

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences

Sahibi / Owner
Ali Kemal YAKUT

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager
Reşat SELBAŞ

Editör / Editor in Chief
Nihat YILMAZ

Yardımcı Editörler / Vice Editors
Önder KIZILKAN
Ergün KORKMAZ

Alan Editörleri/Associate Editors
Abdullah ÖZSOY
Cengiz ÖZEL
Okan BİNGÖL
İsmail Serkan ÜNCÜ

Editör Kurulu / Editorial Board
Ali Kemal YAKUT
Reşat SELBAŞ
Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Ahmet KABUL

Yayın Danışma Kurulu/Editorial Advisory Board

Hiroshi YAMAGUCHI, Doshisha University
İbrahim DİNÇER, Ontario Tech University
Mustafa ACAROĞLU, Konya Teknik Üniversitesi
Mustafa Reşit USAL, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ramazan KÖSEOĞLU, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Refik KAYALI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Bekir YALÇIN, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turkey
Özlem TERZİ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Mustafa AY, Marmara Üniversitesi
Şemsettin KILINÇARSLAN, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ömer Necati CORA, Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi
Nabi İBADOV, Warsaw University of Technology, Poland
Murat Öztürk, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Turkey

Grafik Tasarım / Graphic Design
Sinan İLKAZ

Teknik Sorumlu / Technical Manager
Serap ERGÜN
Nejat TÜKENMEZ

Mizanpaj / Make-up
Serpil ÇELİK TOKER

Dergi Adresi / Journal Address

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi Editörlüğü
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
32260, Batı Kampüsü, Isparta, Türkiye
Tel: +90 246 2111569
Fax : +90 246 2111984
E-posta/E-mail: utbd@isparta.edu.tr

*Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tarafından yılda 3 sayı elektronik olarak yayınlanmaktadır.
International Journal of Technological Sciences is published three times a year electronically by Isparta University of Applied Sciences.*

Cilt / Volume: 14

Sayı/Number: 1

Nisan/April 2022

e - ISSN : 1309-1220

ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Sayfa No

Araştırma Makalesi

- Estimation of Weibull distribution parameters for wind energy applications: A case study of Dinar region in Turkey**
Rüzgar enerji uygulamaları için Weibull dağılım parametrelerinin tahmini: Türkiye'nin Dinar bölgesi için bir çalışma ... 1-10
Okan BİNGÖL, Aydın BULUT
- Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi**
Investigation of small signal stability with different PSS models and UPFC-POD in power systems..... 11-22
Muhammet DEMİRBAŞ, M. Kenan DÖŞOĞLU
- Monel K-500 Alaşımının Isı Destekli İşlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma**
A Numerical Study on Heat-Assisted Machining of Monel K-500 Alloy..... 23-29
Mahir AKGÜN
- Komor adaları'nda parabolik oluk güneş kollektörü ile enerji üretimi**
Energy Generation With Parabolic Trough Solar Collector In Comoros Islands 30-39
Hassane CHAFIOU, İbrahim ÜÇGÜL
- Ardışık kavşaklarda trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü**
Embedded system and fuzzy logic control of traffic signaling at consecutive intersections 40-49
Ahmed Aycan GENÇKAL, Tuna GÖKSU

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, **Google Scholar** ve **EBSCO** tarafından taranmaktadır. <https://www.ebsco.com/title-lists> adresinde "Academic Search Premier" listesinde yer almaktadır.

International Journal of Technological Sciences is indexed by **Google Scholar** and **EBSCO**. It is included in "Academic Search Premier" at the address <https://www.ebsco.com/title-lists>



Araştırma Makalesi/Research Article

Estimation of Weibull distribution parameters for wind energy applications: A case study of Dinar region in Turkey

Okan BİNGÖL¹, Aydın BULUT¹

¹Isparta University of Applied Sciences, Technology Faculty, Department of Electrical and Electronic Engineering, 32260, Isparta, Turkey

Keywords

Wind energy
Weibull distribution
Statistical error analysis

Article history:

Received: 06.11.2021
Accepted: 01.04.2022

Abstract: In this study, the wind energy characteristics of Dinar region were researched. Required wind data was provided by the Dinar Meteorology Station of the Turkish State Meteorology Service. Wind data was recorded hourly between June 2015 and May 2020. The two variable Weibull probability distribution function was used to research wind characteristics of the region. Six different methods were used to calculate shape (k) and scale (c) variables of the probability distribution function. These are moment, graph, Justus empirical, energy trend, energy pattern and maximum likelihood estimation methods. The performance of these methods were compared with four different statistical error analysis methods. These are root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R^2), chi-square error (X^2) and mean absolute error (MAE). According to the results, maximum likelihood estimation and energy trend methods have been the most successful methods in the calculation of Weibull parameters. In addition, this study is an important preliminary study in determining the wind energy characteristic of the region.

Atıf için/To Cite:

Bingöl O. Bulut A. Estimation of Weibull distribution parameters for wind energy applications: A case study of Dinar region in Turkey. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 1-10, 2022.

Rüzgar enerji uygulamaları için Weibull dağılım parametrelerinin tahmini: Türkiye'nin Dinar bölgesi için bir çalışma

Anahtar Kelimeler

Rüzgar enerjisi
Weibull dağılımı
İstatistiksel hata analizi

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 06.11.2021
Kabul Tarihi: 01.04.2022

Öz: Bu çalışmada, Dinar bölgesinin rüzgar enerji karakteristiğinin incelemesi yapılmıştır. Çalışmada ihtiyaç duyulan rüzgar verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Dinar Meteoroloji İstasyonu tarafından sağlanmıştır. Rüzgar verileri Haziran 2015 – Mayıs 2020 yılları arasında saatlik olarak kaydedilmiştir. Bölgenin rüzgar karakteristiğinin incelenmesinde iki değişkenli Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Olasılık dağılım fonksiyonun şekil (k) ve ölçek(c) değişkenlerinin hesaplanmasında ise altı farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar moment, grafik, Justus empirik, enerji eğilim, enerji pattern ve en yüksek olasılık yöntemleridir. Bu yöntemlerin performansları ise dört farklı istatistiksel hata analiz yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bunlar sırasıyla ortalama karekök hatası (RMSE), belirleme katsayısı (R^2), ki-kare hatası (X^2) ve ortalama mutlak hata (MAE)'dir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında en yüksek olasılık ve enerji eğilim yöntemleri Weibull parametrelerinin hesabında en başarılı yöntemler olmuştur. Ayrıca bu çalışma, bölgenin rüzgar enerji karakteristiğini belirlemede önemli bir ön çalışma niteliği taşımaktadır.

1. Introduction

Renewable energy resources are unending and can be used repeatedly. They do not harm the environment as much as fossil fuels. Because they are found anywhere

in nature, they allow to reach energy in rural areas. In addition, they provide independency in energy. There are various types of renewable energy resources such as wind, solar and geothermal.

* İlgili yazar/Corresponding author: okanbingol@isparta.edu.tr

Wind energy has been used in ancient times in areas such as milling of grain and sailing of ships. Nowadays, it is used to produce electricity. Because of not burning process, producing electricity from the wind is clean and does not cause pollution. It protects water resources as it does not need cooling water like other energy systems. Since it is found almost everywhere in nature, there is no cost of raw materials. This reduces the energy production cost. If the wind turbines that have expired are removed from their places, the land becomes usable again [1].

Due of advantages of wind energy, investments are increasing day by day. As of 2020, the installed wind power in the world has reached the level of 745 GW. China ranks first in the world with an installed capacity of 228 GW. The USA ranks second with 122 GW and Germany ranks third with 62 GW of installed power [2]. Turkey is one of countries with high wind potential due to its geographical location and climatic conditions. The installed power which was 18,9 MW in 2000, reached 9,3 GW level by 2021 with government supports [3].

Before making a wind investment in a region, the wind energy characteristics of the region should be examined. According to the results, the energy that can be produced in the region is calculated. Thus, parameters such as tower height, blade length, rotor speed, aerodynamic shape of the wind blades are decided [4]. Various probability distribution methods are used to study the wind energy characteristics. Some of them are lognormal, gamma function, Weibull and Rayleigh distributions. Among the distribution methods, the most preferred method in the literature is the Weibull probability distribution method [4],[5]. The success of the Weibull distribution depends on the success of the parameter estimation [6]. Methods such as moment, graph, empirical, energy trend are used in parameter estimation of the Weibull distribution.

In this study, wind characteristics of Dinar region is researched. Wind data that was recorded hourly at an altitude of 10m between June 2015 and May 2020 was used. Two parameter Weibull distribution was used to obtain wind characteristics in this region. Moment, graph, Justus empirical, energy trend, energy pattern and maximum likelihood methods were used to estimate Weibull distribution parameters. The success of these methods was compared using RMSE, R², X² and MAE error methods.

2. Weibull Distribution

Weibull distribution was discovered in 1939 by the Waloddi Weibull. It is a function of three variables. These are shape (k), scale (c) and location (a) parameters. Wind speed is measured by an

anemometer mounted on a pole. Since the measuring point does not change, two parameter Weibull distribution is used in wind applications [7]. Two parameter Weibull probability distribution function is given in Equation (1).

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{(k-1)} \exp \left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k \right] \quad (1)$$

Cumulative distribution function is given Equation (2).

$$F(V) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k \right] \quad (2)$$

Mean wind speed of the Weibull distribution is expressed by Equation (3) [6],[8].

$$V_m = c\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (3)$$

Here, V_m is the mean wind speed, c is the scale parameter, k is the shape parameter and Γ is the Gamma function.

According to the Weibull probability density graph, the peak represents the most probable wind speed. Equation (4) is used to calculate it [6].

$$V_{mp} = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (4)$$

Equation (5) is used to calculate the highest velocity value of the Weibull distribution [6].

$$V_{max} = c \left(\frac{k+2}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (5)$$

Equation (6) is used in the power calculation of Weibull distribution [8].

$$P = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (6)$$

Here, ρ is air density value of the region.

Hourly wind speed data recorded in the Dinar region between 2015 and 2020 is given in Figure 1. According to the figure, it is seen that the average wind speed value of the region is around 2 m/s. The highest speed value was found to be around 16 m/s.

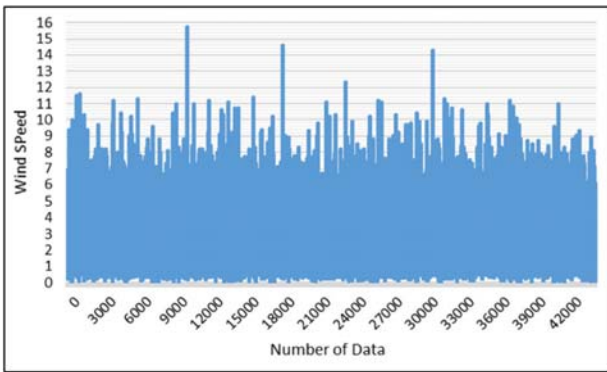


Figure 1. Wind speed data of Dinar region between July 2015 and May 2020

In Table 1, frequency and probability densities of wind speed data are given. Wind speed groups are given in the second column and the average of each wind speed group is given the third column. Blow count for each velocity group is given in the fourth column. The probability density is given in the fifth column while the cumulative distribution is given in the last column.

Table 1. Frequency and probability densities of wind data for Dinar region

i	v_i (m/s)	v_{im} (m/s)	f_i	$f(V)$	$F(V)$
1	0-1	0,5	6837	0,161448	0,161448
2	1-2	1,5	15009	0,351236	0,512684
3	2-3	2,5	8700	0,203594	0,716278
4	3-4	3,5	5767	0,134957	0,851236
5	4-5	4,5	3323	0,077764	0,928999
6	5-6	5,5	1721	0,040274	0,969274
7	6-7	6,5	814	0,019049	0,988323
8	7-8	7,5	296	0,006927	0,995249
9	8-9	8,5	108	0,002527	0,997777
10	9-10	9,5	49	0,001147	0,998924
11	10-11	10,5	24	0,000562	0,999485
12	11-12	11,5	18	0,000421	0,999906
13	12-13	12,5	1	0,000023	0,999930
14	13-14	13,5	0	0,000000	0,999930
15	14-15	14,5	2	0,000047	0,999977
16	15-16	15,5	1	0,000023	1,000000

3. Parameter Calculation Methods

Various numerical methods have been used in the parameter calculation of the Weibull distribution until today. Some of these are moment, graph, Justus empirical, energy trend, energy pattern and maximum likelihood methods.

3.1. Moment method

Before calculating parameter in the moment method, standart deviation (σ) and mean (V_m) of the distribution must be calculated [6]. Equations (7) and (8) are used for this.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - V_m)^2} \tag{7}$$

$$V_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \tag{8}$$

Then, shape parameter can be calculated with Equation (9).

$$k = \left(\frac{0,9874}{\frac{\sigma}{V_m}} \right)^{1,0983} \tag{9}$$

After calculating shape parameter, scale parameter is calculated with Equation (10).

$$c = \frac{V_m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \tag{10}$$

3.2. Graph method

One of the methods used in calculation of Weibull parameters is graph method. In this method, parameters are found by drawing graphs instead of making calculations. Equation (11) is obtained by taking the logarithm of both sides of the function specified in Equation (2) twice [9].

$$\ln[-\ln[1 - F(v)]] = k \ln v - k \ln c \tag{11}$$

The graph of the expression in Equation (11) with respect to $\ln x$ shows the line in space. In this case, shape parameter is the slope of this line. This expression is explained more clearly in Equations (12) and (13).

$$x = \ln v \tag{12}$$

$$y = \ln[-\ln[1 - F(v)]] \tag{13}$$

Then, shape and scale parameters are calculated by applying the least squares method.

