuvarda onaylanan renk reçetesinin işletmede farklı sonuç vermesi nedeniyle işletme ciddi kayıplar yaşamaktadır. Renk tutmaması nüanslama yapılarak yeniden boyama ile işgücü, zaman, enerji ve üretim kayıplarına neden olmaktadır.

%100 lyocell kumaşlar kullanılarak yapılan çalışmada özellikle renk farkı değerlerinde yaşanan işletme – laboratuvar uyumsuzluğunun fibrilleşmeye bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında da standart laboratuvar boyamalarında işletmedeki mekanik etkiyi laboratuvar ortamında simüle etmek için ultrasonik homojenizatör ile manyetik karıştırıcı kullanılması ve boyama sırasında tüplere bilyeler ilave ederek mekanik etki yaratılmaya çalışılmıştır.

Önceki yapılan çalışmalarda, yüksek frekanslı enerji kavitasyonu kararsız hale getirdiğinden, yüksek frekanslı ultrasonik dalgalarda kavitasyonun daha az olduğu görülmüştür. Frekans orta derecede olduğunda, daha az güç tüketimi ve ısıtma, düşük yoğunluklarda kavitasyonu desteklediği belirtilmiştir. Ortam sıcaklığının da dalgaların yoğunluğunu etkileyen bir parametre olduğu ve sıcaklık yükseldikçe kavitasyon etkisinin azaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada da ultrason ile yapılan adımlarda, çok düşük ve çok yüksek güçlerin fibrilleşme üzerinde çok etkisi olmadığı, orta değerdeki güç seçiminde lyocell kumaş üzerinde fibrillenme eğilimini arttırdığı görülmektedir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışma; Barutçu Tekstil A.Ş ile yapılan üniversite-sanayi işbirliği TÜBİTAK 1505 projesidir.

Proje numarası: 5180081

## Kaynaklar

- Ajpura, L., Nayak, R. 2020. Ultrasound applications in textiles and apparels (Vol. 1), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102867-4.00007-4>
- Ardiç, Y. 2007. Selülozik liflerin farklı şartlarda fibrilleşme ve yorulma davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).
- Atici, A., Kaya, G. 2019. Effects of Alkali Pre-Treatment on the appearance and structural properties of Lyocell Woven Fabrics with different weave types. *Tekstil ve Muhendis*, 26(113):, 52–62. <https://doi.org/10.7216/1300759920192611306>
- Babar, A. A., Peerzada, M. H., Jhatial, A. K., Bughio, N. ul ain 2017. Pad ultrasonic batch dyeing of causticized lyocell fabric with reactive dyes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34:, 993–999. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.07.018>
- Badr, A. A., Hassanin, A., Moursey, M. 2016. Influence of Tencel/cotton blends on knitted fabric performance. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3):, 2439–2447. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.02.031>
- Bates, I., Maudru, E., Phillips, D. A. S., & Renfrew, A. H. M. 2006. Protection of lyocell against fibrillation. Part 1: Design, synthesis and application of novel crosslinking agents. *Coloration technology*, 122(5), 270-276.
- Carrillo, F., Colom, X., López-Mesas, M., Lis, M. J., González, F., Valleperas, J. 2003. Cellulase processing of lyocell and viscose type fibres: Kinetics parameters. *Process Biochemistry*, 39(2):, 257–261. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00066-9)
- Değirmenci, S. B. 2005. Sentetik liflerin ve karışımlarının ultrasonik enerji yardımıyla boyanması (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi)..
- Duran, K., Bahtiyari, İ., Ekmekçi Körlü, A. 2006. Ultrason Teknolojisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3(4):, 155–158. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/articlefile/217985>
- Duran, K., Perincek, S., Körlü, A. E., & Bahtiyari, M. İ. 2007. Ultrason Teknolojisinin Tekstilde Kullanım Olanakları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3, 162-166.
- Drambei, P., Popescu, A., Ciocoiu, M. 2003. Aspects regarding finishing Lyocell woven fabrics. *Autex Research Journal*, 3(1):, 36–40.
- Erişmiş, B. 2012. *Tekstil terbiye işlemlerinde ultrason kullanımı* (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).
- Goswami, P., Blackburn, R. S., Taylor, J., Westland, S., & White, P. 2007., Dyeing behaviour of lyocell fabric: effect of fibrillation. *Coloration Technology*, 123(6), 387-393.
- Goswami, P., Blackburn, R. S., El-Dessouky, H. M., Taylor, J., White, P. 2009. Effect of sodium hydroxide pre-treatment on the optical and structural properties of lyocell. *European Polymer Journal*, 45(2):, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.10.030>
- Jajpura, L., & Singh, B. 2015. Impact of agricultural technologies employed for food and textile fibres production on environment and human health. *Environ We Int J Sci Technol*, 10, 101-116.
- Kamel, M. M., Helmy, H. M., Mashaly, H. M., Kafafy, H. H. 2010. Ultrasonic assisted dyeing: Dyeing of acrylic fabrics C.I. Astrazon Basic Red 5BL 200%. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(1):, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.06.001>
- Khatri, Z., Memon, M. H., Khatri, A., Tanwari, A. 2011. Cold Pad-Batch dyeing method for cotton fabric dyeing with reactive dyes using ultrasonic energy. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(6):, 1301–1307. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.04.001>
- Lenz, J., Schurz, J., & Wrentschur, E. 1992. Comparative characterization of solvent spun cellulose and high wet modulus viscose fibres by their long periods. *Acta polymerica*, 43(6), 307-312.
- Niaz, A., Moshin, F., Kaleem, U., Kashif, R., Afia, S. A., Ishaq, B. I. 2011. Ultrasonicassisted pretreatment of cotton textiles. *Pakistan Textile Journal*, 60(10):, 37–39.
- Özbağcı, Ö. 2008. Pamuk ve bazı rejenere selüloz esaslı süprem örgü kumaşların fiziksel ve boyutsal özellikleri (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Perincek, S., Emel, E. Ü., Meslek, A., Tekstil, E. Ü., Bölümü, M., Cihazı, U. 2009. Ultrason cihazı ile çalışmada iş verimliliğine etki edebilecek faktörlerin incelenmesi investigation of parametres that might effect on process efficiency during textile finishing treatments. , (1):, 70–76

- Periyasamy, A. P. 2012. Effect Of Alkali Pretreatment And Dyeing On Fibrillation Properties Of Lyocell Fiber 2 . Experimental Procedure. RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012
- Rosenau, T., Potthast, A., Sixta, H., Kosma, P. 2001. The chemistry of side reactions and byproduct formation in the system NMMO/cellulose (Lyocell process). *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 26(9):, 1763–1837. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(01\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00023-5)
- Sun, D., Guo, Q., Liu, X. 2010. Investigation into dyeing acceleration efficiency of ultrasound energy. *Ultrasonics*, 50(4–5):, 441–446. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2009.07.002> .
- Tomljenović, A., & Čunko, R. 2004., Reducing fibrillation tendency of man-made cellulose fibres employing ultrasound treatment. *The Journal of The Textile Institute*, 95(1-6), 327-339.
- Udomkitchdecha, W., Chiarakorn, S. 2001. Factors to Predict the Fibrillation Tendency of Lyocell Fibers. *J. Sci. Res. Chula. Univ.*, 26(1):, 49–56.
- Umur, Y. 2010. Selülozik Esaslı Liflerde Fibrilleşmenin Kopma Yüğü ve Uzama Oranına Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Müh Mim Fak. Dergisi*, 15(1) :, 121–133.
- Vajnhandl, S., & Le Marechal, A. M., 2005. Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes. *Dyes and Pigments*, 65(2), 89-101.
- Yaman, N., Oektem, T., & Seventekin, N. 2007. Production of polynosic fibers, their properties and usage areas (Part 1). *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 17(3), 170-178.
- Zhang, S., Chen, C., Duan, C., Hu, H., Li, H., Li, J., ... & Ni, Y. 2018. Regenerated cellulose by the lyocell process, a brief review of the process and properties. *BioResources*, 13(2), 4577-4592.

# The Effects of Biodiesels Produced from Edible and Non-Edible Plant Oil-Based Feedstocks on the Combustion Behaviors of Compression-Ignition Engines: A Review

Murat Kadir YEŞİLYURT

*Yozgat Bozok University, Engineering-Architecture Faculty, Mechanical Engineering Department, Yozgat.  
kadir.yesilyurt@bozok.edu.tr*

## Abstract

In the transportation sector, compression-ignition (CI) engines have been indicated to be more popular than spark-ignition (SI) engines because of their fuel-lean operations. On the other hand, requisition for petroleum-based fuels has been gradually increasing, and therefore the basic fuel resource of CI engines which is fossil-based fuels has been swiftly diminishing all over the world. Due to a shortage of fuel reserves, numerous countries are primarily dependent upon fossil-based fuels, which are imported from different regions, and this case causes a great influence on the financial statement. Besides, NO<sub>x</sub> and soot emissions are the most remarkable issues for diesel engines. In this regard, widespread attempts have been effectuated for exploring alternating fuels by researchers in the last few decades to get over the petroleum-based fuel dependency along with environmental pollution. On this basis, various alternative fuels like alcohol-based fuels, biodiesel, diethyl ether, hydrogen, etc. have been widely addressed by most researchers. Many works have indicated that biodiesel is one of the most encouraging alternating fuels for use in CI engine applications attributable to its significant specifications namely oxygenated, biodegradable, produced from renewable feedstocks, environmentally friendly, sustainable, and sulfur-free. The literature survey shows that comprehensive investigations have been performed to assess the biodiesel fuel's convenience as an alternative fuel and to study out their benefits in CI engines. Accordingly, the present paper is prepared for the purpose of a review of the combustion characteristics of CI engines running on biodiesel fuels produced from different edible and non-edible plant oil-based feedstocks. Furthermore, some other significant subjects about biodiesel like biodiesel raw materials, standards, physical and chemical specifications, and fatty acid compositions have been discussed. To conclude, this review regarding the latest published literature will assist researchers with intention of figuring out the combustion properties of CI engines fueled with different biodiesels.

**Keywords:** Biodiesel, combustion behaviors, compression-ignition engine, fuel specifications.

## 1. Introduction

The energy usage all over the world has been rapidly rising since the twentieth century because it is well-known that energy is a key factor in the development of entire sectors with the inclusion of modernization, transportation, agricultural, telecommunication, and industrialization sectors together with the improving in the human living conditions (Asokan et al., 2019; Mofijur et al., 2013). On the grounds of this, the energy consumption of the world is assumed to expand at a faster ratio than the increase of the population (Mofijur et al., 2012).

Nowadays, it can be said the most substantial concern confronted by the world is presumably the energy problem. Namely, the energy demand of the world shows to being ascended each day in comparison with the former day (Gürel et al., 2020). These days, approximately 87% of the world's energy consumption has been supplied by fossil-based resources where the percentages are follows as 23.67% for natural gas, 33.06% for crude oil, and 30.34% for coal, respectively. In addition to this, it is estimated that global energy consumption will increase by the ratio of 53% by the year 2030 according to the International Energy Agency (IEA). This is because of their superior efficiency in the combustion process, reliability, adaptability, and handling facilities as well (Agarwal and Rajamanoharan, 2009).

Table 1 represents the global primary energy consumptions in 1980, 2010, and 2019. As can be seen in Table 1, the share of hydropower, renewable energy, and nuclear energy in the year of 2019 is very low with merely 5.0%, 6.4%, and 4.3% of the sum of the energy utilization, respectively. Additionally, the global primary energy consumption has increased from 6629.8 Mtoe (million tons of oil equivalent) in 1980 to 13946.3 Mtoe in 2019. There was even an increase of 183.9 Mtoe in 2019 compared to the previous year (BP, 2020).

**Table 1.** The global primary energy consumptions in 1980, 2010, and 2019 (BP, 2020)

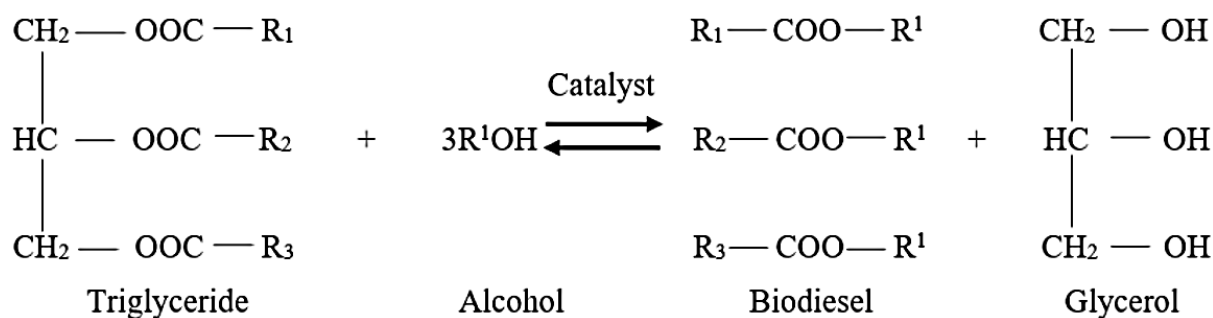
Energy source	1980		2010		2019	
	Share (%)	Mtoe	Share (%)	Mtoe	Share (%)	Mtoe
Oil	44.9	2979.8	33.66	4031.9	33.1	4609.7
Coal	19.6	1807.9	29.48	3532.0	27.0	3771.4
Natural gas	27.3	1296.8	23.73	2843.1	24.2	3379.7
Renewable	-	-	1.38	165.5	5.0	692.7
Hydropower	5.8	384.3	6.50	778.9	6.4	898.1
Nuclear	2.4	161.0	5.22	626.3	4.3	594.7
Total	100	6629.8	100	11977.7	100	13946.3

Harmful pollutants that are generated by burning petroleum-derived fuels lead to having substantial impacts on human health along with the environment (Liaquat et al., 2010). Unfortunately, it is expected that the greenhouse gases (GHG) emissions resulting from petroleum-based fuels will enhance by 39% by the year 2030 unless a great struggle is made to mitigate it. Many factors like environmental apprehensions worldwide, jumping of the petroleum products cost, and foreseen exhausting of diesel fuel have supported to explore the clean and improved combustion behaviors for CI engines fueling with alternate fuels (Lim and Teong, 2010; Atabani et al., 2012; Palash et al., 2013). The status that the available fossil-based fuels' reserves in the world are limited compelled researchers to explore alternating fuel candidates for internal combustion engines (Ağbulut et al., 2019). As a consequence, it happens a global subject with a focus on developing renewable and sustainable alternating fuel candidates that can be technically probable, environmentally appropriate, and domestically convenience (Mofijur et al., 2013).

Vegetable oils have been produced on grounds of processing seeds, fruits, and kernels of some agricultural products. Vegetable oils can dissolve in the organic solvents like chloroform, benzene, and ether whereas they cannot dissolve in water. The oils are triglycerides composed as a consequence of the displacement process between three molecules of fatty acids and glycerol. That is to say that the fatty acids include 94-96 wt.% of the triglyceride molecule and the remaining percentage is glycerol (Aksoy et al., 2014). It is well-known that the applications of straight vegetable-based oils in the CI engines can promote several engine problems. These problems can be noted as follows: carbon deposits on the engine head and piston, thickening of the engine lubricating oil, fuel injectors coking, piston ring sticking, and high engine wear. This is due to the worse physical and chemical specifications of the vegetable oils such as low volatility, high viscosity, and poor low-temperature properties (Canakci and Van Gerpen, 1999; Fukuda et al., 2001; Rao and Mohan, 2003; Aksoy et al., 2009a).

There are some techniques such as dilution, pyrolysis (thermal cracking), transesterification, and micro-emulsions methods in order to reduce the vegetable oils' viscosity values (Pramanik, 2003; Aksoy et al., 2009b). Among the aforementioned process, the transesterification reaction is one of the best choices for producing biodiesel fuel from vegetable oils. It is a kind of a chemical reaction for vegetable oils or animal fats with short-chain alcohol like methanol and ethanol in the existence of a catalyst, generally a homogeneous base, such as sodium hydroxide and potassium hydroxide, and hence, occurs a new chemical product named biodiesel or fatty acid methyl ester. The chemical reaction of the transesterification process is also represented in Figure 1. Biodiesel is a renewable and sustainable fuel type and it can be synthesized from edible and inedible oils, waste cooking oils, animal fats, and algae oils by transesterification reactions (Van Gerpen, 2005; Atadashi et al., 2012; Shahabuddin et al., 2012; Hoekman et al., 2012). The comparison of the advantages and disadvantages of the biodiesel production processes was presented in Table 2.





**Figure 1.** The chemical reaction for the transesterification process (Marchetti et al., 2007)

Based on the Energy Policy Act of 1992 (EPACT, US), biodiesel, natural gas, methanol, electricity, ethanol, hydrogen, and so on were described as the main eventual alternating fuels, and further, these have been being used all over the world in various vehicle applications due to the capability of them on the reduction of global warming as well as fossil-based fuel consumption (Jia et al., 2005; Liaquat et al., 2010).

Among the aforementioned alternative fuels, biodiesel fuel is one of the most significant options on account of its environmentally-friendly features and almost identical specifications according to the conventional diesel fuel (Ozcanli et al., 2013). It is anticipated that the application of biodiesel pure form or blending with mineral diesel fuel may play an important role in alleviating petroleum-derived fuel requests, environmental pollution, and the unfavorable influence on the health of humans (Demirbas, 2009a; Mallikappa et al., 2012; Varatharajan and Cheralathan, 2012; Abd Manaf et al., 2019; Pollitt et al., 2019; Singh et al., 2020; Mahlia et al., 2020, Sia et al., 2020).

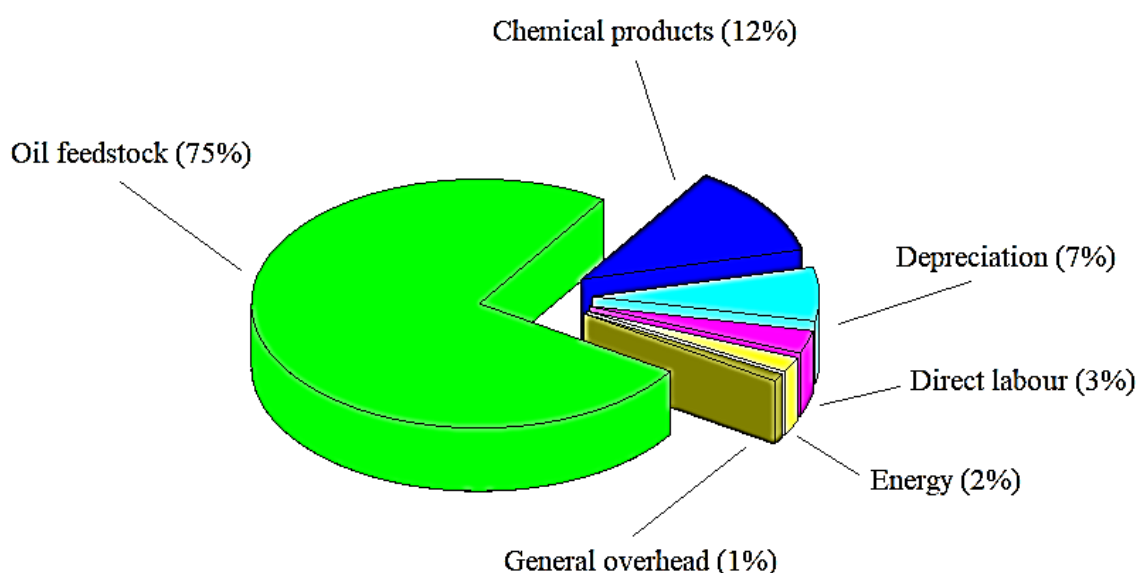
**Table 2.** The comparison of the advantages and disadvantages for the biodiesel production processes (Aksoy, 2010; Lin et al., 2011; Koh and Ghazi, 2011; Mofijur et al., 2013)

Process	Disadvantages	Advantages
Pyrolysis	Elevated temperature is necessary Expensive apparatus is required Purity is low High cost due to higher energy requirement	There is no pollution Process is generally simple Chemically similar products to diesel fuel
Supercritical methanol	High pressure and temperature are need Price of the equipments are high Energy consumption is high	There is no catalyst Reaction duration is short Conversion rate is high Adaptability is good
Dilution	Viscosity is high Stability and volatility are low Reactivity of unsaturated hydrocarbon chains	Process is easy Renewable characteristic
Micro-emulsion	Cetane number and energy content are low	Low viscosity Good spray behaviors in the combustion process
Transesterification	For base catalyst, water content and free fatty acid content of the feedstock have to be low Some impurities can be occurred owing to the neutralization process Separation of the water and glycerol is difficult	Fuel specifications are closer to conventional diesel Conversion rate is high while reaction cost is low It is applicable to industrial production

The goal of the present paper is that only a limited numbers of authors have discussed and reviewed the combustion behaviors of CI engines fueled with biodiesel fuels obtained from edible and non-edible plant oil-based raw materials, especially in the last decades even though there is a lot of publications published in the recent literature. For this reason, this comprehensive review paper has exhibited the biodiesel potency from various feedstocks, and their influence on the combustion characteristics when used in a diesel engine covering operation parameters as well as engine details. In addition to this, significant fuel properties of the biodiesel with international biodiesel standards have also been included in the present study. Most of the recent papers published in the highly reputed journal in the scientific database have been reviewed and presented.

## 2. The raw materials used in the biodiesel production

Across the globe, it is to be noted that more than 350 available oil-bearing crops stated as resources having high potential so as to produce biodiesel (Torres et al., 2013). However, the price of the produced biodiesel fuels can change depending upon the used raw materials, instability in crop production from season to season, geographic region, the petroleum cost, and so on (Demirbas, 2009b). Choosing convenient raw materials is an indispensable subject for providing less cost in biodiesel production. It is taken to be considered that the supply of feedstock and its cost cover more than 75% of the total cost of the production biodiesel (Meng et al., 2009). Figure 2 demonstrates the general cost analysis for biodiesel production.



**Figure 2.** The general cost analysis for biodiesel production (Lim and Teong, 2010)

Nowadays, on the other hand, the most substantial raw materials are rapeseed in Europe, palm in Southeast Asia, and soybean in the USA (Singh and Singh, 2010). Besides that, waste cooking oils (also named used cooking oils or yellow grease) and animal fats (chicken fat, beef tallow, etc.) can evaluate as considerable feedstocks in the biodiesel industry in most of the locations worldwide. Except for those, other vegetable-based oil species attract commercial attention by people as biodiesel feedstocks. These are as follows: coconut, jatropha, corn, sunflower, cottonseed, etc. In general, the raw materials used in the production of biodiesel fuel have been classified into four basic subsections (Kafuku and Mbarawa, 2010). Table 3 represents the oils used in the production of biodiesel (Hoekman et al., 2012). Undoubtedly, there is a need for more exploration to examine other economic topics in relation to biodiesel fuels in Turkey (Eryilmaz et al., 2016).

**Table 3.** Some of the raw materials used in the production of biodiesel

<b>Edible oils</b>	<b>Non-edible oils</b>
Canola (Kulkarni et al., 2006; Atabani et al., 2013)	<i>Acacia concinna</i> (Saxena et al., 2018)
Coconut (Rajak and Verma, 2018)	<i>Annona muricata</i> (Su et al., 2018)
Cottonseed (Eryilmaz et al., 2014)	Beauty leaf (Azad et al., 2016)
Flaxseed (Yadav et al., 2017)	Bitter almond (Al-Tikrity et al., 2017)
Palm (Atabani et al., 2013; Rajak and Verma, 2018)	<i>Brassica juncea</i> (Fadhil et al., 2020)
Peanut (Yesilyurt, 2020)	<i>Calophyllum inophyllum</i> (Atabani et al., 2013; Tipachan et al., 2017)
Poppy seed (Aksoy, 2011a)	<i>Cannabis sativa</i> (Li et al., 2010)
Rapeseed (Rajak and Verma, 2018; Marchuk et al., 2019)	Castor (Azad et al., 2016)
Safflower (Eryilmaz et al., 2015)	<i>Croton megalocarpus</i> (Kafuku and Mbarawa, 2010; Atabani et al., 2013)
Sesame (Saydut et al., 2008)	<i>Cynara cardunculus</i> (Encinar et al., 2002)
Soybean (Haas, 2005; Rajak and Verma, 2018)	<i>Hura crepitans</i> (Ibrahim et al., 2019)
Sunflower (Karabas, 2013a)	<i>Jatropha curcas</i> (Atabani et al., 2013)
Sunflower (Rajak and Verma, 2018)	Jojoba (Rajak and Verma, 2018)
Coconut (Atabani et al., 2013)	Karanja (Yadav et al., 2017; Reddy et al., 2018)
<b>Animal fats</b>	Mahua (Yadav et al., 2017)
Beef tallow (Rajak and Verma, 2018)	<i>Sinapis alba</i> (Yesilyurt et al., 2019)
Chickan fat (Rajak and Verma, 2018)	<i>Sinapis arvensis</i> (Eryilmaz et al., 2015)
Fish oil (Rajak and Verma, 2018)	<i>Styrax officinalis</i> (Yesilyurt and Cesur, 2020)
Lard oil (Rajak and Verma, 2018)	Tobacco seed (Giannelos et al., 2002)
Poultry fat (Rajak and Verma, 2018)	<i>Vitex doniana</i> (Ndukwe and Ugboaja., 2020)
<b>Others</b>	<i>Terminalia belerica</i> (Chakraborty et al., 2009)
Microalgae (Rajak and Verma, 2018)	<i>Moringa oleifera</i> (Atabani et al., 2013)
Waste cooking oil (Rajak and Verma, 2018)	<i>Sterculia foetida</i> (Atabani et al., 2013)
	<i>Pangium edule</i> (Atabani et al., 2015)
	<i>Silybum marianum</i> (Fadhil et al., 2017)

### 3. Fatty acid profiles of the edible and non-edible feedstocks used in the biodiesel production

Figures 3 and 4 portray the fatty acid profiles of some edible and non-edible raw materials used in the production of biodiesel, respectively. It is well-known that the fatty acid composition is remarkable in the sorting of the vegetable oils in the view of nutritional characteristics. The kind of the fatty acids and their percentages generally depend upon the crop species as well as their growth locations (Mofijur et al., 2013).