3.3. Justus empirical method

While calculating parameters with this method, the standart deviation and average wind speed should be calculated. Then Equations (14) and (15) are used to calculate shape and scale parameters [10].

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1,086} \tag{14}$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \tag{15}$$

3.4. Energy trend method

First of all, the energy pattern factor is calculated using Equation (16) [9].

$$E_{PF} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i\right)^3} \tag{16}$$

After calculating energy pattern factor, shape and scale parameters are calculated using Equations (17) and (18).

$$k = 3,9557 E_{PF}^{-0,898} \tag{17}$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k\right)^{1/k} \tag{18}$$

3.5. Energy pattern method

In this method, average wind speed and energy pattern factor are need [7]. Then, shape and scale parameters are calculated with the help of Equations (19) and (20).

$$k = 1 + \frac{3,69}{E_{PF}^2} \tag{19}$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \tag{20}$$

3.6. Maximum likelihood estimation method

When calculating with this method, iteration is required in the parameter calculation of Weibull distribution [11]. Shape and scale parameters are calculated by Equations (21) and (22).

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n}\right)^{-1} \tag{21}$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k\right)^{1/k} \tag{22}$$

4. Statistical Error Analysis Methods

4.1. Root mean square error (RMSE) method

This method expresses the difference between the predicted results and the actual data as an absolute number. The result obtained is positive because of the absolute value [12]. It is expressed by Equation (23).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{N}} \tag{23}$$

Here, x is the measured wind speed, y is the calculated wind speed and N is the number of occurrences.

4.2. Coefficient of determination (R²) method

This method shows the linear relationship between the measured and calculated data [12]. It is expressed by Equation (24).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - z_i)^2} \tag{24}$$

z is the mean wind speed.

4.3. Chi-square error (X²) method

This method is based on whether the difference between the measured frequency and the calculated frequency is significant [12]. The mathematical expression of the method is expressed by Equation (25).

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i} \tag{25}$$

4.4. Mean absolute error (MAE) method

It is based on the arithmetic mean between the measured and calculated data [12]. It is expressed by Equation (26).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - x_i|}{N} \tag{26}$$

5. Analysis Results

The comparison of the shape and scale parameters calculated by six different methods is given in Table 2. According to the calculation results, the value of k parameter was found between 1,4093 and 2,1619. The value of c parameter was found between 2,1232 and 3,2098. According to Table 2, the value of k parameter for all methods increased in summer months, while its value decreased in winter months.

When the performance analysis results are examined, successful and unsuccessful methods have varied according to months. When all methods were compared, it was seen that maximum likelihood method was the most successful method. This method was followed by the energy trend method. Moment and energy pattern methods were the most unsuccessful.

Table 2. Comparison of the results calculated by six different methods.

Months	Parameter Calculation Methods	Weibull Parameters		Statistical Analysis Methods			
		k	c	RMSE	R ²	X ²	MAE
January	Justus Empirical	1,5209	3,1509	0,0141	0,999974756	1,9878e-04	0,0058
	Moment	1,5070	3,1475	0,0142	0,999974559	2,0033e-04	0,0059
	Graph	1,7074	3,1202	0,0165	0,999965440	2,7214e-04	0,0066
	Energy Pattern	1,4995	3,1456	0,0142	0,999974393	2,0164e-04	0,0059
	Energy Trend	1,6116	3,2098	0,0147	0,999972490	2,1662e-04	0,0057
	Maximum Likelihood	1,5516	3,1743	0,0141	0,999974735	1,9894e-04	0,0057
February	Justus Empirical	1,4578	2,9783	0,0125	0,999977873	1,5713e-04	0,0053
	Moment	1,4438	2,9743	0,0126	0,999977628	1,5887e-04	0,0053
	Graph	1,6478	2,9502	0,0154	0,999966444	2,3830e-04	0,0063
	Energy Pattern	1,4384	2,9727	0,0126	0,999977487	1,5987e-04	0,0053
	Energy Trend	1,5199	3,0198	0,0128	0,999976869	1,6427e-04	0,0051
	Maximum Likelihood	1,4925	3,0032	0,0126	0,999977785	1,5776e-04	0,0052
March	Justus Empirical	1,4886	2,7720	0,0149	0,999963627	2,2216e-04	0,0054
	Moment	1,4746	2,7687	0,0153	0,999961893	2,3275e-04	0,0054
	Graph	1,7243	2,7479	0,0143	0,999966671	2,0357e-04	0,0061
	Energy Pattern	1,4536	2,7634	0,0158	0,999958872	2,5121e-04	0,0054
	Energy Trend	1,5433	2,8026	0,0139	0,999968289	1,9369e-04	0,0055
	Maximum Likelihood	1,5356	2,7984	0,0140	0,999967857	1,9632e-04	0,0055
April	Justus Empirical	1,6204	2,5104	0,0231	0,999890837	5,3574e-04	0,0080
	Moment	1,6068	2,5085	0,0236	0,999886882	5,5515e-04	0,0080
	Graph	1,9769	2,4868	0,0195	0,999922503	3,8033e-04	0,0079
	Energy Pattern	1,5399	2,4979	0,0259	0,999863737	6,6874e-04	0,0080
	Energy Trend	1,6690	2,5290	0,0219	0,999902462	4,7869e-04	0,0080
	Maximum Likelihood	1,6835	2,5352	0,0216	0,999905162	4,6544e-04	0,0080
May	Justus Empirical	1,7037	2,1451	0,0192	0,999895493	3,6994e-04	0,0066
	Moment	1,6903	2,1440	0,0197	0,999890244	3,8852e-04	0,0067
	Graph	2,0651	2,1232	0,0156	0,999931545	2,4232e-04	0,0051
	Energy Pattern	1,5928	2,1336	0,0237	0,999841699	5,6036e-04	0,0071
	Energy Trend	1,7404	2,1565	0,0180	0,999908308	3,2458e-04	0,0065
	Maximum Likelihood	1,7566	2,1619	0,0176	0,999912980	3,0804e-04	0,0064
June	Justus Empirical	1,7775	2,3223	0,0116	0,999967491	1,3447e-04	0,0042
	Moment	1,7643	2,3214	0,0120	0,999965299	1,4354e-04	0,0042
	Graph	2,1098	2,3002	0,0138	0,999953977	1,9038e-04	0,0045
	Energy Pattern	1,6821	2,3144	0,0150	0,999945855	2,2398e-04	0,0047
	Energy Trend	1,8536	2,3491	0,0100	0,999975621	1,0085e-04	0,0037
	Maximum Likelihood	1,8201	2,3380	0,0105	0,999973235	1,1071e-04	0,0039

Table 2. Comparison of the results calculated by six different methods (Cont.).

Months	Parameter Calculation Methods	Weibull Parameters		Statistical Analysis Methods			
		k	c	RMSE	R ²	X ²	MAE
July	Justus Empirical	1,9445	2,9595	0,0088	0,999988434	7,7643e-05	0,0036
	Moment	1,9321	2,9590	0,0089	0,999988296	7,8569e-05	0,0036
	Graph	2,1209	2,9349	0,0111	0,999981746	1,2254e-04	0,0038
	Energy Pattern	1,9197	2,9584	0,0089	0,999988073	8,0067e-05	0,0036
	Energy Trend	2,1199	3,0258	0,0111	0,999981608	1,2347e-04	0,0040
	Maximum Likelihood	1,9583	2,9708	0,0088	0,999988590	7,6594e-05	0,0035
August	Justus Empirical	1,9864	2,8073	0,0057	0,999994624	3,2395e-05	0,0025
	Moment	1,9742	2,8069	0,0058	0,999994467	3,3346e-05	0,0024
	Graph	2,1404	2,7851	0,0080	0,999989304	6,4464e-05	0,0033
	Energy Pattern	1,9609	2,8065	0,0059	0,999994190	3,5014e-05	0,0024
	Energy Trend	2,1619	2,8679	0,0089	0,999986766	7,9756e-05	0,0037
	Maximum Likelihood	1,9931	2,8156	0,0056	0,999994740	3,1701e-05	0,0025
September	Justus Empirical	1,6277	2,2802	0,0199	0,999901850	3,9603e-04	0,0072
	Moment	1,6141	2,2786	0,0204	0,999897145	4,1501e-04	0,0073
	Graph	2,0006	2,2581	0,0161	0,999935896	2,5865e-04	0,0063
	Energy Pattern	1,5585	2,2709	0,0225	0,999874757	5,0534e-04	0,0075
	Energy Trend	1,6946	2,3046	0,0180	0,999919809	3,2356e-04	0,0070
	Maximum Likelihood	1,6935	2,3042	0,0180	0,999919593	3,2443e-04	0,0070
October	Justus Empirical	1,6038	2,2569	0,0231	0,999865601	5,3250e-04	0,0083
	Moment	1,5901	2,2551	0,0234	0,999861400	5,4915e-04	0,0083
	Graph	1,9708	2,2389	0,0220	0,999877864	4,8392e-04	0,0074
	Energy Pattern	1,5426	2,2482	0,0248	0,999844215	6,1724e-04	0,0084
	Energy Trend	1,6726	2,2826	0,0217	0,999881127	4,7099e-04	0,0081
	Maximum Likelihood	1,6735	2,2829	0,0217	0,999881254	4,7048e-04	0,0081
November	Justus Empirical	1,5460	2,2885	0,0207	0,999895983	4,2701e-04	0,0083
	Moment	1,5321	2,2863	0,0209	0,999893236	4,3829e-04	0,0084
	Graph	1,8774	2,2757	0,0221	0,999881165	4,8784e-04	0,0080
	Energy Pattern	1,5083	2,2822	0,0215	0,999887742	4,6084e-04	0,0085
	Energy Trend	1,6244	2,3213	0,0198	0,999904756	3,9099e-04	0,0080
	Maximum Likelihood	1,6161	2,3178	0,0198	0,999904427	3,9234e-04	0,0081
December	Justus Empirical	1,4459	2,8094	0,0188	0,999944207	3,5289e-04	0,0071
	Moment	1,4319	2,8055	0,0191	0,999942504	3,6366e-04	0,0071
	Graph	1,7358	2,7944	0,0196	0,999939154	3,8485e-04	0,0078
	Energy Pattern	1,4093	2,7989	0,0196	0,999939291	3,8398e-04	0,0072
	Energy Trend	1,4737	2,8243	0,0183	0,999946974	3,3539e-04	0,0070
	Maximum Likelihood	1,5134	2,8474	0,0179	0,999949257	3,2095e-04	0,0069
June 2015 -May 2020	Justus Empirical	1,5678	2,5999	0,0169	0,999946369	2,8430e-04	0,0059
	Moment	1,5540	2,5975	0,0172	0,999943996	2,9688e-04	0,0058
	Graph	1,8790	2,5756	0,0165	0,999948804	2,7139e-04	0,0066
	Energy Pattern	1,5072	2,5886	0,0187	0,999934154	3,4906e-04	0,0058
	Energy Trend	1,6228	2,6247	0,0157	0,999953360	2,4724e-04	0,0059
	Maximum Likelihood	1,6265	2,6265	0,0157	0,999953678	2,4556e-04	0,0059

The average speed, the wind speed with the highest probability of blowing, the highest wind speed and

power values of Weibull distribution are calculated and shown in Table 3. According to the statistical error

analysis results, the most successful method is the maximum likelihood method. In the calculation of the parameters given in Table 3, k and c parameters calculated with the maximum likelihood method were used. Air density was needed to calculate the area's wind power. Air density value is inversely proportional to temperature. Therefore, as the temperature increases, the air density and power density values decreases. In this study, this change was neglected and the air density value was accepted as 1,04 kg/m³ for the Dinar region. When Table 3 is examined in general, it is seen that the values increase in the winter period and decrease in the spring periods. While the power density reaches its highest value in January, it reaches its lowest value in May.

Table 3. Wind speed and power values of Dinar region

Months	V _m (m/s)	V _{mp} (m/s)	V _{maxE} (m/s)	P(W/m ²)
January	2,8546	1,6299	5,4130	31,3116
February	2,7128	1,4288	5,3085	28,4330
March	2,5194	1,4094	4,8169	21,8457
April	2,2636	1,4841	4,0365	13,9927
May	1,9250	1,3384	3,3325	8,1672
June	2,0781	1,5088	3,5136	9,8568
July	2,6340	2,0624	4,2554	18,5405
August	2,4954	1,9851	3,9901	15,4861
September	2,0565	1,3601	3,6517	10,4143
October	2,0392	1,3252	3,6519	10,3083
November	2,0762	1,2762	3,8151	11,3890
December	2,5678	1,3939	4,9675	23,6216
June 2015 -May 2020	2,3514	1,4610	4,3001	16,4039

As a result, k and c values were calculated for each method. Weibull probability density and cumulative distribution calculations were made using equations 1 and 2. The graphs obtained as a result of these calculations are given on monthly and 5 years basis. The "data" given in the graph refers to the measured wind data. "emp" refers to the Justus empirical method, "mom" refers to the moment method, "grf" refers to the graph method, "epf" refers to the energy pattern method, "enj" refers to the energy trend method and "mle" refers to the maximum likelihood estimation method.

Figure 2 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for January. According to the Figure 2, the wind speed frequency is around 3 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 9 m/s.