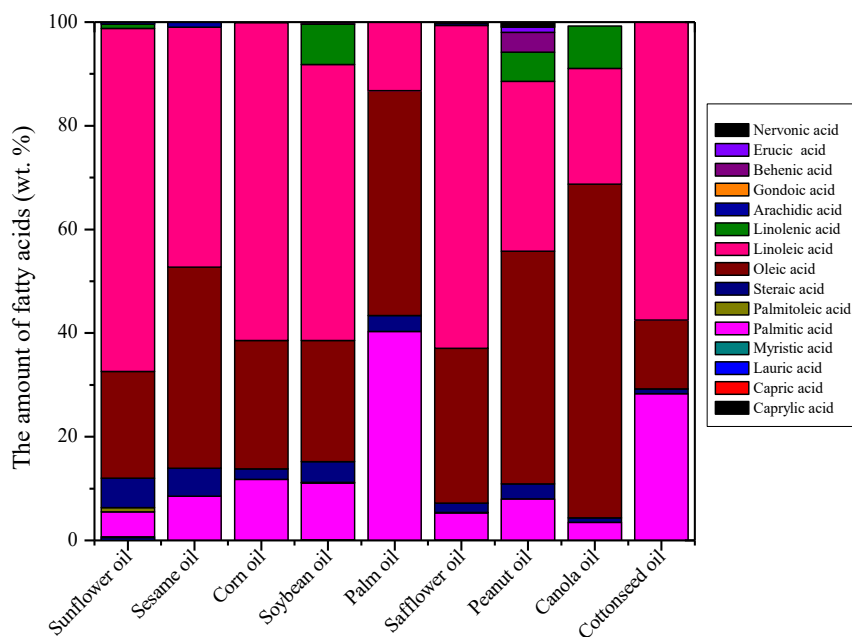
The vegetable oils have commonly palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1), linoleic acid (C18:2), and linolenic acid (C18:3), as seen in Figures 3 and 4. Among the above mentioned fatty acids, palmitic and stearic acids are saturated fatty acids and they have not double bonds in their chemical structure. Oleic, linoleic, and linolenic acids have one, two, and three double bonds, respectively.

The investigations and explorations demonstrated that oils having a long chemical structure and one pair of branched fatty acids are convenient for evaluating as an alternating fuel to the CI engine applications. Moreover, fatty acids effectuate fuel characteristics. For instance, the ascending of unsaturation degree in the oil has an adverse effect on the cetane rating (Oğuz and Ögüt, 2005). In addition to this, cold flow specifications such as cloud point, cold filter plugging point, pour point, and freezing point are significantly influenced by linolenic acid content (Eryilmaz and Yesilyurt, 2016).

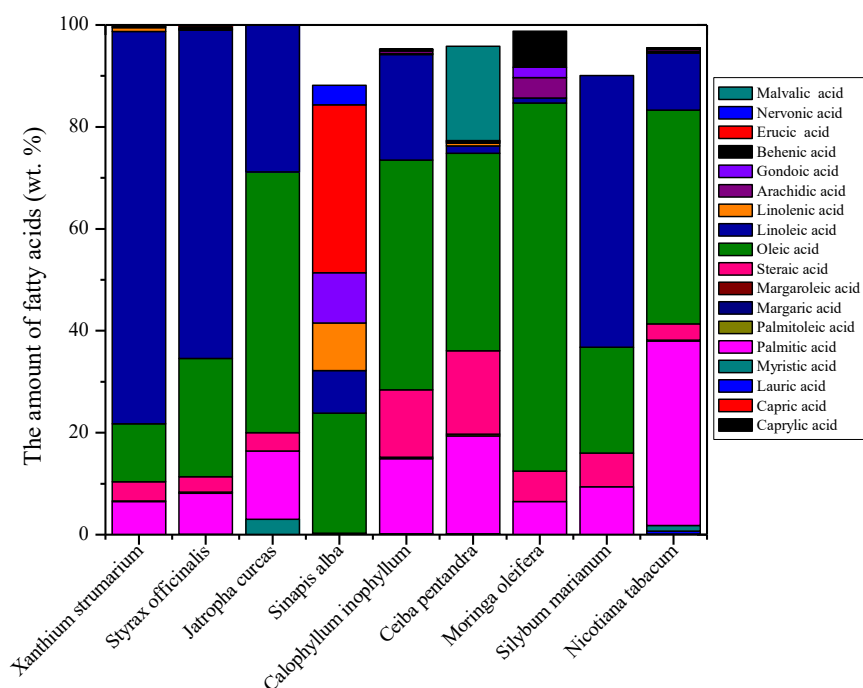
### 4. The current status of the biodiesel fuel in the world

Table 4 shows the biodiesel production and consumption amounts of some countries and regions. As observed, the world's biodiesel production quantity has been increasing step by step from 483 Tboe (thousand barrels of oil equivalent) per day in 2015 to 699 Tboe per day in 2019. Besides, the consumption of biodiesel in the world was examined, an increase of 46.21% ratio occurred from 2015 to 2019. The biodiesel production amount of the US was only 7 Tboe per day in the year of 2019 while the consumption quantity was 101 Tboe per day. Moreover, the big biodiesel producer and consumer-related to biodiesel is

the EU. In other words, the EU had a ratio of 33.76% of the total biodiesel production in the world while accounting for 38.17% of all biodiesel consumption.



**Figure 3.** Fatty acid compositions of some edible feedstocks used in the production of biodiesel (Puhan et al., 2009; Koh and Ghazi, 2011; Anand et al., 2011; Bello and Agge, 2012; Yaakob et al., 2014; Eryilmaz and Yesilyurt, 2016)



**Figure 4.** Fatty acid compositions of some non-edible feedstocks used in the production of biodiesel (Rashid et al., 2008; Usta et al., 2011; Chuah et al., 2016; Fadhil et al., 2017; Cesur et al., 2018; Ong et al., 2019; Yesilyurt et al., 2019; Yesilyurt and Cesur, 2020)

**Table 4.** Biodiesel production and consumption quantities of some countries and regions (Thousand barrels of oil equivalent per day) (BP, 2020)

Countries and regions	Biodiesel production					Biodiesel consumption				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
US	5	6	7	6	7	83	116	111	106	101
Canada and Mexico	70	87	89	104	96	4	5	6	6	5
Brazil	58	56	63	79	87	58	56	63	79	87
Other S. and Cent. America	40	54	57	52	47	23	23	25	24	25
Europe	207	204	232	246	240	217	222	243	268	261
Commonwealth of Independent States	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Middle East	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Africa	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1
Asia Pacific	102	130	130	176	218	61	89	80	115	173
<b>Total World</b>	<b>483</b>	<b>539</b>	<b>581</b>	<b>665</b>	<b>699</b>	<b>448</b>	<b>511</b>	<b>530</b>	<b>599</b>	<b>655</b>
of which: OECD	288	304	333	359	347	311	346	362	386	374
Non-OECD	195	235	248	306	352	137	165	168	213	281
European Union	205	202	229	242	236	212	214	230	257	250

\* Less than 0.5

The amount of biodiesel production in the EU between 2013 and 2017 was tabulated in Table 5 for each country. Based on the Table given underneath, a large enlargement in the biodiesel production capacity was being monitored in Germany followed by Spain, Netherlands, and France, respectively.

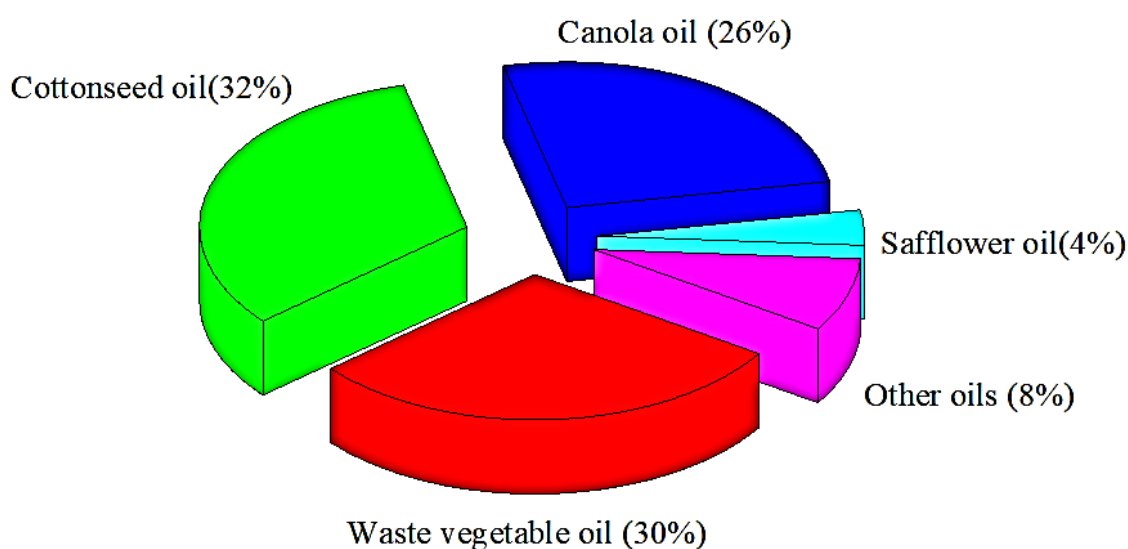
**Table 5.** Biodiesel production amount in the EU (in thousands of tons) (EBB, 2020)

Country	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Austria</b>	239	256	298	302	524
<b>Belgium</b>	565	663	471	459	846
<b>Bulgaria</b>	13	13	25	39	356
<b>Croatia</b>	33	33	18	13	55
<b>Czech Republic</b>	210	220	185	193	464
<b>Denmark</b>	334 <sup>1</sup>	347 <sup>1</sup>	398 <sup>1</sup>	421 <sup>1</sup>	250
<b>Estonia</b>	0	0	0	0	35
<b>Finland<sup>2</sup></b>	320	347	476	428	430
<b>France</b>	1885	1812	1885	1703	2080
<b>Germany</b>	2516	2979	2900	3017	4005
<b>Greece</b>	220	223	135	138	729
<b>Hungary</b>	150	150	75	75	188
<b>Ireland<sup>2</sup></b>	24	27	27	27	74
<b>Italy</b>	387	546	511	503	1525
<b>Latvia</b>	61	40	72	60	154
<b>Lithuania</b>	118	118	117	102	147
<b>Luxemburg</b>	0	0	0	0	0
<b>Malta</b>	1	1	1	1	5
<b>Netherlands</b>	1248 <sup>2</sup>	1176 <sup>2</sup>	1555 <sup>2</sup>	1389 <sup>2</sup>	2505
<b>Poland</b>	648	692	756	779	1239
<b>Portugal</b>	314	269	258	271	639
<b>Romania</b>	137	156	98	163	295
<b>Slovakia</b>	105	105	125	125	166
<b>Slovenia</b>	2	2	0	0	100
<b>Spain</b>	618	767	854	1105	3398
<b>Sweden</b>	-	-	-	-	362

UK	277	240	229	263	528
<sup>1</sup> Denmark/Sweden, <sup>2</sup> Data include Hydro-diesel production					

In Turkey, the "Regulation on the Environmental Effects of Gasoline and Diesel Fuel Types" was prepared by the Ministry of Environment and Urbanization, taking into account the European Union Gasoline and Diesel Quality Directive in 2017. The technical specifications determined by EMRA within the scope of EN 228 (Gasoline) and EN 590 (Diesel) are based on the import, supply, and presentation of the fuels defined within the scope of the Regulation. In accordance with the regulation that entered into force on 1 Jan. 2018, it is obligatory to blend 0.5% biodiesel for diesel types. In this regard, in the first year of the obligatory, a total of 108.609 tons of biodiesel was produced. At present, biodiesel production and sale of biodiesel plants in 7 active in Turkey are carried out (BSD, 2020).

The raw materials used in the production of biodiesel in Turkey was illustrated in Figure 5. In the same year, when an examination was made according to the types of raw materials used in the production of the biodiesel sector, it was found that 30% of waste vegetable oils were used and 70% of vegetable oil seeds were used. In this regard, approximately 35000 tons of cottonseed oil, 28000 tons of canola oil, 4200 tons of safflower oil, 32000 tons of waste vegetable oils, and 8800 tons of other types of oil were used to produce biodiesel (BSD, 2020).



**Figure 5.** Raw materials used in the production of biodiesel in Turkey (BSD, 2020)

## 5. Physical and chemical characteristics of potential non-edible and edible raw materials

The evaluation of some of the major physico-chemical characteristics for raw materials has been taken into consideration in order to assess their feasibility for using in the biodiesel production process. Tables 6 and 7 tabulate the physical and chemical properties of non-edible and edible feedstocks having high potential in biodiesel production, respectively. The non-edible raw materials include *Jatropha curcas* L. oil (JCO), *Calophyllum inophyllum* L. oil (CIO), *Sterculia foetida* L. oil (SFO), *Croton megalocarpus* L. oil (CMO), and *Moringa oleifera* L. oil (MOO) while the edible feedstocks include safflower oil (SO), cottonseed oil (CSO), palm oil (PO), canola oil (CO), soybean oil (SoO), and peanut oil (PeO).

**Table 6.** The physical properties of potential non-edible feedstocks used in the production of biodiesel (Atabani et al., 2013)

Property	Unit	JCO	CIO	SFO	CMO	MOO
Dynamic viscosity <sup>1</sup>	mPas	43.543	51.311	69.408	27.157	38.997
Kinematic viscosity <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup> /s	48.091	55.677	75.913	29.844	43.468
Kinematic viscosity <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /s	9.1039	9.5608	13.608	7.2891	9.0256
Viscosity index (VI)	-	174.10	165.4	184.80	224.20	195.20
Acid value	mg KOH/g oil	17.63	41.74	9.49	12.07	8.62
Specific gravity <sup>3</sup>	-	0.9157	0.952	0.938	N/D	N/D
Density <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	915	951	937	910 <sup>1</sup>	897.1 <sup>1</sup>
Heating value	MJ/kg	38.961	38.511	39.793	39.331	39.762
Flash point	°C	258.5	236.5	246.5	235	263
Oxidation stability	hours at 110°C	0.32	0.23	0.15	0.14	41.75
Cold filter plugging point	°C	21	26	29	10	18
Copper strip corrosion <sup>4</sup>	Degree of corrosion	1a	1a	1a	1a	1a

<sup>1</sup> at 40°C  
<sup>2</sup> at 100°C  
<sup>3</sup> at 15°C  
<sup>4</sup> 3 h at 50°C

**Table 7.** The physical properties of potential edible feedstocks used in the production of biodiesel (Kaya et al., 2009; Atabani et al., 2013; Eryilmaz et al., 2014; Eryilmaz and Yesilyurt, 2016)

Property	Unit	SO	CSO	PO	CO	SoO	PeO
Dynamic viscosity <sup>1</sup>	mPas	-	-	37.731	32.286	28.796	-
Kinematic viscosity <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup> /s	32.102	31.347	41.932	35.706	31.739	22.72
Kinematic viscosity <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /s	7.706	-	8.496	8.518	7.6295	-
Viscosity index (VI)	-	223.478	-	185.0	213.5	223.2	-
Acid value	mg KOH/g oil	-	-	N/D	N/D	N/D	-
Specific gravity <sup>3</sup>	-	-	-	N/D	N/D	N/D	-
Density <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	921.03	921.50	899.8 <sup>1</sup>	904.2 <sup>1</sup>	907.3 <sup>1</sup>	888
Heating value	MJ/kg	40.468	39.278	39.867	39.751	39.579	39.9
Flash point	°C	229	237	254.5	290.5	280.5	198
Oxidation stability	hours at 110°C	-	-	0.08	5.64	6.09	-
Cold filter plugging point	°C	13	-	23	15	13	-
Copper strip corrosion <sup>4</sup>	Degree of corrosion	1a	1a	1a	1a	1a	-

<sup>1</sup> at 40°C  
<sup>2</sup> at 100°C  
<sup>3</sup> at 15°C  
<sup>4</sup> 3 h at 50°C

## 6. Biodiesel standards

The quality standards for the production, marketing, and storage for biofuels have been constituted and applied all over the world so as to protect the quality of the final product and also to provide the trust of consumers. In this context, the first country is Austria which identified and accepted standards for the biodiesel obtained from rapeseed oil. Today, the most commonly preferred standards worldwide are the EU (EN 14214) and US (ASTM D6751) standards (Mofijur et al., 2013). For this reason, these standards were presented in Table 8. In our country, TS EN 14214 standard has been prepared based on the EU standards on biodiesel.

**Table 8.** Comparison of ASTM D6751 and EN 14214 biodiesel standards (Singh and Singh, 2010; Shameer et al., 2016; Sakhtivel et al., 2018)

Fuel Property	Unit	EN 14214	ASTM D6751
Ester content	% mass	96.5 min.	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860-900	880
Kinematic viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3.5-5.0	1.9-6.0
Flash point	°C	101 min.	93 min.
Sulfur content	ppm	10 max.	150 max. (S15 grade) 500 max. (S500 grade)
Cetane number		51 min.	47 min.
Sulphated ash content	% mass	0.02 max.	0.002 max.
Water content	ppm	500 max.	0.050 vol% max.
Total contamination	ppm	24 max.	24 max.
Copper strip corrosion (3 h at 50°C)	Degree of corrosion	No 1	No 3
Oxidation stability at 110°C	hours	8.0 min.	3.0 min.
Acid value	mg KOH/g	0.5 max.	0.5 max.
Iodine value	g iodine/100 g	120 max.	-
Linolenic acid methyl esters	% mass	12.0 max.	
Polyunsaturated (>= 4 double bonds) methyl ester	% mass	1.0 max.	
Methanol content	% mass	0.20 max.	
Monoglycerides	% mass	0.70 max.	0.40 max.
Diglycerides	% mass	0.20 max.	
Triglycerides	% mass	0.20 max.	
Free glycerol	% mass	0.02 max.	0.02 max.
Total glycerol	% mass	0.25 max.	0.24 max.
Group I metals (Na+K)	ppm	5.0 max.	5 max.
Group II metals (Ca+Mg)	ppm	5.0 max.	5 max.
Phosphorous content	ppm	4.0 max.	0.001 %mass max.
Cloud point	°C	-	-3 to -12
Pour point	°C	-	-15 to -16
Carbon residue	% mass	-	0.05 max.
Distillation temperature at 90% Recovered	°C	-	360
Lubricity (HFRR)	m	-	520 max.
Carbon	wt%	-	77
Hydrogen	wt%	-	12
Oxygen	wt%	-	11
BOCLE scuff	g	-	>7000
Boiling point	°C	-	100-615
Saponification value	mg KOH/g	-	370 max.
Cold soak filterability	Seconds	-	360 max.
Alcohol control	Methanol content	% mass	0.2 max.
	Flash point	°C	130 min

## 7. Fuel characteristics for biodiesel obtained from various raw materials

The specifications for biodiesel fuels have been identified by physical and chemical characteristics like flash point, viscosity, density, water content, cetane rating, sulfur content, oxidation stability, acid value, iodine value, cold flow properties, lubricity, carbon residue, ester content, etc. In the present review paper, the major properties of biodiesel fuels derived from different edible and non-edible sources were investigated. In this regard, Tables 9 and 10 represented the basic properties for biodiesels obtained from both non-edible and edible raw materials.



**Table 9.** Major physical and chemical specifications of biodiesel fuels produced from non-edible feedstocks

Fuel properties	SAOB	MZOB	XSOB	QFOB	ESOB	CPOB	CIOB
Ester content (% mass)	96.9	96.8	98.7	-	97	-	-
Density <sup>1</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	872.1-878	875	-	870	881.1	886.38	864-872.7
Kinematic viscosity <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> /s)	5.413-5.67	4.67	3.723	4.5	5.9	6.01	3.15-5.38
Flash point (°C)	90-178	174	174	145	52	-	138-160.5
Cetane number (-)	57.23-60	52	48.8	52	48	56.8	56.5-69
Copper strip corrosion <sup>3</sup> (Degree of corrosion)	1a	-	1a	-	-	-	-
Oxidative stability <sup>4</sup> (hours)	2.0	-	1.2	-	6	0.45	3.18
Acid value (mg KOH/g)	0-0.336	0.15	0.07	0.18	0.4	-	0.24-0.29
Iodine value (g iodine/100 g)	102.3-106.26	65.28	-	99.4	-	-	81.5
Linolenic acid methyl ester (% mass)	8.7-11.701	-	-	-	-	-	-
Polyunsaturated (>= 4 double bonds) methyl ester (% mass)	0	-	-	-	-	-	-
Methanol content (% mass)	0-0.15	-	-	-	-	-	-
Monoglycerides (% mass)	0.15	0.52	-	0.25	-	0.046	-
Diglycerides (% mass)	0.05	0.13	-	0.08	-	0.148	-
Triglycerides (% mass)	0.02	0.12	-	0.05	-	0.186	-
Free glycerol (% mass)	0.0-0.0008	0	0.0008	0.01	0.012	0.018	-
Total glycerol (% mass)	0.05-0.23	0.17	0.135	0.15	0.220	0.071	-
Water content (ppm)	223-335.89	-	490	200	500	451	-
Sulfated ash content (% mass)	0.0109	-	0.004	-	-	-	-
Sulfur content (ppm)	0.21-0.4	0	-	0.01	-	-	-
Group I metals (Na+K) (ppm)	56.150	-	-	0	-	41.2	-
Group II metals (Ca+Mg) (ppm)	25.117	-	-	-	-	7.3	-
Phosphorus content (ppm)	0.87-9.254	-	-	-	-	0	-
Cloud point (°C)	-10 to 5	-	-	-	-	4.4	10-16
Pour point (°C)	-18 to -13	-6	-	-	-	4.0	4.3-8
Cold filter plugging point (°C)	-5 to 0	-	-3	-6	-	-	-
Freezing point (°C)	-20	-	-	-5	-	-	-
pH (-)	7.192	-	-	-	-	-	-
Heating value (MJ/kg)	39.931	37.2	-	-	-	-	38.60-43.28
Color (-)	2.0	-	-	39.96	-	-	-
Carbon residue (% mass)	-	-	-	-	0.04	-	-

<sup>1</sup> at 15°C<sup>2</sup> at 40°C<sup>3</sup> 3 hours at 50°C<sup>4</sup> at 110°C

SAOB: *Sinapis alba* oil biodiesel (Ciubota-Rosie et al., 2013; Sultana et al., 2014; Yesilyurt et al., 2019), MZOB: *Manilkara zapota* oil biodiesel (Kumar et al., 2015), XSOB: *Xanthium sibiricum* oil biodiesel (Chang et al., 2013), QFOB: *Quercus frainetto* oil biodiesel (Karabas, 2013b), ESOB: *Eruca sativa* oil biodiesel (Chakrabarti and Ahmad, 2009), CPOB: *Ceiba pentandra* oil biodiesel (Rashid et al., 2014), CIOB: *Calophyllum inophyllum* oil biodiesel (Sahoo et al., 2007; Belagur and Chitimini, 2012; Abedin et al., 2016; Arumugam and Ponnusami, 2019)

**Table 10.** Major physical and chemical specifications of biodiesel fuels produced from edible feedstocks

Fuel properties	SeOB	PSOB	AOB	ROB	SoOB	SOB
Ester content (% mass)	-	-	99.7	99.2-99.5	96.9-98.2	97
Density <sup>1</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	867.2-882	883.7	-	870-883	880-887	870
Kinematic viscosity <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> /s)	4.2-5.77	4.41	4.2	4.34-5.32	3.97-5.19	4.1
Flash point (°C)	110-170	>120	172	105-208	92-179	136
Cetane number (-)	50.48	-	57	41-58	45-51.7	52
Copper strip corrosion <sup>3</sup> (Degree of corrosion)	-	-	-	1a	1a	1a
Oxidative stability <sup>4</sup> (hours)	-	-	3.0	2.0-9.53	1.3-7.1	6
Acid value (mg KOH/g)	0.28	0.48	0.17	0.11-0.16	0.14-1.8	0.06
Iodine value (g iodine/100 g)	80.32	115	-	109-118	115-128	116
Linolenic acid methyl ester (% mass)	-	-	0.8	7.9-8.6	6.3-8.2	0.08
Polyunsaturated (>= 4 double bonds) methyl ester (% mass)	-	-	-	0	0.0	0
Methanol content (% mass)	-	-	0	0-0.2	0-0.11	0.10
Monoglycerides (% mass)	-	0.47	0.27	0.06-0.41	0.21-0.5	0.61
Diglycerides (% mass)	-	0.15	0.08	0.08-0.19	0.10-0.12	0.18
Triglycerides (% mass)	-	0.14	0.02	0.03-0.08	0.04-0.07	0.04
Free glycerol (% mass)	-	0.16	-	0.009-0.01	0-0.07	0.02
Total glycerol (% mass)	-	0	-	0.06-0.12	0-0.178	0.22
Water content (ppm)	-	490	-	260	357	300
Sulfated ash content (% mass)	-	-	-	6.3	17	0.015
Sulfur content (ppm)	-	-	-	0.01	0.003	-
Group I metals (Na+K) (ppm)	0	2	-	<3	1.3-1.4	-
Group II metals (Ca+Mg) (ppm)	-	-	-	-	3.7	-
Phosphorus content (ppm)	-	-	-	-	<0.5	2
Cloud point (°C)	-	3	-	<4	<0.5	-
Pour point (°C)	-6.3 to -6	-	-	-	-1 to 1	-10
Cold filter plugging point (°C)	-14 to -16	-	-	-12 to -8	-7 to 1	-9
Freezing point (°C)	-	-9	-6	-12 to -10	-18 to 0	-
pH (-)	-	-	-	-	-	-
Heating value (MJ/kg)	-	-	-	-	-	38.52
Color (-)	38.836-40.4	38.08	-	38.96-39.96	33.5-40.297	-
Carbon residue (% mass)	-	-	-	-	-	0.16