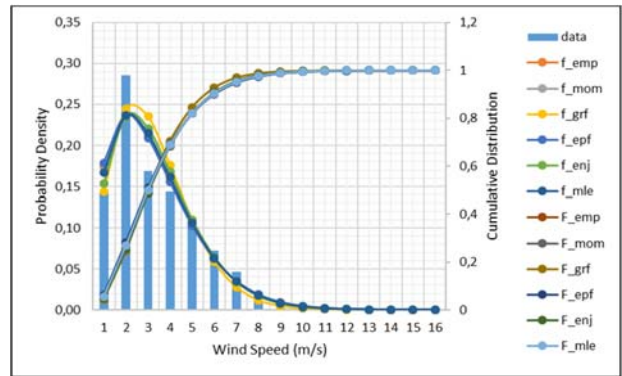


Figure 2. Weibull probability distribution and cumulative graphs for January

Figure 3 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for February. According to the Figure 3, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 8 m/s.

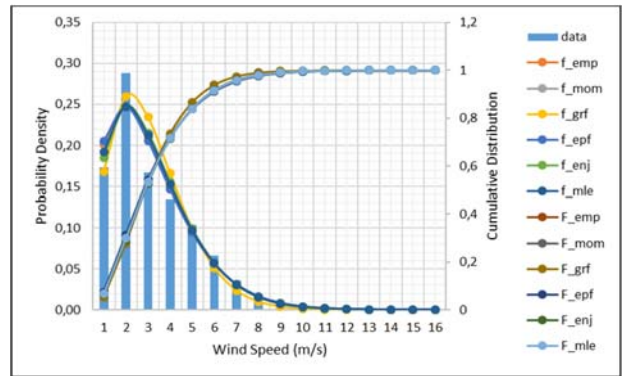


Figure 3. Weibull probability distribution and cumulative graphs for February

Figure 4 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for March. According to the Figure 4, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 8 m/s.

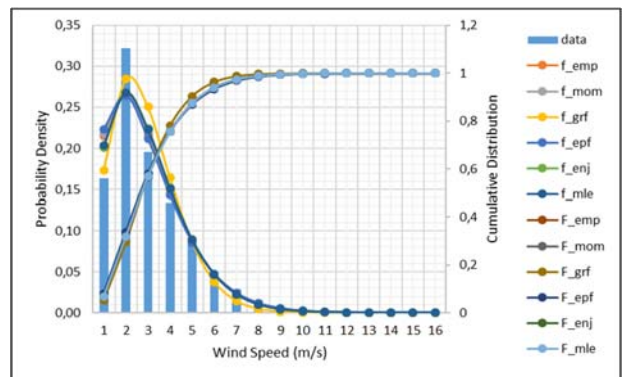


Figure 4. Weibull probability distribution and cumulative graphs for March

Figure 5 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for April. According to the Figure 5, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 6 m/s.

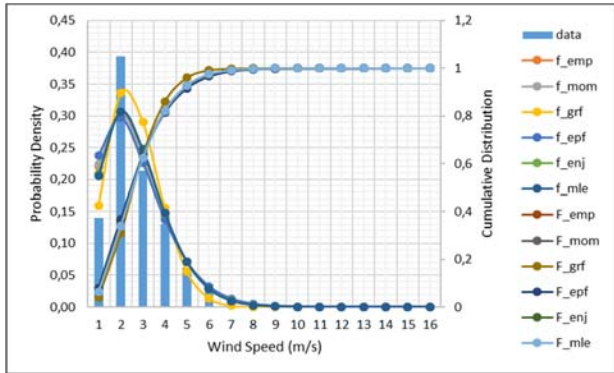


Figure 5. Weibull probability distribution and cumulative graphs for April

Figure 6 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for May. According to the Figure 6, the wind speed frequency is around 1 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 5 m/s.

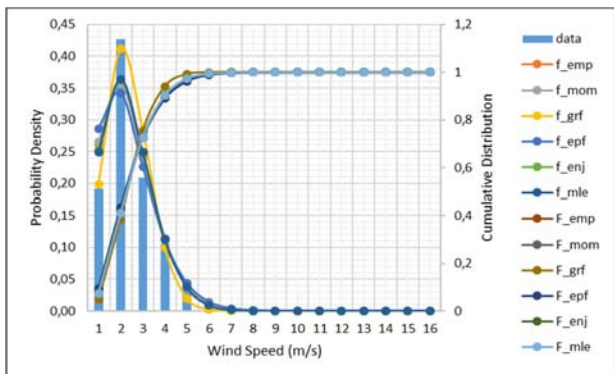


Figure 6. Weibull probability distribution and cumulative graphs for May

Figure 7 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for June. According to the Figure 7, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 5 m/s.

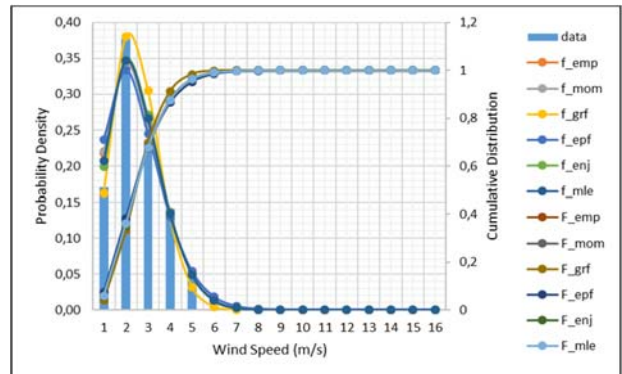


Figure 7. Weibull probability distribution and cumulative graphs for June

Figure 8 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for July. According to the Figure 8, the wind speed frequency is around 3 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 7 m/s.

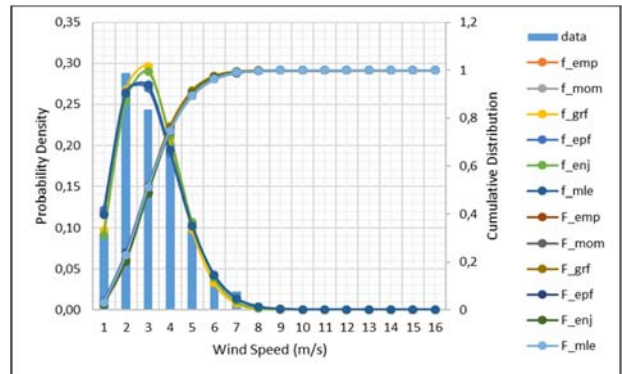


Figure 8. Weibull probability distribution and cumulative graphs for July

Figure 9 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for August. According to the Figure 9, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 6 m/s.

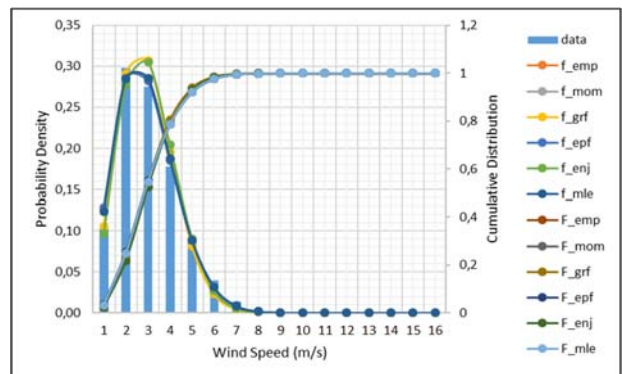


Figure 9. Weibull probability distribution and cumulative graphs for August

Figure 10 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for September. According to the Figure 10, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 6 m/s.

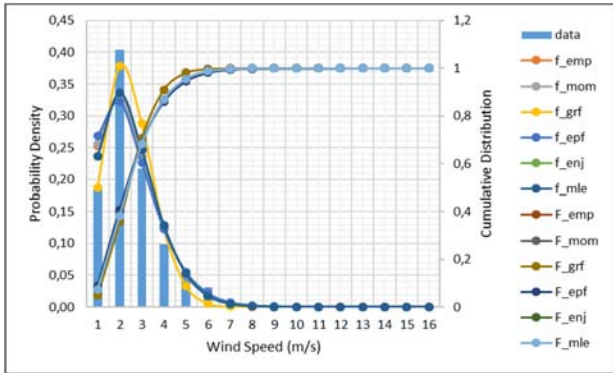


Figure 10. Weibull probability distribution and cumulative graphs for September

Figure 11 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for October. According to the Figure 11, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 5 m/s.

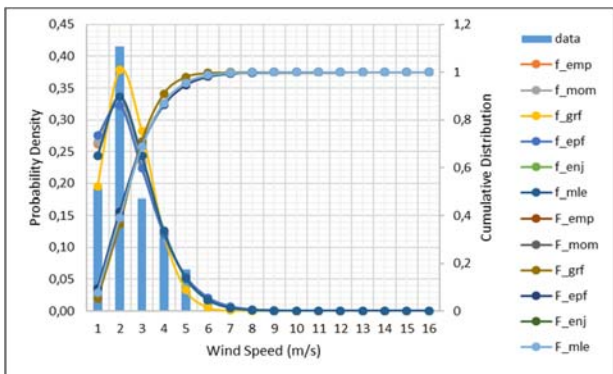


Figure 11. Weibull probability distribution and cumulative graphs for October

Figure 12 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for November. According to the Figure 12, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 6 m/s.

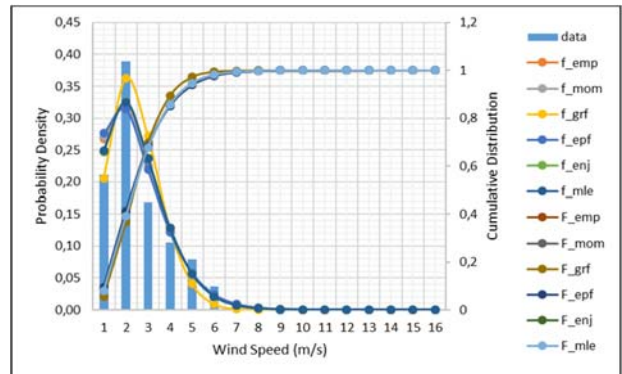


Figure 12. Weibull probability distribution and cumulative graphs for November

Figure 13 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs for December. According to the Figure 13, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 8 m/s.

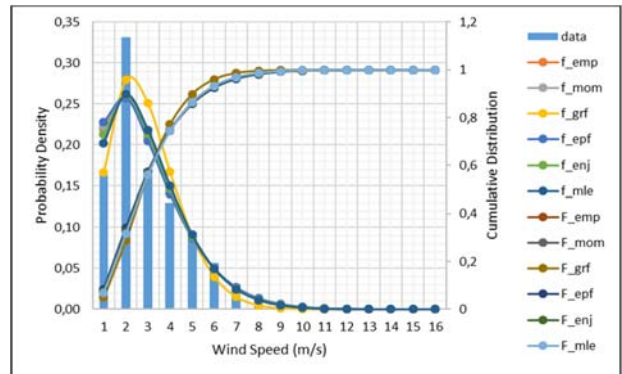


Figure 13. Weibull probability distribution and cumulative graphs for December

Figure 14 shows the Weibull probability density and cumulative distribution graphs from June 2015 to May 2020. According to the Figure 14, the wind speed frequency is around 2 m/s. It is observed that the cumulative distribution graph approached 1 around 7 m/s.

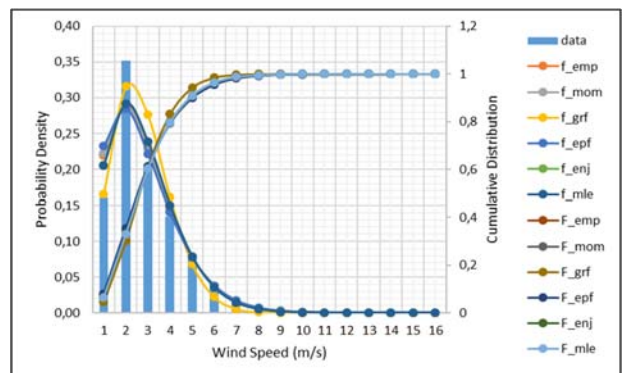


Figure 14. Weibull probability distribution and cumulative graphs from June 2015 to May 2020

6. Conclusion

One of the methods used to analyze the wind characteristics of a region is the Weibull distribution. The most important factor affecting the Weibull distribution is the correct estimation of shape and scale parameters. In this study, shape and scale parameters of Weibull distribution parameters were calculated using six different parameter calculation methods. These are Justus empirical, moment, graph, energy pattern, energy trend and maximum likelihood estimation methods. In the study, the wind data of the Dinar region recorded hourly between June 2015 and May 2020 were used. According to the calculation results, the lowest value of the shape parameter was calculated as 1,4093, while the highest value was calculated as 2,1619. The lowest scale parameter was calculated as 2,1232, while the highest was calculated as 3,2098. In addition, the performance analysis of the parameter calculation methods was compared with the RMSE, R^2 , X^2 and MAE methods. According to the comparison results, maximum likelihood estimation method was found the most successful method. The energy trend method was the second method. Moment and energy pattern methods have been unsuccessful.

Acknowledgment

We would like to thank Turkish State Meteorological Service for sharing the wind data set of the Dinar region.