<sup>1</sup> at 15°C<sup>2</sup> at 40°C<sup>3</sup> 3 hours at 50°C<sup>4</sup> at 110°C

SeOB: Sesame oil biodiesel (Banapurmath et al., 2008; Ahmad et al., 2011; Saydut et al., 2008), PSOB: Pumpkin seed oil biodiesel (Schinas et al., 2009), AOB: Almond oil biodiesel (Ramos et al., 2009), ROB: Rapeseed oil biodiesel (Alptekin and Canakci, 2009; Behcet and Cakmak, 2011; Aydin and İlkilic, 2011), SoOB: Soybean oil biodiesel (Alptekin and Canakci, 2009; Özener et al., 2014; Qi and Lee, 2014, Schumacher et al., 1996; Ramírez-Verduzco et al., 2012; Qi et al., 2010; Sarıbiyık et al., 2010; Aliyu et al., 2012; Aksoy, 2011b; Canakci and Van Gerpen, 2003), SOB: Safflower oil biodiesel (Karabas, 2013c)

## 8. Influence of biodiesel on the combustion behaviors of CI engines

The comprehensive literature survey has demonstrated that lots of researchers have investigated the influence of biodiesel produced from various feedstocks on the CI engine combustion behaviors at different engine working conditions. According to the present literature, Table 11 has been arranged on account of the study done by different authors on the combustion characteristics of CI engines with the application of biodiesel obtained from dissimilar non-edible and edible raw materials as alternating engine fuels. The next subsections will discuss some considerable outcomes coming from the aforementioned works.

**Table 11.** Study done by different authors on the combustion characteristics of CI engines fueled with biodiesel obtained from dissimilar non-edible and edible raw materials

Engine type	Working conditions	Ref. fuel	Biodiesel source	References
1-C, 4-S, WC, DI	Loads: 20, 40, 60, 80, and 100%, Speed: 1500 rpm	Diesel	Juliflora	Asokan et al. (2019)
4-C, 4-S, turbocharged, DI	Loads: From a low idle to full load at intervals of 25%, Speed: 3000 rpm	Diesel	<i>Croton megalocarpus</i>	Kivevele et al. (2011)
1-C, 4-S, WC, DI	Loads: 20, 40, 60, 80, and 100%, Speed: 1500 rpm	Diesel	<i>Cymbopogon flexuosus</i>	Dhinesh et al. (2016)
1-C, 4-S, WC, DI	Loads: Various loads, Injection pressure: 200 bar, Speed: 1500 rpm	Diesel	Neem	Dhar et al. (2012)
4-C, 4-S, WC, DI, NA	Brake mean effective pressure: 2.78 bar, Speed: 1500 rpm	Diesel	Safflower	Çelebi and Aydın (2018)
1-C, 4-S, AC, DI, NA	Loads: 2.5, 5, 7.5, and 10 Nm, Speed: 1500 rpm	Diesel	Cottonseed	Sarıdemir and Ağbulut (2019)
1-C, 4-S, AC, DI, NA	Loads: 5 and 10 Nm Injection pressures: 210 and 230 bar, Speed: 2000 rpm	Diesel	Corn	Sarıdemir et al. (2020)
1-C, 4-S, WC, DI, NA	Speeds: 1400 and 2600 rpm, Load: Full load	Diesel	<i>Sinapis alba</i>	Yesilyurt et al. (2018)
1-C, 4-S, AC, DI, NA	Speeds: from 1200 rpm to 3000 rpm	Diesel	Soybean	Özener et al. (2014)
1-C, 4-S, AC	Injection pressures: 200, 220, and 240 bar, Speed: 1500 rpm	Diesel	Linseed	Puhan et al. (2009)
1-C, 4-S, AC	Loads: 0, 50, and 100%, Speed: 1500 rpm	Diesel	<i>Jatropha curcas Pongamia pinnata Calophyllum inophyllum</i>	Sahoo and Das (2009)
1-C, 4-S, IDI, NA	Speeds: From 1200 to 3000 rpm at intervals 300 rpm, Load: Full load	Diesel	Rapeseed	Mattarelli et al. (2015)
1-C, 4-S, DI, WC, NS	Loads: Full load, Speed: 1500 rpm, Brake mean effective pressure: 0.089 and 0.536 MPa	Diesel	Soybean	Qi et al. (2009)

1-C, 4-S, DI, WC, NS	Compression ratios: 13, 14, 15, 16, 17, and 18, Loads: 25, 50, 75, and 100%, Speed: ~1500 rpm	Diesel	Korocho	Gogoi and Baruah (2011)
1-C, 4-S, AC, DI	Loads: 25, 50, 75, and 100%, Speed: 1500 rpm	Diesel	<i>Simarouba glauca</i>	Devan and Mahalakshmi (2009)
1-C, 4-S, AC, DI	Loads: From no load to rated load, Speed: 1500 rpm	Diesel	Rice bran	Saravanan et al. (2010)

C: Cylinder, S: Stroke, WC: Water-cooled, AC, Air-cooled, DI: Direct-injection, IDI: Indirect-injection, NA: Naturally-aspirated

## 8.1. Influence of biodiesel produced from non-edible oil raw materials on the combustion behaviors

### 8.1.1. *Juliflora* oil

Asokan et al. (2019) investigated the combustion behaviors of a DI diesel engine fueled with juliflora seed oil biodiesel (B100) and its different blends with conventional diesel (B20, B30, and B40) under various engine loading conditions (from 20% to full load by steps of 20%) with a stable speed (1500 rpm), and the findings were compared with neat diesel. The experimental results presented that the highest pressures inside the cylinder for diesel, B20, B30, B40, and B100 were found to be at 73.91 bar, 72.28 bar, 72.01 bar, 72.48 bar, and 73.53 bar, respectively. The maximum in-cylinder pressure ( $CP_{max}$ ) for neat biodiesel occurred 60 after the top dead center (TDC). By the way, B100 test fuel had the highest in-cylinder pressure among all tested fuel samples, however, it was just 0.051% lower in comparison with the diesel. At higher loading operations, the temperature increased along with the pressure, resulting in a higher vaporization rate and a preferable combustion process taking place. In addition, the maximum net heat release rate (HRR) figures for diesel, B20, B30, B40, and B100 were observed to be 41.31 J/deg, 34.34 J/deg, 34.62 J/deg, 34.71 J/deg, and 31.14 J/deg, respectively. The concise ignition delay (ID) duration and lengthy combustion period because of the fact that juliflora seed oil biodiesel has a higher cetane rating than diesel caused lesser HRR values for neat biodiesel as compared to diesel.

### 8.1.2. *Croton megalocarpus* oil

Kivevele et al. (2011) scrutinized the influences for several antioxidant types such as 1, 2, 3 tri-hydroxy benzene (Pyrogallol, PY), 3, 4, 5-tri hydroxy benzoic acid (Propyl Gallate, PG), and 2-tert butyl-4-methoxy phenol (Butylated Hydroxyanisole, BHA) with biodiesel produced from *Croton megalocarpus* oil on the combustion characteristics of a diesel engine at dissimilar loads. Generally, the researchers monitored that the  $CP_{max}$  and HRR values ascended with the rise of loading. At load-free condition, there were no considerable variations in  $CP_{max}$  for all of the fuel specimens. On the other hand, at 100% load, it was found that the  $CP_{max}$  was obtained with the B20, B100 + PY1000, and B100 in contrast to diesel having slightly lesser pressure which was 129.24 bar. Except at 100% load in which diesel had the highest HRR accompanying B100 + PY1000 and B100, the HRR results for biodiesel fuels were observed to be moderately larger than diesel under all loading conditions. Besides that, it was concluded that CP and HRR for untreated (B100 + PY1000) and treated (B100) were almost identical. For this reason, there was no significant change in view of the combustion characteristics of the tested engine fueled with the infusion of PY antioxidant to biodiesel.

### 8.1.3. *Cymbopogon flexuosus* oil

Dhinesh et al. (2016) studied the effects of *Cymbopogon flexuosus* oil biodiesel and its various blends with diesel (10, 20, 30, and 40% by vol.) fueled diesel engine's combustion characteristics at different engine loading conditions (20, 40, 60, 80, and 100%) with a constant speed (1500 rpm). The researchers observed that the increase in the biodiesel proportion of the blend led to a decline in the  $CP_{max}$  results progressively. Also, the cylinder pressure graphs for all biodiesel blends followed the same trend with diesel. However, the  $CP_{max}$  of the biodiesel containing test fuels were found to be lower than diesel. Neat *cymbopogon flexuosus* oil biodiesel resulted in the least  $CP_{max}$  of 62 bar at 4° after TDC amongst the other tested fuel samples because of its higher viscosity and lesser energy content specification than those of diesel. In addition, a higher cetane number of *cymbopogon flexuosus* oil biodiesel than that of diesel caused a lesser ID period for all biodiesel blends than diesel at all loads. It was evident from the findings, the HRR values for biodiesel test fuels presented deceleration slope when compared to diesel fuel. This was due to the shorter ID for

biodiesel/diesel blends which influenced  $CP_{max}$  as well as HRR the premix combustion stage. The cetane number along with some fuel properties like viscosity and heating value contributed to the drop of HRR.

#### 8.1.4. *Jatropha curcas* oil

Sahoo and Das (2009) tested *Jatropha curcas* oil biodiesel as well as its mixtures with mineral diesel at ratios of 20 and 50% by vol. in a CI engine under various loading conditions. The remarkable properties in relation to the combustion subject were summarized by researchers and the study showed that  $CP_{max}$  for all tested fuel specimens was observed to be at full load condition. B100 gave a 7.6% higher  $CP_{max}$  than that of pure diesel at full load. Actually,  $CP_{max}$  values for B100, B50, B20, and diesel were obtained to be as 84.7 bar, 83.71 bar, 80.7 bar, and 78.7 bar, respectively meanwhile the corresponding  $HRR_{max}$  values were found to be at 69.97 J/deg, 80.52 J/deg, 86.79 J/deg, and 90.96 J/deg, respectively. Although the start of the injection was kept as constant ( $23^\circ$  before TDC), the combustion reaction in the cylinder started  $18.7^\circ$  before TDC for B100,  $16.8^\circ$  before TDC for B50,  $15.5^\circ$  before TDC for B20, and  $14.5^\circ$  before TDC for diesel. In addition, the application of biodiesel with diesel caused to descend the ID period from  $8.5^\circ$  to  $4.3^\circ$  progressively.

#### 8.1.5. Neem oil

Dhar et al. (2012) researched the combustion behaviors of a 1-cylinder DI diesel engine powered by high free fatty acid neem (*Azadirachta indica*) oil biodiesel and its different blends with conventional diesel namely B5, B10, B20, and B50 under several loading conditions with a fixed speed of 1500 rpm. The researchers in their study analyzed a lot of combustion parameters like HRR, in-cylinder pressure, mass fraction burnt amount, cumulative HRR, and rate of the CP rise. The outcomes for the  $CP_{max}$  at various loads demonstrated that  $CP_{max}$  for B20 test fuel blend at entire loads was observed to be higher than diesel while  $CP_{max}$  results for B5 and B10 fuels were considerably lesser than diesel.  $CP_{max}$  for B20 was higher owing to the short ID duration and swift burning characteristic of the accumulated fuel in the cylinder as a result of the fuel's optimized oxygen content and comparatively lesser viscosity specification because of a low fraction of biodiesel content in the test fuel. In addition, the researchers mentioned that the combustion process commenced early for blend fuels having high concentration biodiesel. On the other hand, the start of the combustion was lightly retarded for lower fuel mixtures as compared to standard diesel. The trends for HRR of all the biodiesel mixtures were nearly similar to diesel.