References

- [1] Uyar TS. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *TMMOB Chamber of Electrical Engineers Press*, 1998.
- [2] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. World Wind Report in 2021. <https://tureb.com.tr/eng/lib/uploads/11381fe019da1b31.pdf> (Date Accessed: 09.05.2021).
- [3] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. 2021 Turkey Wind Energy Statistics Report. <https://tureb.com.tr//haber/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-ocak-2021/251> (Date Accessed: 09.05.2021).
- [4] Pallabazzer R. Parametric analysis of wind siting efficiency. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 1329-1352, 2003.
- [5] Wang J, Huang X, Li Q, Ma X. Comparison of seven methods for determining the optimal statistical distribution parameters: a case study of wind energy assessment in the large-scale wind farms of China. *Energy*, 164, 432-448, 2018.
- [6] Akdağ SA, Dinler A. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy Conversion and Management*, 50, 1761-1766, 2009.
- [7] Mohsin M, Rao KVS. Estimation of Weibull distribution parameters and wind power density for wind farm site at Akal at Jaisalmer in Rajasthan. *2018 3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, Ghaziabad, India, 1-2 November 2018.
- [8] Chang TP. Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application. *Applied Energy*, 88, 272-282, 2011.
- [9] Kaplan YA. Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılarak Osmaniye bölgesinde rüzgar enerjisinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 20, 62-71, 2016.
- [10] Kapen PT, Gouajio MJ, Yemele D. Analysis and efficient comparison of ten numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy potential: application to the city of Bafoussam, Cameroon. *Renewable Energy*, 159, 1188-1198, 2020.
- [11] Altimimi A, Ceekhan A. Calculate and compare five of Weibull distribution parameters to estimate wind power in Iraq. *8th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Amman, Jordan, 21-23 March 2017.
- [12] Wadi M, Elmasry W. Statistical analysis of wind energy potential using different estimation methods for Weibull parameters: a case study. *Electrical Engineering*, 103, 2021.



Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences



Araştırma Makalesi/Research Article

Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi

Muhammet DEMİRBAŞ^{1*}, M. Kenan DÖŞOĞLU²

¹Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Güç sistemleri
Küçük sinyal kararlılığı
Farklı PSS modelleri
UPFC-POD

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 10.01.2022

Kabul Tarihi: 20.04.2022

Öz: Düşük frekanslı salınımların sönümlenmesi güç sistemleri kararlılığı açısından önemli bir konudur. Bu salınımlar güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS) tarafından sönümlenmektedir. Son yıllarda güç elektroniği tabanlı Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) cihazları güç sistemlerinde kararlılığı çalışmalarında verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı PSS modelleri, FACTS cihazlarının en gelişmiş olan Birleştirilmiş Güç Akışı Kontrolü (UPFC) ve Güç Salınım Sönümlenmesi (POD) modeli birlikte koordinasyon kontrolünün sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Senkron generatörlerde kullanılan PSS modellerinin yanı sıra Otomatik Gerilim Regülatörü (AVR) ve Türbin Yöneticisi (TG) modelleri de kullanılmıştır. 2 alanlı, 4 makinalı güç sisteminde küçük sinyal kararlılığı analizi gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışması için Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde farklı PSS modellerin UPFC-POD ile birlikte kullanılmasında açılabilir hız, gerilim, aktif ve reaktif güç karşılaştırmaları yapılmış olup, küçük sinyal kararlılığı analizleri yorumlanmıştır.

Atf için/To Cite:

Demirbaş M. Döşoğlu M.K. Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 11-22, 2022.

Investigation of small signal stability with different PSS models and UPFC-POD in power systems

Keywords

Power systems
Small signal stability
Different PSS models
UPFC-POD

Article history:

Received: 10.01.2022

Accepted: 20.04.2022

Abstract: The damping of small frequency oscillations is an important issue in terms of power system stability. These oscillations are damped by the power system stabilizer (PSS). In recent years, power electronics based Flexible AC Transmission System (FACTS) devices have been used efficiently in power system stability studies. In this study, different PSS models, the most advanced model of FACTS devices Unified Power Flow Control (UPFC) and Power Oscillation Damping (POD) were used to provide coordination controller. In addition to PSS models used in synchronous generators, Automatic Voltage Regulator (AVR) and Turbine Governor (TG) models were also used. Small signal stability analysis was carried out in a 2-field, 4-machine system. Power Systems Analysis Program (PSAT) was used for the simulation study. As a result of the study, angular velocity, voltage, active and reactive power comparisons were made in the use of different PSS models with UPFC-POD, and small signal stability analyzes were interpreted.

1. Giriş

Son yıllarda elektrik enerjisindeki taleplerin artışı, yeni üretim ünitelerinin enterekte sisteme dahil edilmesi ve iletim hatlarına daha çok yatırım yapılması gibi zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Bu gibi zorlukları en düşük seviyeye indirmek için Güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemlerinin kullanılması

günümüzde popüler olmaktadır. Bu kompanzasyon sistemleri FACTS cihazları olarak bilinmektedir. Statik ve dinamik kararlılık analizlerinin yanı sıra güç kapasitesini arttırmada da FACTS cihazlarının çok başarılı olduğunu söyleyebiliriz. FACTS cihazları; Statik Senkron Kompanzator (STATCOM), Statik Var Kompanzator (SVC), Statik Senkron Seri Kompanzator (SSSC), Tristör Kontrollü Seri Kompanzator (TCSC) ve

* İlgili yazar/Corresponding author: kenandosoglu@duzce.edu.tr

Birleştirilmiş Güç Akışı Kontrolü (UPFC)'den oluşmaktadır. FACTS cihazlarının en gelişmiş modeli olan UPFC hem güç sistemlerinde meydana gelen salınımların sönümlenmesinde hem de güç sisteminin gerilim, aç, empedans ve akım kontrolünde etkili olmaktadır. Salınımların sönümlenmesi açısından; UPFC, güç sistemi salınım sönümlenmesi (POD) model ile birlikte sistem üzerinde daha baskın olması için tercih edilmektedir.

UPFC-POD ikilisi; literatürde, özellikle de küçük sinyal kararlılığı çalışmalarında, yaygın bir şekilde yer almaktadır. Güç sistemlerinin kararlılık çalışmalarında, düşük frekanslı salınımların sönümlenmesinde, UPFC ile POD birlikte kullanılmaktadır. Tek makinalı ve iki alanlı sistemde UPFC-POD kullanılması ile salınımların etkili bir şekilde bastırıldığı ve küçük sinyal kararlılığının iyileştiği görülmektedir [1]. Güç sistemlerinde geçici kararlılık analizlerinde kullanılan güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS) modelleri, yerel ve bölgeler arası salınımları ortadan kaldırmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çok makinalı güç sistemlerinde farklı denetleyiciler ile kullanılan PSS modellerinin UPFC-POD ile birlikte kullanılmasında salınımların karşılaştırmaları yapılmış olup, küçük sinyal kararlılığı açısından sonuçlar yorumlanmıştır [2-3]. Güç sistemlerinde salınımların daha etkin sönümlenmesi için UPFC-POD parametreleri belirlenmektedir. Bunun için minimum tekil, hankel ve artık değer yaklaşımları kullanılmaktadır. Dinamik sistem yapısındaki değişimler sonucunda geliştirilen modeller ile salınımlar kısa süre içerisinde sönümlenmiş ve küçük sinyal kararlılığı artmıştır [4]. Çok makinalı güç sistemlerinde merkezi olmayan UPFC modeli POD ile birlikte kullanılmaktadır. UPFC'ye ilave bir denetleyici modelinin eklenmesi ile PSS modeli üzerinde geliştirmeler yapılmıştır. Geliştirilen bu modeller ile salınımların bastırılmasında etkili sonuçlar elde edilmiştir [5-6]. Dahası geliştirilen modellerde küçük sinyal kararlılığı karşılaştırmalarında elde edilen sonuçlar daha iyi olmuştur. Güç sistemlerinde salınımların sönümlenmesi için diğer tercih edilen modellemelerden birisi de koordineli kontrol modellemesidir. Koordineli kontrol modellerinde PSS, UPFC-POD modelleri eş zamanlı olarak çalışmaktadır. Çok makinalı güç sisteminde koordineli kontrol sayesinde küçük sinyal kararlılığı iyileşmiş olup, salınımların sönümlenmesi kısa süre içerisinde sağlanmıştır [7-9]. Yerel ve bölgeler arası frekans salınımlarını bastırmak için diğer kullanılan yöntemlerden birisi otomatik gerilim regülatörü (AVR) ve PSS koordineli kontrolüdür. AVR ve PSS'in çok makinalı güç sistemlerinde kullanılması ile salınımların daha kısa zaman içinde kontrol altına alındığı ve küçük sinyal kararlılığının iyileştiği görülmektedir [10-12]. Çok makinalı güç sistemlerinde

küçük sinyal kararlılığını iyileştirmek için senkron generator kontrolünde kullanılan AVR ve Türbin Yöneticisi (TG) modelleri tercih edilmektedir [13-14].

Küçük sinyal kararlılığında çok makinalı sistemin kararlılığı arttırmak, yerel ve bölgeler arası frekans salınımlarını azaltmak için bu çalışmada literatürden farklı olarak güç sisteminde UPFC-POD bulunuyorken; AVR, TG modelleri ile birlikte farklı PSS modelleri kullanılmıştır. 4 makinalı 2 alanlı test sisteminde; literatür [13] ve literatür [14]'de verilen en uygun AVR ve TG modelinin kullanılmasının yanı sıra farklı PSS modelleri ile yapılan analizler sonucunda sistem kararlılığının ve salınımların karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda en uygun PSS modelinin belirlenmesi ile sistemin geliştirilmesi çalışmada amaçlanmıştır.

2. Sistem Modelleri

2.1. Güç salınımları sönümlenmesi (POD)

Bir dengeleyici kazancı, arındırma filtresi ve faz kompanzâtörden oluşan POD denetleyicisi klasik PSS modeline benzemektedir. Arındırma sinyali POD çıkışını sabit durumda sıfır yapmaktadır. POD devresinde çıkış sinyali (V_{POD}) bir anti-windup sınırlayıcısına tabi tutulur ve dinamiğini küçük zaman sabiti (T_r) tarafından alır. Burada kullanılan K_{ω} kazancı, POD'un çalışmasındaki sönümlenme miktarını belirler. Faz kompanzâtör blokları ise giriş sinyalindeki faz gecikme telafisini sağlar [15].

POD denetleyicisinin parametrelerinin ayarlanması için bir dizi tasarım yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en popüler olanları frekans tepkisine, özdeğer hassasiyetine ve bu ikisinin birleşimine dayanmaktadır. Temelde tasarım iki aşamadan oluşur. Bunlardan ilki telafi edilecek fazın belirlenmesi ikincisi ise sönümlenme oranını elde etmek amacıyla denetleyici kazancının hesaplanmasıdır. POD'da kullanılan faz kompanzâtör bloğunun parametreleri denklem 1 ve denklem 2'de gösterilmiştir.

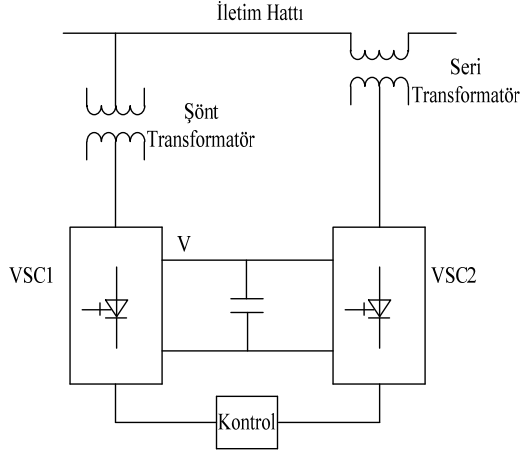
$$T = \frac{1}{\omega_n \sqrt{\alpha}} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1 - \sin(\varphi/n)}{1 + \sin(\varphi/n)} \quad (2)$$

Burada; ω_n , sönümlenme frekansı; φ kompanse edilecek faz; n ise gecikmeli şebekelerin sayısıdır. İlk adımda parametreler ayarlanır. Daha sonraki adımda ise sönümlenme oranı belirlenmektedir. Genellikle sönümlenme oranı %10 olarak kabul edilmektedir [16].

2.2. Birleştirilmiş güç akış kontrolü (UPFC)

UPFC, bir statik senkronize şönt kompanzator (VSC1) ve bir seri kompanzator (VSC2)'den oluşmaktadır. UPFC'nin devre modeli şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. UPFC devre modeli

VSC1 ve VSC2 kompanzatorları, aralarında çift yönlü güç alışverişi sağlayan DC kapasitör ile birbirine bağlanmaktadır. VSC1, güç sistemine paralel bir transformatör vasıtasıyla bağlanmaktadır ve sistemin bağlantı noktalarına ayarlanabilir reaktif akım enjekte etmektedir. Bu bağlantı noktasındaki gerilimi kontrol etmek için reaktif güç sağlayan paralel bir akım kaynağına eşdeğerdir. VSC2, sisteme seri bir transformatör aracılığıyla bağlanır ve paralel taraftan farklı olarak bağlantı noktasına ayarlanabilir bir gerilim kaynağı ilave edilerek hat üzerindeki aktif ve reaktif gücü kontrol edebilmektedir [17]. UPFC'de kullanılan matematiksel ifadeler denklem 3 ile denklem 5 arasında gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_{Ad} \\ V_{Aq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -x_A \\ x_A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{3d} \\ i_{3q} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} m_1 V_{DC} \cos \delta_1 \\ m_1 V_{DC} \cos \delta_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_{Bd} \\ V_{Bq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -x_B \\ x_B & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{2d} \\ i_{2q} \end{bmatrix} - \frac{1}{2} \begin{bmatrix} m_2 V_{DC} \cos \delta_2 \\ m_2 V_{DC} \sin \delta_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} V_{Bd} \\ V_{Bq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -x_B \\ x_B & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{2d} \\ i_{2q} \end{bmatrix} - \frac{1}{2} \begin{bmatrix} m_2 V_{DC} \cos \delta_2 \\ m_2 V_{DC} \sin \delta_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada; V_{Ad} VA bağlantı noktası geriliminin d eksen bileşeni, V_{Aq} VA bağlantı noktası geriliminin q eksen bileşeni, V_{Bd} VB bağlantı noktası geriliminin d eksen bileşeni, V_{Bq} VB bağlantı noktası geriliminin q eksen bileşeni, x_A TA transformatörünün reaktansı, x_B TB transformatörünün reaktansı, i_{3d} I₃ akımının d eksen bileşeni, i_{3q} I₃ akımının q eksen bileşeni, i_{2d} I₂ akımının

d eksen bileşeni, i_{2q} I₂ akımının q eksen bileşeni, V_{DC} DC kapasitör gerilimi, m_1 VSC1'in genlik modülasyon oranı, m_2 VSC2'nin genlik modülasyon oranıdır.

UPFC'de kullanılan DC kapasitörün enerji değişim oranı denklem 6'da gösterilmiştir.

$$C_{DC} V_{DC} \frac{\delta V_{DC}}{\delta t} = \text{Re}[\dot{V}_C \dot{I}_C^* - \dot{V}_D \dot{I}_D^*] \quad (6)$$

Burada, C_{DC} DC kapasitör, V_{DC} DC kapasitör gerilimi, \dot{V}_C paralel taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{I}_C^* paralel taraf dönüştürücünün akımının eşleniği, \dot{V}_D seri taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{I}_D^* seri taraf dönüştürücü akımının eşleniğidir.

UPFC'de kullanılan paralel ve seri dönüştürücülerin akım ve gerilim ilişkisi denklem 7 ile denklem 8'de gösterilmiştir.

$$(r_c + j\omega l_c) \dot{I}_C = \dot{V}_A - \dot{V}_C \quad (7)$$

$$(r_d + j\omega l_d) \dot{I}_D = \dot{V}_B - \dot{V}_D \quad (8)$$

Burada r_c , r_d , l_c ve l_d hat parametreleri, \dot{I}_C paralel taraf dönüştürücünün akımı, \dot{V}_C paralel taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{V}_A A bağlantı noktası gerilimi, \dot{I}_D seri taraf dönüştürücünün akımını, \dot{V}_D seri taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{V}_B B bağlantı noktası gerilimidir.

UPFC çalışmasında kondansatör geriliminin sabit olması gerekmektedir. Kondansatör geriliminin sabit olmasını sağlayacak olan ifade denklem 9'da gösterilmiştir.

$$\text{Re}[\dot{V}_C \dot{I}_C^* - \dot{V}_D \dot{I}_D^*] = 0 \quad (9)$$

Burada, \dot{V}_C paralel taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{I}_C^* paralel taraf dönüştürücünün akımının eşleniği, \dot{V}_D seri taraf dönüştürücünün gerilimi, \dot{I}_D^* seri taraf dönüştürücü akımının eşleniğidir.

2.3. Türbin yöneticisi (TG) modelleri

TG, senkron generatörün ilk frekans ayarlayıcısıdır. Düşme oranına ve mekanik moment limitine göre generatörün çalışma güç oranını tespit etmektedir. Senkron generatörün çalışma adımını kontrol ederek her durum için sistem kontrolü sağlamaktadır. Türbin yöneticisinin iki modeli bulunmaktadır [18]. Bunlar TG model 1 ve TG model 2 olarak isimlendirilir.

TG model 1'de açılma hızının referans değeri ve açılma hızının gerçek değeri arasındaki fark 1/R oranında bir

kazanç ile çarpılmaktadır. Bu kısmın çıkışında elde edilen aktif güç harici bir aktif güç ile toplanarak giriş gücü elde edilmektedir. Elde edilen giriş gücün minimum ve maksimum değerleri ayarlanarak çeşitli transfer fonksiyonları yoluyla mekanik gücün elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu modelin matematiksel ifadesi denklem 10 ile denklem 15 arasında gösterilmiştir.

$$p_{in}^* = p_{order} + \frac{1}{R}(\omega_{ref} - \omega) \quad (10)$$

$$p_{in} = \begin{cases} p_{in}^* & \text{if } p^{\min} \leq p_{in}^* \leq p^{\max} \\ p^{\max} & \text{if } p_{in}^* > p^{\max} \\ p^{\min} & \text{if } p_{in}^* < p^{\min} \end{cases} \quad (11)$$

$$\dot{x}_{g1} = (p_{in} - x_{g1})/T_s \quad (12)$$

$$\dot{x}_{g2} = \left(\left(1 - \frac{T_3}{T_c} \right) x_{g1} - x_{g2} \right) / T_c \quad (13)$$

$$\dot{x}_{g3} = \left(\left(1 - \frac{T_4}{T_5} \right) \left(x_{g2} + \frac{T_3}{T_c} x_{g1} \right) - x_{g3} \right) / T_5 \quad (14)$$

$$p_m = x_{g3} + \frac{T_4}{T_5} \left(x_{g2} + \frac{T_3}{T_c} x_{g1} \right) \quad (15)$$

TG model 2'de açılma hızının gerçek değeri ve referans değeri arasındaki fark $1/R$ kazançlı ve bir transfer fonksiyon bloğuyla çarpımı ile başlangıç mekanik güç ile toplanmaktadır. Elde edilen referans mekanik güç ifadesinin minimum ve maksimum değerleri ayarlanarak yeni mekanik güç elde edilmektedir. TG model 2'nin matematiksel ifadesi denklem 16 ile denklem 18 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{x}_g = \left(\frac{1}{R} \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) (\omega_{ref} - \omega) - x_g \right) / T_2 \quad (16)$$

$$p_m^* = x_g + \frac{1}{R} \frac{T_1}{T_2} (\omega_{ref} - \omega) + p_m^0 \quad (17)$$

$$p_m = \begin{cases} p_m^* & p^{\min} \leq p_m^* \leq p^{\max} \\ p^{\max} & p_m^* > p^{\max} \\ p^{\min} & p_m^* < p^{\min} \end{cases} \quad (18)$$

Burada; ω_{ref} referans hız, p^{\max} maksimum türbin çıkışı, p^{\min} minimum türbin çıkışı, x_g , x_{g1} , x_{g2} , x_{g3} durum değişkeni dizinleri, p_m cebirsel değişken dizini, T_s yönetici zaman sabiti, T_c servo zaman sabiti, T_1 geçici kazanç zaman sabiti, T_2 yönetici zaman sabiti, T_3

geçici kazanç zaman sabiti, T_4 güç oranı zaman sabiti, T_5 reheat zaman sabiti, u bağlantı durumu (0,1) 'dir.

2.4. Otomatik gerilim regülatörü (AVR) modelleri

AVR, senkron generatörü referans geriliminde tutmaktadır. Bir gerilim sensörü yardımıyla çıkışını güncelleyerek referans gerilim ile karşılaştırır ve gerilimi değiştirmek için hata sinyalini kullanır. Senkron generatörde 3 tip AVR modeli kullanılmaktadır.

AVR model 1'de ölçülen gerilim ve referans gerilim değerleri farkları da alınarak bir transfer fonksiyona girmektedir. Transfer modelinin çıkışında rotor referans gerilimi elde edilmektedir. Rotor referans geriliminin minimum ve maksimum değeri ayarlandıktan sonra doyum oranı arasındaki fark alınarak uyarım gerilimi elde edilmektedir. AVR model 1'in matematiksel ifadesi denklem 19 ile denklem 23 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{v}_m = \frac{V - v_m}{T_r} \quad (19)$$

$$\dot{v}_{r1} = \frac{1}{T_1} \left[\mu_0 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) (v_{ref} - v_m) - v_{r1} \right] \quad (20)$$

$$\dot{v}_{r2} = \frac{1}{T_4} \left[\left(1 - \frac{T_3}{T_4} \right) (v_{r1} + \mu_0 \frac{T_2}{T_1} (v_{ref} - v_m)) - v_{r2} \right] \quad (21)$$

$$v_r^* = v_{r2} + \frac{T_3}{T_4} \left[v_{r1} + \mu_0 \frac{T_2}{T_1} (v_{ref} - v_m) - v_{r1} \right] \quad (22)$$

$$\dot{v}_f = -\frac{1}{T_c} \left[v_f (1 + S_e(v_f)) - v_r \right] \quad (23)$$

AVR model 2'de referans gerilim ve ölçülen gerilim değeri arasındaki fark ile uyarım gerilimi arasındaki fark bir kontrol bloğuna girmektedir. Bu kontrol bloğunun minimum ve maksimum değerleri ayarlanarak rotor gerilimi elde edilmektedir. Elde edilen rotor gerilimi ve doyum oranı arasındaki fark elektriksel transfer fonksiyon bloğu ile çarpılarak uyarım gerilimi elde edilmektedir. AVR model 2'nin matematiksel ifadesi denklem 24 ile denklem 27 arasında gösterilmiştir.

$$\frac{dv_{r1}}{dt} = \frac{1}{T_a} \left[Ka \left(v_{ref} - v_m - v_{r2} - \frac{Kf}{Tf} v_f \right) - v_{r1} \right] \quad (24)$$

$$\frac{dv_m}{dt} = \frac{V - v_m}{T_r} \quad (25)$$

$$\frac{dv_f}{dt} = -\frac{1}{T_e} \left[v_f (1 + S_e(v_f)) - v_r \right] \quad (26)$$

$$\frac{dv_{r2}}{dt} = -\frac{1}{T_f} \left(\frac{K_f}{T_f} v_f + v_{r2} \right) \quad (27)$$

Burada model 1'den farklı olarak; K_a , yükseltici kazancı; K_f , dengeleyici kazancı; T_f , dengeleyici zaman sabitidir.

AVR model 3 diğer modellere nazaran daha basit yapıdır. Güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS) giriş sinyali ifadesi transfer fonksiyon bloklarına girerek gerilimin minimum ve maksimum değerlerinin ayarlanması ile kaynak gerilimi elde edilmektedir. Bu modelin matematiksel ifadesi denklem 28 ile denklem 30 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{v}_m = \frac{V - v_m}{T_r} \quad (28)$$

$$\dot{v}_r = \frac{1}{T_2} \left[\mu_0 \left(1 - \frac{T_1}{T_2} (v_{ref} - v_m) - v_r \right) \right] \quad (29)$$

$$\dot{v}_f = \frac{1}{T_e} \left[\left(v_r + \mu_0 \frac{T_1}{T_2} (v_{ref} - v_m) + v_{f0} \right) \frac{V}{V_0} - v_f \right] \quad (30)$$

Burada; v_{ref} , AVR'nin referans gerilimi; v_m , ölçüm devresi çıkışı; v_r , AVR, ve v_f geri besleme gerilimi; μ_0 , regülatör kazancı; T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 , AVR zaman sabitleri; T_e alan devresi sabiti; T_r , ölçüm süresi sabiti; $v_{r,min}$, v_r 'nin alt limiti; $v_{r,max}$, v_r 'nin üst limiti; v_{r1} yükseltici durum değişkeni; v_{r2} dengeleyici durum değişkenidir. S_e , uyarıcının doyumluk fonksiyonudur [17]. diğer modellerden farklı olarak; v_f alan gerilimi; v_{f0} alan offset gerilimi; V_0 ise bara offset gerilimidir.

2.5. Güç sistemleri kararlı kılıcısı (PSS) modelleri

PSS, senkron generatörde kullanılan diğer bir kontrol mekanizmasıdır. PSS modelin kullanılmasında ki asıl amaç geçici durumlar esnasında meydana gelen güç sistemi salınımlarını sönmüleyip, kısa zaman içerisinde sistemi kararlı hale getirmektir [19]. PSS modeli olarak 3 tip kullanılmaktadır.

PSS model 1'de; açısal hız, giriş gücü ve generatör gerilimleri toplanarak iki transfer fonksiyon bloğuna girmektedir. 2. transfer fonksiyon bloğunda gerilimin minimum ve maksimum değerleri ayarlandıktan sonra referans gerilim ifadesi ile toplanarak çıkış elde edilmektedir. PSS model 1'in matematiksel ifadeleri denklem 31 ve denklem 32'de gösterilmiştir.

$$\dot{v}_1 = -\left(K_\omega \omega + K_p P_g + K_v V_g + v_1 \right) / T_\omega \quad (31)$$

$$\dot{v}_s = \left(K_\omega \omega + K_p P_g + K_v V_g + v_1 + v_s \right) / T_e \quad (32)$$

PSS model 2'de 4 transfer fonksiyon bloğunun sonunda gerilim ifadesinin minimum ve maksimum değerleri ayarlanarak senkron generatördeki kaynak gerilimi elde edilmektedir. Bu modelin matematiksel ifadesi denklem 33 ile denklem 36 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{v}_1 = -\frac{K_\omega V_{Sl} + v_1}{T_\omega} \quad (33)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{T_2} \left[\left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) (K_\omega V_{Sl} + v_1) - v_2 \right] \quad (34)$$

$$\dot{v}_3 = \frac{1}{T_4} \left\{ \left(1 - \frac{T_3}{T_4} \right) \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K_\omega V_{Sl} + v_1) \right] - v_3 \right\} \quad (35)$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{T_e} \left\{ v_3 + \frac{T_3}{T_4} \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K_\omega V_{Sl} + v_1) \right] - v_s \right\} \quad (36)$$

PSS model 3'de güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS) giriş sinyalinin 3 transfer fonksiyon bloğundan geçmesiyle senkron generatör kaynak gerilimi elde edilmektedir. 3. Transfer fonksiyon bloğunda gerilimin minimum ve maksimum değer aralığı ayarlanmaktadır. Bu modele ait matematiksel ifade denklem 37 ile denklem 40 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{v}_1 = -\frac{K_\omega V_{Sl} + v_1}{T_\omega} \quad (37)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{T_4} v_3 + \frac{1}{T_4} \left(T_1 - T_2 \frac{T_3}{T_4} \right) (K_\omega V_{Sl} + v_1) \quad (38)$$

$$\dot{v}_3 = -v_2 - \frac{T_2}{T_4} v_3 + \left[1 - \frac{T_3}{T_4} - \frac{T_2}{T_4} \left(T_1 - T_2 \frac{T_3}{T_4} \right) \right] (K_\omega V_{Sl} + v_1) \quad (39)$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{T_e} \left[v_2 + \frac{T_3}{T_4} (K_\omega V_{Sl} + v_1) - v_s \right] \quad (40)$$

Burada; v_1 , v_2 ve v_3 durum değişkeni ifadeleri, v_s PSS çıkış sinyali, P_g PSS bağlı durumda senkron generatörün aktif gücü, V_g PSS bağlı durumda senkron generatör gerilimi, K_p aktif güç kazancı, K_ω PSS kazancı, K_v gerilim kazancı, T_ω arındırma zaman sabiti, T_1 birinci PSS zaman sabiti, T_2 ikinci PSS zaman sabiti, T_3 üçüncü PSS zaman sabiti, T_4 dördüncü PSS zaman sabiti, T_e anti-windup zaman sabitidir.