#### 8.1.6. *Sinapis alba* oil

Yeşilyurt et al. (2018) investigated that the combustion characteristics of a CI engine fuelled with yellow mustard (*Sinapis alba*) oil methyl ester/diesel blends (B2 and B20) and also their ethanol blends (B2E5, B2E10, B20E5, and B20E10) under two different engine speeds (1400 rpm and 2600 rpm). At 1400 rpm,  $CP_{max}$  results for diesel, B2, B20, B2E5, B2E10, B20E5, and B20E10 were noticed to be at 94.52 bar, 94.37 bar, 94.11 bar, 95.48 bar, 92.77 bar, 95.65 bar, and 95.61 bar, respectively while  $CP_{max}$  values at 2600 rpm were 81.24 bar, 78.49 bar, 79.75 bar, 77.08 bar, 77.01 bar, 82.02 bar, and 79.75 bar, respectively. As observed, the infusion of ethanol into the biodiesel/diesel blends led to remove from TDC in general due to the lower cetane rating of ethanol than those of diesel and biodiesel. At 1400 rpm, the highest HRR values for diesel, B2, B20, B2E5, B2E10, B20E5, and B20E10 were monitored to be as 16.11 J/deg, 16.74 J/deg, 16.62 J/deg, 17.47 J/deg, 16.96 J/deg, 17.39 J/deg, and 17.25 J/deg, respectively while  $HRR_{max}$  results at 2600 rpm were 14.92 J/deg, 15.89 J/deg, 15.85 J/deg, 16.13 J/deg, 16.14 J/deg, 16.70 J/deg, and 16.34 J/deg, respectively. Besides that, the utilization of biodiesel in the tests caused to reduce the ID period generally because of the biodiesel's higher cetane number than that of diesel.

#### 8.1.7. *Pongamia pinnata* oil

Sahoo and Das (2009) investigated the combustion behaviors of a diesel engine powered by *Pongamia pinnata* (karanja) oil biodiesel and its different blends with diesel fuel (B20 and B50) at various engine loading conditions. The researchers observed that the infusion of biodiesel into the mineral diesel led to improve the  $CP_{max}$  from 78.7 bar to 84.2 bar gradually. Additionally, the peak HRR values for diesel, B20, B50, and B100 test fuels were found to be as 90.96 J/deg, 85.49 J/deg, 81.52 J/deg, and 70.93 J/deg, respectively. ID period was shorter for B100 ranging between  $6.3^\circ$  and  $4.5^\circ$  lower than diesel. The authors explained this case that biodiesel generally involves a small concentration of diglycerides which have higher boiling points than diesel. On the other hand, the chemical reactions throughout the biodiesel injection process at elevated temperature leading the breakdown of the high molecular weight esters. Results of the aforementioned complex reactions resulted in the generation of low molecular weight gases. Swift

gasification of this lighter oil in the spray fringe emits the jet, and therefore, volatile combustion compounds combusted earlier and decreased the ID.

### 8.1.8. Koroch oil

Gogoi and Baruah (2011) reported the comparison of the combustion characteristics of a small DI CI engine running on the koroch oil methyl ester/diesel fuel blends (B10, B20, B30, and B40) under various compression ratios (13-18) and engine loads (25-100%) with a constant speed of approximately 1500 rpm. The key results coming from the experimentations exhibited that the combustion parameters (CP-crank angle history,  $CP_{max}$ , HRR, cumulative HRR, ID, time of the  $CP_{max}$  occurrence, and duration of the combustion process) were found to be more or less the same trend with reference diesel. To sum up, early HRR and the rise of pressure inside the cylinder happened when the engine fueled with biodiesel blends entire loadings. This could be explained by the early premixed combustion process and short ID for the mixtures.  $CP_{max}$  results for the biodiesel blends and diesel fuel were almost the same at 100% load. As compared to diesel,  $CP_{max}$  for the biodiesel blends was slightly higher at other loads. Furthermore, the cumulative HRR was monitored to be higher for biodiesel blends in comparison with the diesel over the all range of load, however, it was remarkably lower for the B40 blend. Consequently, the researchers suggested that up to 30% biodiesel concentration with diesel could be used as alternating fuels in CI engine applications.

### 8.1.9. Rice bran oil

Saravanan et al. (2010) investigated the combustion behaviors of a stationary CI engine operating with a mixture of rice bran oil methyl ester and diesel fuel (B20) from no load to rated load conditions. It has been reported that  $CP_{max}$  ascended with load for all tested fuels and diesel fuel generated higher  $CP_{max}$  than that of the biodiesel blend entire loads. This was because of the lesser heating value and a short ID duration for biodiesel blend contrary to diesel. It was also found out that ID for all tested fuels reduced with the rise of the load. By the way, the biodiesel blend had an averagely 10% lower ID period than diesel on account of its higher cetane rating in comparison with diesel. Due to the lower energy content of rice bran oil methyl ester, HRR values decreased when the engine fueled with biodiesel blend as compared to diesel. The magnitude of the primary peak for HRR and the highest HRR for biodiesel blend occurred lesser as compared to diesel because of its shorter ID duration (12.9° for biodiesel blend and 14.54° for diesel).

### 8.1.10. *Simarouba glauca* oil

Devan and Mahalakshmi (2009) performed an experimental study with the intention of acquiring the combustion properties of a CI engine fueled with biodiesel derived using *Simarouba glauca* (paradise) oil and its different blends with diesel fuel (B20, B40, and B50) under various engine loading conditions, as given in Table 11. The main results of the study presented that  $CP_{max}$  for all biodiesel blends entire engine loads was observed to be lower than diesel since the combustion began earlier for biodiesel mixtures than for diesel fuel attributable to the move forward timing of the injection, resulting from a higher biodiesel density. It has been followed up that the ID period for biodiesel and its blends with diesel was lesser than that of pure diesel and declined with the enhancement of the biodiesel fraction in the mixture. As a consequence of the elevated temperature inside the cylinder in the presence of the fuel injection duration, biodiesel could pass on the thermal cracking process, and hence, lighter compounds were generated, which may have combusted earlier, leading to a shorter ID period. Moreover, it has been concluded that as the proportion of the biodiesel in the blend enhanced,  $HRR_{max}$  dropped in contrast to diesel owing to the lower calorific value of the biodiesel blends.

### 8.1.11. *Calophyllum inophyllum* oil

Similar to the information presented in Section 8.1.4 and 8.1.7, Sahoo and Das (2009) also tested *Calophyllum inophyllum* (polanga) oil biodiesel and its blends with diesel in a CI engine at various loading conditions in order to monitor the combustion features. The application of biodiesel with diesel led to ascend  $CP_{max}$ . Namely, the  $CP_{max}$  figures for B100, B50, and B20 were found to be in the order of 6.61 bar, 5.4 bar, and 2.2 bar higher than diesel fuel at full load while the corresponding  $HRR_{max}$  values were 22.59 J/deg, 12.4 J/deg, and 6.16 J/deg, respectively lower than diesel. Additionally, the infusion of biodiesel into the diesel caused to a decrease in the ID from 8.5° to 4.3°.

## 8.2. Influence of biodiesel produced from edible oil raw materials on the combustion behaviors

### 8.2.1. Safflower oil

Çelebi and Aydın (2018) produced safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil biodiesel via transesterification reaction using methyl alcohol in the presence of a KOH catalyst. Afterward, the binary (biodiesel/n-butanol) and ternary (biodiesel/n-butanol/ultra-low sulfur diesel fuel) test fuels were prepared in a volume basis and these fuel samples were performed in a diesel engine generator experimental test rig under half load working condition (brake mean effective pressure of 2.78 bar) with stable speed (1500 rpm). As a result, the researchers indicated that the pressure that occurred in the cylinder was declined for all fuel blends including biodiesel because of some biodiesel characteristics such as higher distillation temperature, poor mixing ability, and worse vaporization. In addition to this, the start of the combustion happened later for butanol including test fuels. The ignition point was retarded when the engine was fueled with butanol contained fuel blends due to the butanol's lower cetane number, and hence, ID duration took place longer. However, the ternary fuel blends overcame this adverse case on account of a butanol's better mixing capability. The authors also reported that the HRR for all tested fuels were observed to be almost similar despite slight alteration.

### 8.2.2. Soybean oil

Özener et al. (2014) tested the soybean oil biodiesel and B10, B20, B20 blends in a single-cylinder diesel engine at various engine speeds, ranging from 1200 rpm to 3000 rpm, so as to monitor their effects on the combustion characteristics. The experimental results demonstrated that there was no significant change in  $CP_{max}$  values of tested fuels. On the other hand,  $CP_{max}$  was achieved when the engine powered by standard diesel fuel. Furthermore, neat biodiesel and biodiesel/diesel blends had a shorter ID duration as contrary to diesel. It could be explained that a longer ID period for diesel fuel enabled for preparing more air/fuel mixture, which was ready to auto-ignite and resulted in an elevated premixed peak. To sum up, the authors mentioned that soybean oil biodiesel could be used as an alternating and environmentally-friendly fuel in the engine without any modification on the engine.

Qi et al. (2009) synthesized biodiesel from soybean crude oil using an alkaline-catalyzed transesterification reaction. Then, the researchers observed the combustion behaviors of diesel and biodiesel fuels at various loading conditions in a DI high-speed diesel engine having a bowl in the piston combustion chamber geometry. The combustion analysis results demonstrated that diesel and biodiesel presented dissimilar combustion behaviors with respect to the load change because of the different specifications of the test fuels. At lower loads,  $CP_{max}$  and pressure rise rate were observed to be slightly higher for biodiesel whereas  $CP_{max}$  for both fuels were almost similar, however, the highest pressure rise rate was lesser for biodiesel at higher loads. Also, the combustion inside the cylinder commenced earlier for biodiesel fuel due to a smaller ID period and advanced injection timing at various loads. Besides that, HRR was slightly lower for diesel fuel operation than that of biodiesel at lower loads while HRR was higher for diesel owing to the longer ID at higher loads.

### 8.2.3. Corn oil

Sarıdemir et al. (2020) investigated the influence of different fuel injection pressures (210 and 230 bar) and loads (5 and 10 Nm) with a stable speed of 2000 rpm on the engine combustion behaviors of a CI engine operating with corn oil biodiesel blends with diesel (B10, B20, and B50). The researchers found that  $CP_{max}$  enhanced with regards to ascending ratios of biodiesel in the blend. Due to lower energy content and cetane number of corn oil biodiesel than diesel, the test fuels contained biodiesel had longer ID durations than that of reference fuel. Moreover,  $CP_{max}$  and  $HRR_{max}$  values were achieved in the highest fuel injection pressure at all loading conditions since all fuels showed better atomization characteristics in comparison with the results obtained at 210 bar. As a result, at 230 bar injection pressure and 10 Nm engine load conditions,  $CP_{max}$  for diesel, B10, B20, and B50 were obtained to be as 89.98 bar, 89.77 bar, 89.34 bar, and 90.41 bar, respectively while the corresponding  $HRR_{max}$  values were 55.48 J/deg, 49.16 J/deg, 55.65 J/deg, and 64.62 J/deg, respectively.

### 8.2.4. Cottonseed oil

Sarıdemir and Ağbulut (2020) studied the combustion characteristics of a diesel engine fueled with cottonseed oil biodiesel/diesel fuel blends (B10, B20, and B50) at various engine loads (2.5, 5, 7.5, and 10 Nm). The authors noted that a high cetane number caused to shorten ID duration. In this context, reference diesel fuel had a lowest ID period than those of biodiesel/diesel blends because cottonseed oil biodiesel had a lower cetane number and higher viscosity values than diesel, and thus, the infusion biodiesel into the diesel led to becoming a slight ascend in the viscosity and a decline in the cetane number for blend fuels as

compared to unmodified diesel. In conclusion, the test fuels having high viscosity values were sprayed earlier to the combustion chamber where the temperature, as well as pressure values, lowered. For this reason, the ID period was increased when the engine fueled with biodiesel/diesel blends. The pressure and rate of the heat release values were increased when the load was jumped from 2.5 Nm to 10 Nm gradually. At the highest load of 10 Nm,  $CP_{max}$  values for diesel, B10, B20, and B50 fuels were observed to be as 89.57 bar, 91.71 bar, 90.87 bar, and 90.07 bar, respectively while  $HRR_{max}$  values were found to be at 51.39 J/deg, 50.98 J/deg, 50.30 J/deg, and 42.79 J/deg, respectively.

### 8.2.5. Linseed oil

Puhan et al. (2009) evaluated the effects of several fuel injection pressures (200, 220, and 242 bar) on the combustion properties of a DI diesel engine running on the high linolenic linseed oil methyl ester with a stable speed (1500 rpm). The combustion analyses exhibited that ID duration decreased with the increase in the fuel injection pressure because of higher dispersion, shorter breakup length, lower sauter mean diameter, and better atomization characteristics. It was evident from the experimental findings that the ID period was lesser at higher fuel injection pressures contrary to diesel and  $CP_{max}$  was also higher at full load. The duration of the combustion process was nearly similar at all injection pressures. Additionally,  $HRR_{max}$  occurred throughout the premixed combustion stage attributable to the higher fuel injection pressure leading to the atomization characteristic as well as mixing enhancement resulting in a better combustion reaction. As a result, a 240 bar was found to be the optimum fuel injection pressure for the test engine fueled with methyl ester.

### 8.2.6. Rapeseed oil

Mattarelli et al. (2015) researched the combustion characteristics of a CI engine fuelled with rapeseed oil biodiesel and its blends with diesel fuel (B20 and B50) at various engine speeds (1200-3000 rpm by steps of 300 rpm). The combustion analysis showed that  $CP_{max}$  for diesel at low speeds was noted to be always higher and smoother combustion begins for biodiesel blends occurred. In addition, the standard deviation for  $CP_{max}$  was calculated to be less than 3% which means that the cycle-by-cycle variation was always close to the general results for the test engine types, and also the combustion process took place regularly both biodiesel and diesel fuel operations. The researchers noticed that even if cylinder pressure analysis exhibited some differences in the combustion process depended upon the speed, it appeared to occur in an identical way replacement the fuel, approving the engine feeding feasibility with tested biodiesel blends.

## Conclusions

Biodiesel which can be derived from renewable and usually local raw materials states more potential energy resources all over the world for CI engine applications and thus, it is estimated that biodiesel usage will play a progressively considerable role with the intention of overcoming the energy security aspects accompanying environmental pollution issues. This comprehensive review paper has been aimed to address the influence of biodiesel derived using diverse edible and non-edible plant oil-based feedstocks on the combustion behaviors of diesel engines at various engine operating conditions. In addition to this, some remarkable subjects related to the biodiesel like raw materials and their fatty acid profiles, international standards, the current status of biodiesel production in the world, and fuel specifications of different biodiesel used by researchers have been also discussed. Based on the review of the aforementioned literature survey, the following conclusions can be obtained:

- One of the significant motivations that produce biodiesel fuels more suitable as energy candidates is the attainability for biodiesel raw materials confirmed as more than 350 oil-bearing crops all over the world. However, the countries have used domestic resources (edible oils in general) to obtain biodiesel in terms of commercial, causing fuel versus food issues. To solve this problem, non-edible feedstocks may be investigated and used in the production of biodiesel. Hence, the cost of the biodiesel can be reduced on a large ratio.
- Vegetable oils derived from oil crops cannot be directly employed in CI engines ascribed to their some negative properties such as higher viscosity, higher density, low volatility, and polyunsaturated specifications. For this reason, it can be found a solution to these issues taking into consideration by different methods like pyrolysis (thermal cracking), dilution, micro-emulsion, and transesterification techniques. Among them, the transesterification method is the popular process because it has some



substantial outputs as follows: fuel properties of the products are closer to diesel fuel, the rate of the conversion is high, the cost of the reaction is low, and it is suitable for industrial production.

- The physical and chemical properties of biodiesel must satisfy the global biodiesel standards such as EN 14214 and ASTM D6751 to be used in diesel engines.
- According to the combustion characteristics of the biodiesel, many papers presented that biodiesel obtained from non-edible and edible raw materials has lesser peak pressure in the cylinder along with a lower rate of the heat release in comparison with the unmodified diesel. This can be ascribed to the biodiesel's higher cetane number leading to shorter ignition delay duration and hence, accumulation of more fuel inside the cylinder resulting in more fuel burned in the diffusion phase. Furthermore, another reason is the inconvenient mixing of biodiesel with air because of higher viscosity and lesser energy content.

To conclude, the present review paper showed that biodiesel is not feasible economically these days and therefore, advanced technological developments and supporting policies are necessary in order to encourage biodiesel investigations for descending their costs competitive with conventional diesel fuel. For this reason, more research regarding long term concerns like fuel injector choking, engine deposits, and engine contamination should be accomplished with a focus on the improvement of the engine performance with modification on the design of the engine according to the biodiesel specifications.

## References

- Abd Manaf, I. S., Embong, N. H., Khazaai, S. N. M., Rahim, M. H. A., Yusoff, M. M., Lee, K. T., Maniam, G. P. (2019). A review for key challenges of the development of biodiesel industry. *Energy Conversion and Management*, 185, 508-517.
- Abedin, M. J., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Sabri, M. F. M., Rahman, S. A., Sanjid, A., Fattah, I. R. (2016). Production of biodiesel from a non-edible source and study of its combustion, and emission characteristics: A comparative study with B5. *Renewable Energy*, 88, 20-29.
- Agarwal, A. K., Rajamanoharan, K. (2009). Experimental investigations of performance and emissions of karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine. *Applied Energy*, 86(1), 106-112.
- Ağbulut, Ü., Saridemir, S., Albayrak, S. (2019). Experimental investigation of combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel–biodiesel–alcohol blends. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(9), 389.
- Ahmad, M., Ullah, K., Khan, M. A., Ali, S., Zafar, M., Sultana, S. (2011). Quantitative and qualitative analysis of sesame oil biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33, 1239-1249.
- Aksoy, F. (2011). Analyzing the effects of methyl esters produced from raw soybean and waste frying oil on engine performance and NO<sub>x</sub> emission. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34(2), 143-151.
- Aksoy, F., Baydir, Ş. A., Bayrakçeken, H. (2009a). The viscosity at different temperatures of soybean and sunflower biodiesels and diesel fuel blends. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(2), 148-156.
- Aksoy, F., Baydir, S. A., Bayrakçeken, H. (2009b). An investigation on the effect in the viscosity of canola and corn oil biodiesels at a temperature range of 0 to 100°C. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(2), 157-164.
- Aksoy, F., Yabanova, I., Bayrakçeken, H., Aksoy, L. (2014). Estimating the dynamic viscosity of vegetable oils using artificial neural networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(8), 858-865.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 45-52.

- Aksoy, L. (2011). Opium poppy (*Papaver somniferum* L.) oil for preparation of biodiesel: Optimization of conditions. *Applied Energy*, 88(12), 4713-4718.
- Aliyu, A., Adoyi, O., Hamza, A. (2012). Binary blends of petrodiesel with biodiesels derived from soyabean and groundnut oils. *Advances in Applied Science Research*, 3(1), 611-614.
- Alptekin, E., Canakci, M. (2009). Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. *Fuel*, 88, 75-80.
- Al-Tikrity, E. T., Fadhil, A. B., Ibraheem, K. K. (2017). Biodiesel production from bitter almond oil as new non-edible oil feedstock. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(7), 649-656.
- Anand, K., Sharma, R. P., Mehta, P. S. (2011). A comprehensive approach for estimating thermo-physical properties of biodiesel fuels. *Applied Thermal Engineering*, 31(2-3), 235-242.
- Arumugam, A., Ponnusami, V. (2019). Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum* oil a potential non-edible feedstock: An overview. *Renewable Energy*, 131, 459-471.
- Asokan, M. A., Prabu, S. S., Bade, P. K. K., Nekkanti, V. M., Gutta, S. S. G. (2019). Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine. *Energy*, 173, 883-892.
- Atabani, A. E., Badruddin, I. A., Masjuki, H. H., Chong, W. T., Lee, K. T. (2015). *Pangium edule* Reinw: a promising non-edible oil feedstock for biodiesel production. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(2), 583-594.
- Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Badruddin, I. A., Masjuki, H. H., Chong, W. T., Lee, K. T. (2013). Investigation of physical and chemical properties of potential edible and non-edible feedstocks for biodiesel production, a comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 749-755.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070-2093.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. A., Sulaiman, N. M. N. (2012). Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3275-3285.
- Aydin, H., Ilkilic, C. (2011). Exhaust emissions of a CI engine operated with biodiesel from rapeseed oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(16), 1523-1531.
- Azad, A. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Sharma, S. C., Mofijur, M., Bhuiya, M. M. K. (2016). Prospects, feedstocks and challenges of biodiesel production from beauty leaf oil and castor oil: A nonedible oil sources in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 302-318.
- Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., Hosmath, R.S. (2008). Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters. *Renewable Energy*, 33(9), 1982-1988.
- Behçet, R., Çakmak, A. (2011). Farklı hammaddelerden üretilen biodizel yakıtların motor performans ve emisyonlarının karşılaştırılması. 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, s.738-744, 07-10 Eylül, Zonguldak.
- Belagur, V. K., Chitimini, V. R. (2012). Influence of static injection timing on combustion, emission and performance characteristics of DI diesel engine fuelled with honne oil methyl ester. *International Journal of Ambient Energy*, 33(2), 65-74.
- Bello, E. I., Agge, M. (2012). Biodiesel production from ground nut oil. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 3(2), 276-280.
- BP (2020). Statistical review of world energy. 69<sup>th</sup> Edition. 68 pages. Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (Accessed 09.09.2020)
- BSD (2020). Biyodizel Sanayi Derneği, Biyodizel Endüstri Raporu 1. 48 pages. Available from: <http://www.biyodizel.org.tr/asset/pdf/biyodizel.pdf> (Accessed 12.09.2020).

- Canakci, M., Van Gerpen, J. (1999). Biodiesel production via acid catalysis. *Transactions of the ASAE*, 42(5), 1203.
- Çelebi, Y., Aydın, H. (2018). Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385-393.
- Cesur, C., Eryilmaz, T., Uskutoğlu, T., Doğan, H., Şenkal, B. C. (2018). Cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) seed oil and its properties as an alternative biodiesel source. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(1), 29-37.
- Chakrabarti, M. H., Ahmad, R. (2009). Investigating possibility of using least desirable edible oil of *Eruca sativa* L., in biodiesel production. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), 481-487.
- Chakraborty, M., Baruah, D. C., Konwer, D. (2009). Investigation of terminalia (*Terminalia belerica* Robx.) seed oil as prospective biodiesel source for North-East India. *Fuel Processing Technology*, 90(12), 1435-1441.
- Chang, F., Hanna, M. A., Zhang, D. J., Li, H., Zhou, Q., Song, B. A., Yang, S. (2013). Production of biodiesel from non-edible herbaceous vegetable oil: *Xanthium sibiricum* Patr. *Bioresource Technology*, 140, 435-438.
- Chuah, L. F., Yusup, S., Abd Aziz, A. R., Klemeš, J. J., Bokhari, A., Abdullah, M. Z. (2016). Influence of fatty acids content in non-edible oil for biodiesel properties. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(2), 473-482.
- Ciubota-Rosie, C., Macoveanu, M., Fernández, C. M., Ramos, M. J., Pérez, A., Moreno, A. (2013). *Sinapis alba* seed as a prospective biodiesel source. *Biomass and Bioenergy*, 51, 83-90.
- Demirbas, A. (2009a). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14-34.
- Demirbas, A. (2009b). Biofuels from agricultural biomass. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(17), 1573-1582.
- Devan, P. K., Mahalakshmi, N. V. (2009). Utilization of unattended methyl ester of paradise oil as fuel in diesel engine. *Fuel*, 88(10), 1828-1833.
- Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A. K. (2012). Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine. *Fuel Processing Technology*, 97, 118-129.
- Dhinesh, B., Lalvani, J. I. J., Parthasarathy, M., Annamalai, K. (2016). An assessment on performance, emission and combustion characteristics of single cylinder diesel engine powered by *Cymbopogon flexuosus* biofuel. *Energy Conversion and Management*, 117, 466-474.
- EBB (2020). European Biodiesel Board. Statistics of the European Union biodiesel industry, Available from: <http://www.ebb-eu.org/> (Accessed 09.09.2020)
- Encinar, J. M., Gonzalez, J. F., Rodriguez, J. J., Tejedor, A. (2002). Biodiesel fuels from vegetable oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. *Energy & Fuels*, 16(2), 443-450.
- Eryilmaz, T., Yesilyurt, M. K. (2016). Influence of blending ratio on the physicochemical properties of safflower oil methyl ester-safflower oil, safflower oil methyl ester-diesel and safflower oil-diesel. *Renewable Energy*, 95, 233-247.
- Eryilmaz, T., Yesilyurt, M. K., Cesur, C., Gokdogan, O. (2016). Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 842-851.
- Eryilmaz, T., Yesilyurt, M. K., Taner, A., Celik, S. A. (2015). Prediction of kinematic viscosities of biodiesels derived from edible and non-edible vegetable oils by using artificial neural networks. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(12), 3745-3758.
- Eryilmaz, T., Yeşilyurt, M. K., Yumak, H., Arslan, M., Şahin, S. (2014). Determination of the fuel properties of cottonseed oil methyl ester and its blends with diesel fuel. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 3(2), 79-90.