3. Küçük Sinyal Kararlılığı

Güç sistemlerinde kararlılık, bir güç sisteminin belirli bir çalışma koşulunda fiziksel bozulmaya maruz kalması ile birlikte çalışma dengesini sürdürme yeteneği olarak tanımlanırken küçük sinyal kararlılığı ise, güç sistemindeki küçük yük değişimleri ile birlikte generatörlerin senkronizmasını koruma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Sistemde meydana gelen kararsızlık durumları artan genlikte rotor salınımlarına sebep olmaktadır [19]. Küçük sinyal kararlılığı elektromanyetik salınım modları ve özdeğer analizi altında sınıflandırılmaktadır.

Elektromanyetik salınım modları açısından küçük sinyal kararlılığı oldukça önemlidir. Elektromanyetik salınım modları, yerel alan salınım modları ve bölgeler arası salınım modları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yerel alan salınım modları, bir üretim tesisinde tek bir generatörle veya çok yakından bağlantılı olan ünite grubuyla ilişkilidir ve normalde 0.7 ile 2.0 Hz aralığındaki frekanslara sahiptir. Bölgeler arası salınım modları ise uzaktan bağlantılı olan generatör grupları ile ilişkilidir ve normalde 0.1 ile 1.0 Hz aralığındaki frekanslara sahiptir [20].

Küçük sinyal kararlılığına ulaşabilmek için bahsedilen modları sönmölemek gerekmektedir. Bu noktada AVR, PSS ve TG gibi kontrol cihazlarının sisteme entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu entegrasyon özdeğer analizi yardımıyla değerlendirilmektedir. Dinamik bir sistem davranışı denklem 41'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, z, u) \\ 0 &= g(x, z, u) \end{aligned} \quad (41)$$

Burada $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ durum değişkenleri vektörü; n , sistemin sırası; z , cebirsel çıktı değişkenlerinin (yani; V, θ) vektörü ve u cebirsel girdi değişkenlerinin vektörüdür. Denklem 16'nın doğrusallaştırılması güç sistemini incelemek için oldukça önemli bir adım olmaktadır. Bu yüzden diferansiyel denklemler bir

durum uzayı biçiminde ifade edilmektedir. Elde edilen doğrusal sistem ifadeleri denklem 42'de gösterilmiştir.

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta z \\ 0 = C \Delta x + D \Delta z \end{cases} \quad (42)$$

Burada; A , durum matrisi; B , girdi matrisi; C , çıktı matrisi ve D , katsayı matrisi olarak tanımlanmaktadır. Denklem 17'de kullanılan Δx ve Δz ifadeleri denklem 43'de gösterilmiştir.

$$\begin{cases} \Delta x = [\Delta \delta \quad \Delta \omega \quad \Delta e]^T \\ \Delta z = [\Delta \theta_1 \quad \Delta \theta_2 \quad \Delta \theta_3 \quad \Delta V_1 \quad \Delta V_2 \quad \Delta V_3]^T \end{cases} \quad (43)$$

Burada; $\Delta \delta$, rotor açısal konumu vektörü; $\Delta \omega$, rotor hızındaki değişim vektörü; Δe , diğer durum değişkenlerinin vektörü; $\Delta \theta_1$, $\Delta \theta_2$ ve $\Delta \theta_3$ senkron generatörlerin gerilim fazı değişim vektörleri; ΔV_1 , ΔV_2 ve ΔV_3 ise gerilim genliklerinin değişim vektörleridir.

Denklem 17'de doğrusallaştırılmış durum denklemi ifadeleri denklem 18'deki gibi hesaplanmaktadır. Son olarak denklem 44 çözülerek özdeğer λ_i elde edilir.

$$\det(A - \lambda_i I) = 0 \quad (44)$$

Burada; λ_i özdeğer ifadesi I ise birim matristir. σ_i özdeğer ifadesinin gerçek bileşeni ve ω_i sanal bileşeni olmak üzere; sönmöleme oranı (ζ_i) ve salınım frekansı (f_i) ifadeleri denklem 45 ile denklem 47 arasında gösterilmiştir.

$$\lambda_i = \sigma_i \pm j\omega_i \quad (45)$$

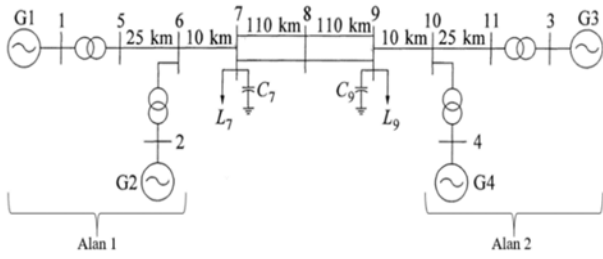
$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (46)$$

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (47)$$

Özdeğerlerin gerçek (reel) bileşeni salınımların sönmölenme durumunu, sanal (imajiner) bileşeni ise salınım frekansını ifade etmektedir.

4. Benzetim Çalışması

Bu çalışma; Güç Sistemi Analizi Programı (PSAT) kullanılarak, şekil 2'de gösterilen Kundur'un 4 makinalı, 2 alanlı test sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir [21].



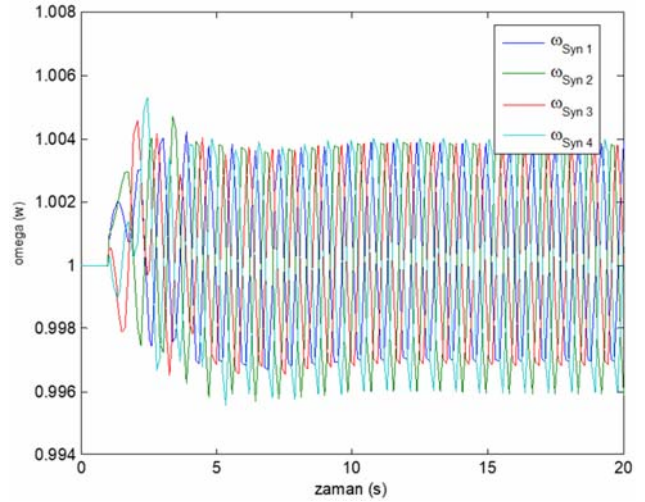
Şekil 2. 4 makinalı 2 alanlı test sistemi

Test sisteminde G1, G2, G3 ve G4 olmak üzere 6 numaralı derece modelinde çalışan toplam 4 senkron generatör vardır. G1 ve G2 senkron generatörlerinin bulunduğu kısım test sisteminin 1. alanını, G3 ve G4 senkron generatörlerinin bulunduğu kısım ise test sisteminin 2. alanını oluşturmaktadır. Senkron generatörlere AVR, TG ve PSS bağlı durumdadır. Bu test sisteminde toplam 11 bara bulunmaktadır. 3 numaralı bara hem salınım hem de generatör barasıdır. Geriye kalan 7 bara ise yük barasıdır. 7 ve 9 numaralı baralarda ZIP yük modeli de kullanılmıştır. 1-5, 2-6, 3-11, 4-10 numaralı iletim hatlarının arasında gerilim yükselten transformatörler kullanılmıştır. 8-9 numaralı iletim hatları arasında hat kopması oluşturmak amacıyla bir kesici bağlı durumda ve 8 numaralı barada ise üç faz hatası oluşturulmuş durumdadır. 7-8 numaralı iletim hattı arasında POD bulunurken, 8-9 numaralı iletim hatları arasında ise UPFC bulunmaktadır.

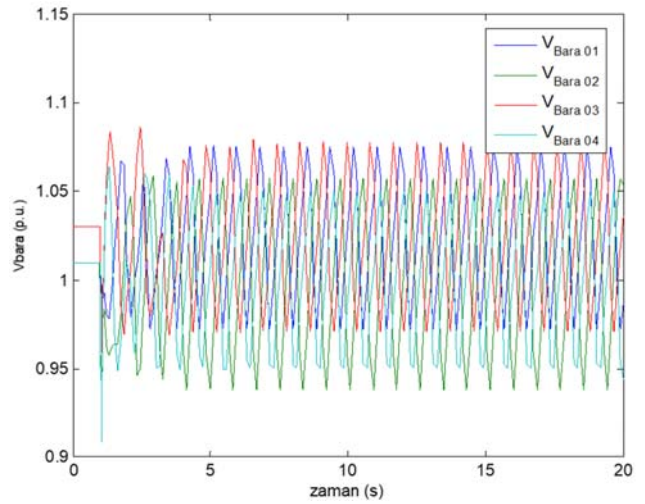
Bu çalışmada Kundur 4 makinalı, 2 alanlı test sistemi kullanılarak, AVR model 1'de, TG model 2'de çalışıyor olması durumunda farklı PSS modellerinin UPFC-POD ile birlikte kullanılma durumu incelenerek, açısal hız, gerilim, aktif ve reaktif güç karşılaştırmaları yapılmış olup, özdeğer analizi yardımıyla küçük sinyal kararlılığı açısından yorumlanmıştır.

4.1. Benzetim çalışması sonuçları

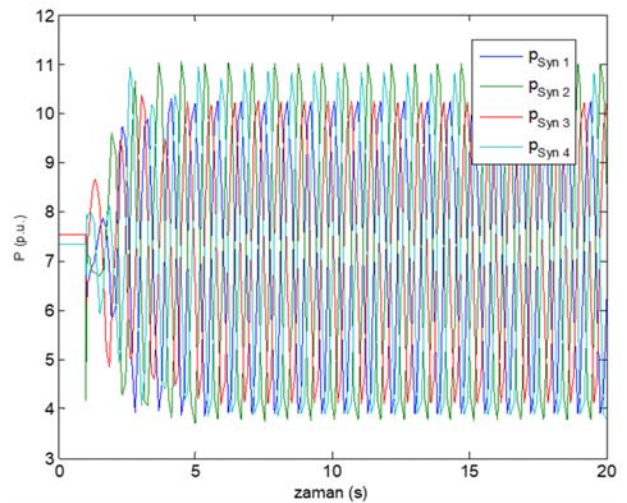
İlk olarak PSS model 1 kullanılmış ve senkron generatör açısal hızları Şekil 3'de, senkron generatör bara gerilimleri Şekil 4'de, senkron generatör aktif güçleri Şekil 5'de, senkron generatör reaktif güçleri Şekil 6'da ve özdeğerler grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



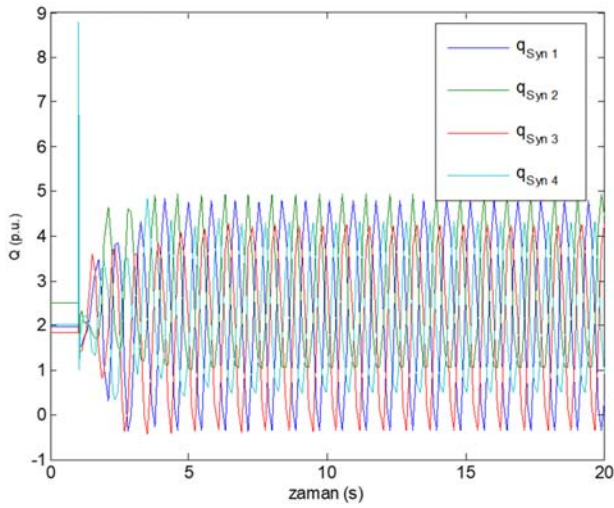
Şekil 3. PSS model 1- Senkron generatör açısal hızları



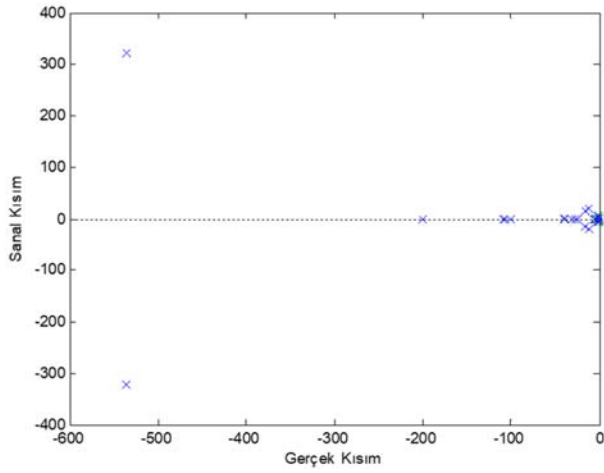
Şekil 4. PSS model 1- Senkron generatör bara gerilimleri



Şekil 5. PSS model 1- Senkron generatör aktif güçleri

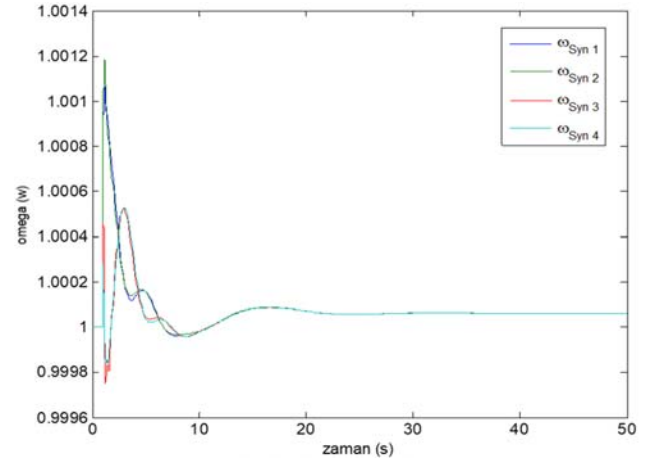


Şekil 6. PSS model 1- Senkron generatör reaktif güçleri

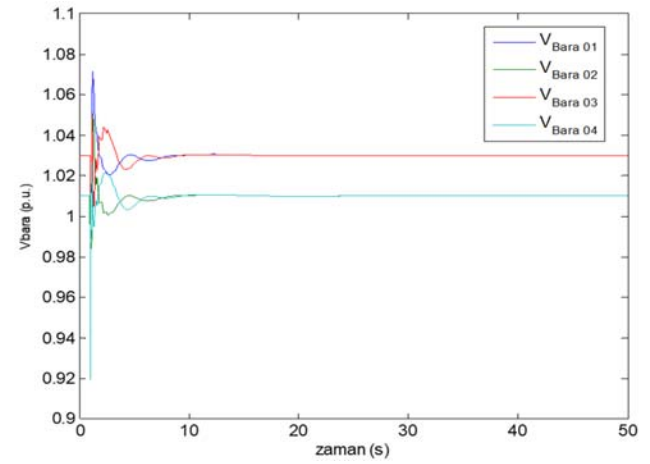


Şekil 7. PSS model 1- Özdeğer grafiği

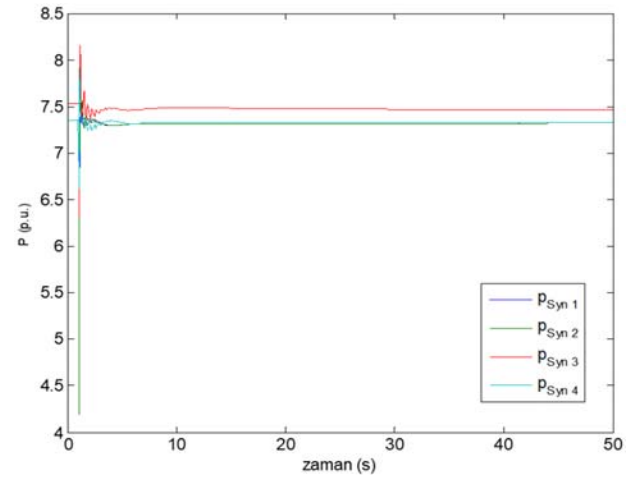
PSS model 1'in AVR ve TG ile birlikte kullanılması durumunda; açısal hız, gerilim, aktif ve reaktif güç değerlerinde salınımların arttığı ve sistemin kararsız olduğu görülmektedir. Şekil 6'da verilen özdeğer grafiğinde kararlılığının 0 ile -200 gerçek kısım üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer analizde AVR, TG ve PSS model 2'nin kullanılması ile geçici kararlılık analizi incelenmiştir. Senkron generator açısal hız değerleri şekil 8'de, senkron generatör bara gerilimleri şekil 9'da, senkron generatör aktif güçleri şekil 10'da, senkron generatör reaktif güçleri şekil 11'de ve özdeğerler grafiği şekil 12'de gösterilmiştir.



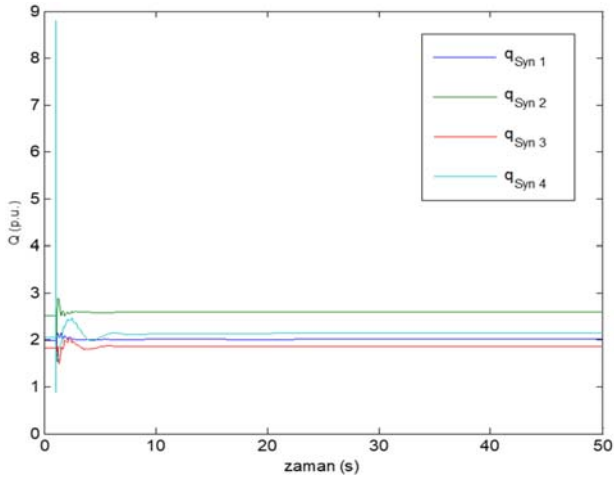
Şekil 8. PSS model 2- Senkron generatör açısal hızları



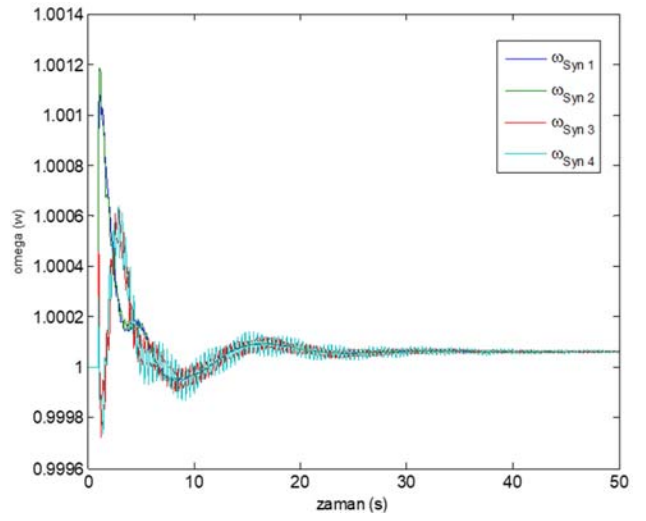
Şekil 9. PSS model 2- Senkron generatör bara gerilimleri



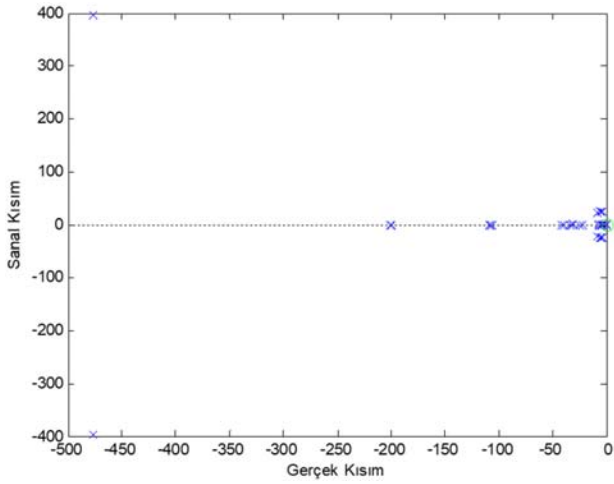
Şekil 10. PSS model 2- Senkron generatör aktif güçleri



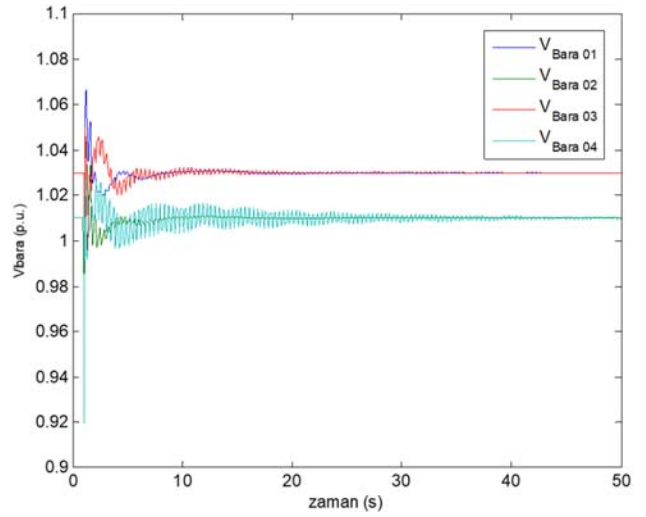
Şekil 11. PSS model 2- Senkron generatör reaktif güçleri



Şekil 13. PSS model 3- Senkron generatör açısal hızları

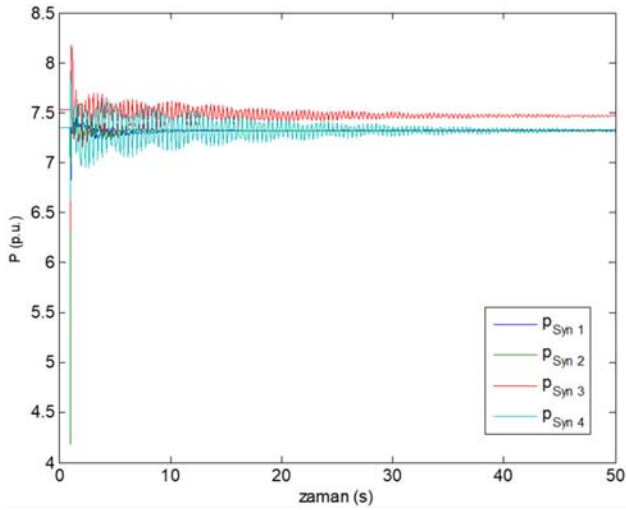


Şekil 12. PSS model 2- Özdeğer grafiği

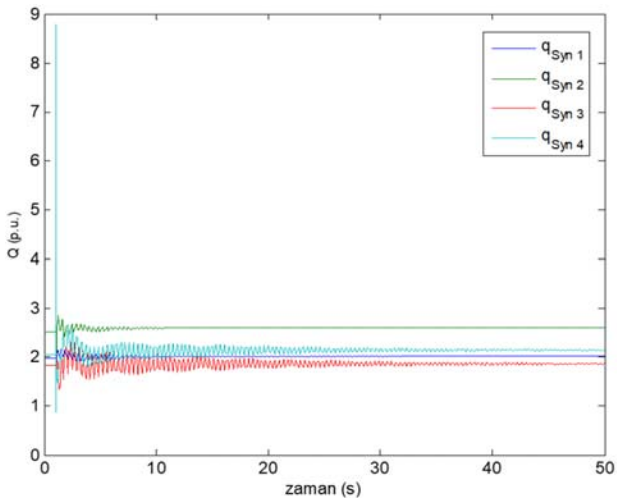


Şekil 14. PSS model 3- Senkron generatör bara gerilimleri

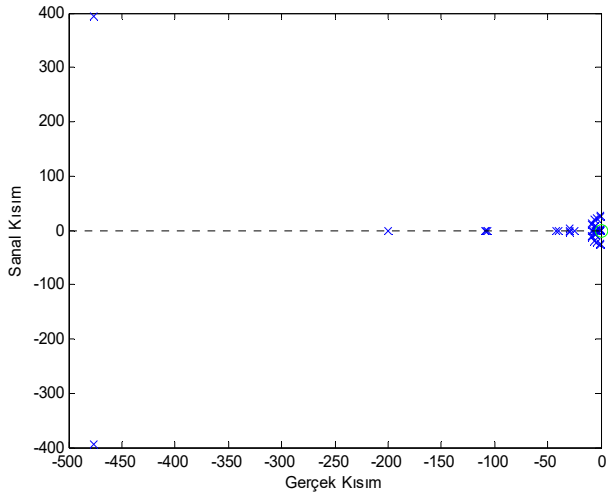
AVR, TG ve PSS model 2'nin birlikte kullanılması durumunda senkron generatör açısal hız değişimleri, senkron generatörün bağlı olduğu bara gerilimleri, senkron generatör aktif ve reaktif güç değişimlerinin kısa zaman içerisinde kararlı hale geldiği görülmüştür. Dahası geçici kararlılık sonucu meydana gelen salınımların da sönümlendiği görülmüştür. Şekil 15'de elde edilen özdeğer şeklinde parametrelerin çok büyük bir kısmının sol tarafta toplandığı sağ tarafta herhangi bir parametrenin kalmadığı tespit edilmiştir. Son olarak AVR, TG ve PSS model 3'ün geçici kararlılık analizi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar şekil 13 ile 16 arasında gösterilmiştir. Özdeğerler grafiği ise Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 15. PSS model 3- Senkron generatör aktif güçleri



Şekil 16. PSS model 3- Senkron generatör reaktif güçleri



Şekil 17. PSS model 3- Özdeğer grafiği

AVR, TG ve PSS model 3'ün birlikte kullanıldığı durumda senkron generatör açılma hızı, senkron generatörün bağlı olduğu bara gerilimleri, senkron generatör aktif ve reaktif güç değişimlerinde salınımların azaldığı sistemin belirli bir süre kararlı hale geldiği görülmüştür. PSS model 3'de salınımların sönümlenmesi zaman almaktadır. Şekil 17'de verilen özdeğer analizinde ise sistem parametrelerinin belirli bir oranda sol tarafta olduğu görülürken, diğer parametrelerin 0 noktasında ve sağ tarafta kaldığı görülmüştür.