- Fadhil, A. B., Ahmed, K. M., Dheyab, M. M. (2017). *Silybum marianum* L. seed oil: A novel feedstock for biodiesel production. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S683-S690.
- Fadhil, A. B., Saleh, L. A., Altamer, D. H. (2020). Production of biodiesel from non-edible oil, wild mustard (*Brassica Juncea* L.) seed oil through cleaner routes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(15), 1831-1843.
- Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405-416.
- Giannelos, P. N., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G. (2002). Tobacco seed oil as an alternative diesel fuel: Physical and chemical properties. *Industrial Crops and Products*, 16(1), 1-9.
- Gogoi, T. K., Baruah, D. C. (2011). The use of koroch seed oil methyl ester blends as fuel in a diesel engine. *Applied Energy*, 88(8), 2713-2725.
- Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Ergün, A., Ceylan, I. (2020). Environmental and economic assessment of a low energy consumption household refrigerator. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(2), 365-372.
- Haas, M. J. (2005). Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock. *Fuel processing technology*, 86(10), 1087-1096.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143-169.
- Ibrahim, A. P., Omilakin, R. O., Betiku, E. (2019). Optimization of microwave-assisted solvent extraction of non-edible sandpaper (*Hura crepitans*) seed oil: A potential biodiesel feedstock. *Renewable Energy*, 141, 349-358.
- Jia, L. W., Shen, M. Q., Wang, J., Lin, M. Q. (2005). Influence of ethanol-gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1-3), 29-34.
- Kafuku, G., Mbarawa, M. (2010). Biodiesel production from *Croton megalocarpus* oil and its process optimization. *Fuel*, 89(9), 2556-2560.
- Karabaş, H. (2013a). Ayçiçek yağı biyodizelinin ester dönüşüm oranı üzerine etkili olan parametrelerin optimizasyonu. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), 1-5.
- Karabaş, H. (2013b). Biodiesel production from crude acorn (*Quercus frainetto* L.) kernel oil: An optimisation process using the Taguchi method. *Renewable Energy*, 53, 384-388.
- Karabaş, H. (2013c). Ülkemiz ıslahçı çeşitlerinden Remzibey-05 aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tohumlarından üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17.
- Kaya, C., Hamamci, C., Baysal, A., Akba, O., Erdogan, S., Saydut, A. (2009). Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Renewable Energy*, 34(5), 1257-1260.
- Kivevele, T. T., Kristóf, L., Bereczky, Á., Mbarawa, M. M. (2011). Engine performance, exhaust emissions and combustion characteristics of a CI engine fuelled with croton megalocarpus methyl ester with antioxidant. *Fuel*, 90(8), 2782-2789.
- Koh, M. Y., Ghazi, T. I. M. (2011). A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2240-2251.
- Kulkarni, M. G., Dalai, A. K., Bakhshi, N. N. (2006). Utilization of green seed canola oil for biodiesel production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(12), 1886-1893.
- Kumar, R. S., Sureshkumar, K., Velraj, R. (2015). Optimization of biodiesel production from Manilkara zapota (L.) seed oil using Taguchi method. *Fuel*, 140, 90-96.
- Li, S. Y., Stuart, J. D., Li, Y., Parnas, R. S. (2010). The feasibility of converting *Cannabis sativa* L. oil into biodiesel. *Bioresource Technology*, 101(21), 8457-8460.

- Liaquat, A. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Jayed, M. H. (2010). Potential emissions reduction in road transport sector using biofuel in developing countries. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3869-3877.
- Lim, S., Teong, L. K. (2010). Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 938-954.
- Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, 88(4), 1020-1031.
- Mahlia, T. M. I., Syazmi, Z. A. H. S., Mofijur, M., Abas, A. P., Bilad, M. R., Ong, H. C., Silitonga, A. S. (2020). Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109526.
- Mallikappa, D. N., Reddy, R. P., Murthy, C. S. (2012). Performance and emission characteristics of double cylinder CI engine operated with cardanol bio fuel blends. *Renewable Energy*, 38(1), 150-154.
- Marchetti, J. M., Miguel, V. U., Errazu, A. F. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1300-1311.
- Marchuk, A., Likhanov, V. A., Lopatin, O. P. (2019). Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel. *Теоретическая И Прикладная Экология*, 3, 80-86.
- Mattarelli, E., Rinaldini, C. A., Savioli, T. (2015). Combustion analysis of a diesel engine running on different biodiesel blends. *Energies*, 8(4), 3047-3057.
- Meng, X., Yang, J., Xu, X., Zhang, L., Nie, Q., Xian, M. (2009). Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy*, 34(1), 1-5.
- Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Atabani, A. E., Shahabuddin, M., Palash, S. M., Hazrat, M. A. (2013). Effect of biodiesel from various feedstocks on combustion characteristics, engine durability and materials compatibility: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 441-455.
- Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Hazrat, M. A., Liaquat, A. M., Shahabuddin, M., Varman, M. (2012). Prospects of biodiesel from *Jatropha* in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5007-5020.
- Ndukwe, G. I., Ugboaja, A. T. (2020). Biodiesel production from *Vitex doniana* (black plum) seed oil via a two-step catalyzed transesterification. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 34(1), 75-82.
- Oğuz, H., Ögüt, H. (2005). Çiftçi şartlarına uygun bir biyodizel üretim tesisinin tasarım ve imalatı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1(1), 21-27.
- Ong, H. C., Milano, J., Silitonga, A. S., Hassan, M. H., Wang, C. T., Mahliah, T. M. I., Siswantoro, J., Kusumo, F., Sutrisno, J. (2019). Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum-Ceiba pentandra* oil mixture: Optimization and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 219, 183-198.
- Ozcanli, M., Gungor, C., Aydin, K. (2013). Biodiesel fuel specifications: A review. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35(7), 635-647.
- Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T., Özkan, M. (2014). Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 115, 875-883.
- Palash, S. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Masum, B. M., Fattah, I. R., Mofijur, M. (2013). Impacts of biodiesel combustion on NO<sub>x</sub> emissions and their reduction approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 473-490.
- Pollitt, K. J. G., Chhan, D., Rais, K., Pan, K., Wallace, J. S. (2019). Biodiesel fuels: A greener diesel? A review from a health perspective. *Science of the Total Environment*, 688, 1036-1055.
- Pramanik, K. (2003). Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*, 28(2), 239-248.
- Puhan, S., Jegan, R., Balasubramanian, K., Nagarajan, G. (2009). Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine. *Renewable Energy*, 34(5), 1227-1233.

- Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z. H. (2010). Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 51, 2985-2992.
- Qi, D. H., Geng, L. M., Chen, H., Bian, Y. Z., Liu, J., Ren, X. C. (2009). Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil. *Renewable Energy*, 34(12), 2706-2713.
- Qi, D. H., Lee, C. F. (2014). Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 504-507.
- Rajak, U., Verma, T. N. (2018). Effect of emission from ethylic biodiesel of edible and non-edible vegetable oil, animal fats, waste oil and alcohol in CI engine. *Energy Conversion and Management*, 166, 704-718.
- Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., del Rayo Jaramillo-Jacob, A. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, 91(1), 102-111.
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., Pérez, Á. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1), 261-268.
- Rao, G. A. P., Mohan, P. R. (2003). Effect of supercharging on the performance of a DI Diesel engine with cotton seed oil. *Energy Conversion and Management*, 44(6), 937-944.
- Rashid, U., Anwar, F., Moser, B. R., Knothe, G. (2008). Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel. *Bioresource Technology*, 99(17), 8175-8179.
- Rashid, U., Knothe, G., Yunus, R., Evangelista, R. L. (2014). Kapok oil methyl esters. *Biomass and Bioenergy*, 66, 419-425.
- Reddy, S. M., Sharma, N., Gupta, N., Agarwal, A. K. (2018). Effect of non-edible oil and its biodiesel on wear of fuel injection equipment components of a genset engine. *Fuel*, 222, 841-851.
- Sahoo, P. K., Das, L. M. (2009). Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Fuel*, 88(6), 994-999.
- Sahoo, P. K., Das, L. M., Babu, M. K. G., Naik, S. N. (2007). Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. *Fuel*, 86(3), 448-454.
- Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., Shameer, P. M. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2970-2992.
- Saravanan, S., Nagarajan, G., Rao, G. L. N., Sampath, S. (2010). Combustion characteristics of a stationary diesel engine fuelled with a blend of crude rice bran oil methyl ester and diesel. *Energy*, 35(1), 94-100.
- Sarıbıyık, O. Y., Özcanlı, M., Serin, H., Serin, S., Aydın, K. (2010). Biodiesel production from Ricinus communis oil and its blends with soybean biodiesel. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 56, 811-816.
- Sarıdemir, S., Ağbulut, Ü. (2019). Combustion, performance, vibration and noise characteristics of cottonseed methyl ester–diesel blends fuelled engine. *Biofuels*, 1-10.
- Sarıdemir, S., Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Bakan, F. (2020). Investigating the role of fuel injection pressure change on performance characteristics of a DI-CI engine fuelled with methyl ester. *Fuel*, 271, 117634.
- Saxena, V., Kumar, N., Saxena, V. K. (2018). Biodiesel synthesis from Acacia concinna seed oil: A comprehensive study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(17), 2009-2020.
- Saydut, A., Duz, M. Z., Kaya, C., Kafadar, A. B., Hamamci, C. (2008). Transesterified sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil as a biodiesel fuel. *Bioresource Technology*, 99(14), 6656-6660.
- Schinas, P., Karavalakis, G., Davaris, C., Anastopoulos, G., Karonis, D., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E. (2009). Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed oil as an alternative feedstock for the production of biodiesel in Greece. *Biomass and Bioenergy*, 33, 44-49.

- Schumacher, L. G., Borgelt, S. C., Fosseen, D., Goetz, W., Hires, W. G. (1996). Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. *Bioresource Technology*, 57, 31-36.
- Shahabuddin, M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Bhuiya, M. M. K., Mofijur, M. (2012). An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination. *Energy*, 44(1), 616-622.
- Shameer, P. M., Ramesh, K., Sakthivel, R., Purnachandran, R. (2016). Studies on correlation between NO<sub>x</sub> and in-cylinder temperature in a DI diesel engine using fluke thermal imager for different alternate fuel blends. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 6(12), 373-389.
- Sia, C. B., Kansedo, J., Tan, Y. H., Lee, K. T. (2020). Evaluation on biodiesel cold flow properties, oxidative stability and enhancement strategies: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101514.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., Sharma, P. K., Jhalani, A. (2020). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, 262, 116553.
- Singh, S. P., Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 200-216.
- Su, C. H., Nguyen, H. C., Pham, U. K., Nguyen, M. L., Juan, H. Y. (2018). Biodiesel production from a novel nonedible feedstock, soursop (*Annona muricata* L.) seed oil. *Energies*, 11(10), 2562.
- Sultana, S., Khalid, A., Ahmad, M., Zuhairi, A. A., Teong, L. K., Zafar, M., Hassan, F. U. (2014). The production, optimization, and characterization of biodiesel from a novel source: *Sinapis alba* L. *International Journal of Green Energy*, 11(3), 280-291.
- Tipachan, C., Pinnarat, T., Kajorncheappunngam, S. (2017). Biodiesel production from unrefined kratung (*Calophyllum inophyllum*) seed oil using supercritical methanol. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 16(4), 283-291.
- Torres, E. A., Cerqueira, G. S., Ferrer, T. M., Quintella, C. M., Raboni, M., Torretta, V., Urbini, G. (2013). Recovery of different waste vegetable oils for biodiesel production: A pilot experience in Bahia State, Brazil. *Waste Management*, 33(12), 2670-2674.
- Usta, N., Aydoğan, B., Çon, A. H., Uğuzdoğan, E., Özkal, S. G. (2011). Properties and quality verification of biodiesel produced from tobacco seed oil. *Energy Conversion and Management*, 52(5), 2031-2039.
- Van Gerpen, J. (2005). Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097-1107.
- Varatharajan, K., Cheralathan, M. (2012). Influence of fuel properties and composition on NO<sub>x</sub> emissions from biodiesel powered diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3702-3710.
- Yaakob, Z., Narayanan, B. N., Padikkaparambil, S. (2014). A review on the oxidation stability of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 136-153.
- Yadav, C., Saini, A., Bera, M., Maji, P. K. (2017). Thermo-analytical characterizations of biodiesel produced from edible and non-edible oils. *Fuel Processing Technology*, 167, 395-403.
- Yang, J., Caldwell, C., Corscadden, K., He, Q. S., Li, J. (2016). An evaluation of biodiesel production from *Camelina sativa* grown in Nova Scotia. *Industrial Crops and Products*, 81, 162-168.
- Yesilyurt, M. K. (2020). The examination of a compression-ignition engine powered by peanut oil biodiesel and diesel fuel in terms of energetic and exergetic performance parameters. *Fuel*, 278, 118319.
- Yesilyurt, M. K., Cesur, C. (2020). Biodiesel synthesis from *Styrax officinalis* L. seed oil as a novel and potential non-edible feedstock: A parametric optimization study through the Taguchi technique. *Fuel*, 265, 117025.
- Yesilyurt, M. K., Arslan, M., Eryilmaz, T. (2018). Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına etanol katılmasının performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin deneysel incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38(2), 129-150.

Yesilyurt, M. K., Arslan, M., Eryilmaz, T. (2019). Application of response surface methodology for the optimization of biodiesel production from yellow mustard (*Sinapis alba* L.) seed oil. *International journal of Green Energy*, 16(1), 60-71.