PSS 1, 2 ve 3 numaralı çalışma modeli kullanıldığı durumda elde edilen özdeğer sonuçları sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. PSS model 1'in kullanıldığı durum

No	λ	ξ (%)	f	Salınım Modları
1	-2.0039±j6.4784	29.55	1.0311	Yerel alan
2	-1.3168±j6.5725	19.64	1.0460	Yerel alan
3	-3.6173±j0.6393	98.47	0.1018	Bölgeler arası
4	-0.2625±j0.6107	39.49	0.1000	Bölgeler arası
5	-0.3388±j3.5477	09.51	0.5646	Bölgeler arası

Tablo 2. PSS model 2'nin kullanıldığı durum

No	λ	ξ (%)	f	Salınım Modları
1	-7.8582±j2.0070	96.89	0.3194	Bölgeler arası
2	-7.9725±j1.9122	97.24	0.3043	Bölgeler arası
3	-3.7460±j0.6364	98.59	0.1013	Bölgeler arası
4	-0.5928±j1.6417	33.96	0.2613	Bölgeler arası
5	-0.9960±j1.5126	55.00	0.2407	Bölgeler arası

Tablo 3. PSS model 3'ün kullanıldığı durum

No	λ	ξ (%)	f	Salınım Modları
1	-5.1995±j7.9678	54.65	1.2681	Yerel alan
2	-5.1526±j8.0946	53.70	1.2883	Yerel alan
3	-3.7001±j0.6570	98.46	0.1046	Bölgeler arası
4	-0.6067±j1.6454	34.59	0.2619	Bölgeler arası
5	-1.0094±j1.4969	55.91	0.2382	Bölgeler arası

Özdeğer tablosunda sadece senkron generatörlerin baskın olduğu durumlar gösterilmiştir. Tüm özdeğerler kompleks sayı olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bu özdeğerlerin salınımlı modlar ile ilişkili olduğu söylenilebilir. Kompleks özdeğerlerde gerçeğe bileşen sönümlenmeyi, sanal bileşen ise salınımların sıklığını göstermektedir. Bu çalışmada salınım sıklığının en fazla olduğu model PSS model 1, en az olduğu model ise PSS model 2 olarak belirlenmiştir. PSS modelleri içerisinde küçük sinyal kararlılığı açısından en iyi sonucun PSS model 2'ye, en kötü sonucun ise PSS model 1'e ait olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Küçük sinyal kararlılığında kullanılan denetleyici modellerinin en uygun olanını seçmek sistem kararlılığının zamanı ve salınımı açısından çok önemli olmaktadır. Bu çalışmada, yeterli sönümlemeyi sağlamak için UPFC-POD ile PSS, AVR ve TG'nin en uygun kontrol modellerinin seçimleri yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Dahası uygun PSS, AVR ve TG modellerin kullanılması ile küçük sinyal kararlılığı analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için benzetim çalışmasında AVR ve TG modellerin literatürde en uygun olarak belirtilenleri (AVR model 1 ve TG model 2) kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda PSS model 2'nin tercih edilmesi ile küçük sinyal kararlılığı açısından en iyi sonuçlar bulunurken, PSS model 1'in tercih edilmesinde en kötü sonuçlar elde edilmiştir. PSS model 2'nin kullanılması ile açısız hız, gerilim, aktif ve reaktif güç değerlerinin kısa zaman içerisinde kararlı hale geldiği görülmüştür. Bu çalışma ile farklı test sistemlerinde PSS, AVR ve TG modellerinin UPFC-POD ile birlikte kullanılmasının yanı sıra şebeke bağlantılı rüzgar türbinlerinin sisteme ilave edilmesi, farklı mod karşılaştırmaları ve küçük sinyal kararlılığı analizlerinin incelenmesine zemin hazırlamıştır.

Kaynaklar

- [1] Ayres HM, Kopcak I, Castro MS, Milano F, Da Costa VF. A didactic procedure for designing power oscillation dampers of FACTS devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6), 896-909, 2010.
- [2] Martins LFB, Araujo PB, Fortes EV, Miotto E., Gamino BR. Design of the PSSs, PI-UPFC and PI-UPFC-POD controllers using the Firefly Algorithm *The 12th Latin American Congress on Electricity Generation and Transmission*, Mar del Plata, Argentina, 12-15 Kasım 2017.
- [3] Dhurvey SN, Chandrakar VK. Optimized POD in coordination with UPFC for damping of power system oscillations. *43rd International Universities Power Engineering Conference*, Padova, Italy, 1-4 Eylül 2008.
- [4] Pandey RK, Singh NK. UPFC control parameter identification for effective power oscillation damping. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 31(6), 269-276, 2009.
- [5] Furini MA, Pereira ALS, Araujo PB. Pole placement by coordinated tuning of Power System Stabilizers and FACTS-POD stabilizers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(3), 615-622, 2011.
- [6] Magaji N, Mustafa MW. Relative gain array Interaction Analysis of UPFC Device for damping Oscillations. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2(5), 124-132, 2011.
- [7] Makkar CR, Dewan L. Simultaneous coordination of Power System Stabilizer and UPFC for improving dynamic stability of multimachine system. *IEEE 6th India International Conference on Power Electronics*, Kurukshetra, India, 8-10 Kasım 2014.
- [8] Hussain AN, Malek F, Rashid MA, Mohamed L, Mohd Affendi NA. Optimal coordinated design of multiple damping controllers based on PSS and UPFC device to improve dynamic stability in the power system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1-15, 2013.
- [9] Sadikovic R. *Use of FACTS devices for power flow control and damping of oscillations in power systems*. Doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2006.
- [10] Dudgeon GJ, Leithead WE, Dysko A, o'Reilly J, McDonald JR. The effective role of AVR and PSS in power systems: Frequency response analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), 1986-1994, 2007.
- [11] Dysko A, Leithead WE, O'Reilly J. Enhanced power system stability by coordinated PSS design. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 413-422, 2009.
- [12] Ramos RA. Stability analysis of power systems considering AVR and PSS output limiters. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 31(4), 153-159, 2009.
- [13] Demirbaş M, Döşoğlu MK. Çok makinalı güç sistemlerinde farklı AVR modelleri, POD, UPFC ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. *Al-Farabi International Congress on Applied Sciences*, Nahçıvan Azerbaycan, 2-4 Mayıs 2021
- [14] Demirbaş M, Döşoğlu MK. Güç sistemlerinde farklı TG modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. *II. International Hazar Scientific Researches Conference*, Bakü Azerbaycan, 10-11 Nisan 2021
- [15] Ayres HM, Kopcak I, Castro MS, Milano F, Da Costa VF. A didactic procedure for designing power oscillation dampers of FACTS devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6), 896-909, 2010.
- [16] Castro MS, Ayres MS, Da Costa VF, Da Silva LCP. Impacts of the SSSC control modes on small-signal and transient stability of a power system. *Electric Power Systems Research*, 77(1), 1-9, 2007.
- [17] He P, Arefifar SA, Li C, Wen F, Ji Y, Tao Y. Enhancing oscillation damping in an interconnected power system with integrated

- wind farms using unified power flow controller. *Energies*, 12(2), 322, 2019.
- [18] Milano F. Documentation for PSAT Version 1.3.4. <https://dokumen.tips/documents/psat-134.html> (Erişim tarihi: 23.12.2021)
- [19] Essallah S, Bouallegue A, Khedher A. Integration of automatic voltage regulator and power system stabilizer: small-signal stability in DFIG-based wind farms. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(5), 1115-1128, 2019.
- [20] Noroozian N, Andersson G. Damping of inter-area and local modes by use of controllable components. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(4), 2007-2012, 1995.
- [21] Kundur PS. Power System stability and control. McGraw-Hill, New York, 1994.



Araştırma Makalesi/Research Article

Monel K-500 Alaşımının Isı Destekli İşlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma

Mahir Akgün^{ID*1}

¹Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Monel K-500
Isı destekli işleme
Kesme kuvveti
Sonlu elemanlar analizi

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 26.01.2022
Kabul Tarihi: 18.04.2022

Öz: Bu çalışma, sonlu elemanlar analizi aracılığı ile Monel K-500 alaşımının sıcak işlenmesinde kesme kuvveti ve talaş oluşum sürecinin incelenmesini sunmaktadır. Sonlu elemanlar analizi için ThirdWave AdvantEdge yazılımı kullanılmıştır. Sayısal analizler için 300 m/dak kesme hızı (Vc), 0,1 mm/dev ilerleme miktarı (f) ve 1 mm talaş derinliği (a) kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Sıcak işlemin etkisini belirleyebilmek için simülasyonlar oda sıcaklığı (24°C) ve dört farklı ısıtma sıcaklığında (150°C, 300°C, 450°C ve 600°C) gerçekleştirilmiştir. Nümerik analiz sonuçlarına göre oda sıcaklığı koşullarına kıyasla sıcak işleme koşullarında kesme kuvvetlerinin azaldığı ve oda sıcaklığı koşullarında talaş dilimli talaş şeklinde oluşur iken sıcak işleme koşullarında ise sürekli talaş şeklinde oluştuğu görülmüştür. En düşük kesme kuvveti değeri 600°C sıcak işleme şartında gerçekleştirilen sayısal analizlerde 315 N olarak ölçülmüştür. Dahası, kuru kesme şartına göre bu ısıtma sıcaklığında kesme kuvvetinin yaklaşık %34,14 azaldığı tespit edilmiştir.

Atıf için/To Cite:

Akgün M. Monel K-500 Alaşımının Isı Destekli İşlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma. Ululararasi Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 23-29, 2022.

A Numerical Study on Heat-Assisted Machining of Monel K-500 Alloy

Keywords

Monel K-500
Heat-Assisted Machining
Cutting force
Finite element analysis

Article history:

Received: 26.01.2022
Accepted: 18.04.2022

Abstract: This study presents the investigation of the cutting force and chip formation process in hot machining of Monel K-500 alloy via finite element analysis. ThirdWave AdvantEdge software has been utilized for finite element analysis. For numerical analysis, cutting speed of 300 m/min, feed rate of 0.1 mm/rev, and 1 mm depth of cut have been selected as cutting parameters. Cutting simulations have been performed at room temperature (24°C) and four different heating temperatures (150°C, 300°C, 450°C, and 600°C) to determine the effect of hot processing. According to the results of the numerical analysis, it was observed that the cutting forces decreased in hot machining conditions compared to room temperature conditions, and the chip formed in the form of segmented chips in room temperature conditions, while it was formed as continuous type chips in hot machining conditions. The lowest cutting force value was measured as 315 N in numerical analyzes performed at 300 m/min cutting speed, 0.1 mm/rev feed rate, 1 mm depth of cut, and 600°C hot machining conditions. Moreover, it was determined that the cutting force decreased by approximately 34.14% at this heating temperature compared to the dry cutting condition.

1. Giriş

Sıcak işleme ya da ısı destekli işleme kesilmesi zor metallerin ve alaşımların işlenmesinde kullanılan çevre dostu bir tekniktir. Sıcak işlemedeki temel prensip bir ısı kaynağı kullanılarak iş parçası malzemesinin kesme mukavemetini azaltmaktır [1]. Buna bağlı olarak, bileşen kuvvetlerini azaltarak daha uzun takım

ömrünün elde edilmesi ve yüzey kalitesinin iyileşmesi amaçlanmaktadır.

Sıcak işlemede; plazma ısı desteği, lazerle ısı desteği, indüksiyon ve alevle ısıtma gibi farklı ısıtma teknikleri kullanılmaktadır [2-5]. Her yöntemin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Sıcak işleme teknikleri genellikle tornalama ve frezeleme işlemlerinde kullanılmaktadır [6]. Tüm yöntemler

* ilgili yazar/Corresponding author: mahirakgun@aksaray.edu.tr

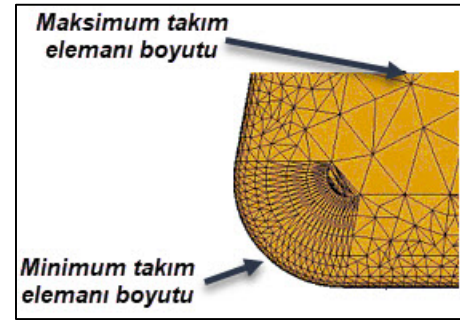
arasında alevle ısıtma, basit tasarımı ve düşük maliyeti ile lazer ısıtma ise hem kesme hem de işleme için uygunluğu ile dikkat çekmektedir. Örneğin, alev ısıtma kullanılarak Inconel 625 alaşımının 30°C, 300°C ve 600°C'de sıcak işlendiği bir çalışmada, en yüksek takım ömrünün 600°C'de elde edildiği görülmektedir [7]. Başka bir çalışmada ise minimum miktarda yağlama şartlarında Ti6Al4V alaşımının lazer destekli işlenmesinde, geleneksel işlemeye göre takım aşınmasının %49,1 yüzey pürüzlülüğünün ise %33,7 azaldığı vurgulanmıştır [8]. Buna ek olarak, farklı bir çalışmada da Inconel 718 alaşımının lazer destekli işlenmesinde geleneksel işleme ile karşılaştırıldığında kesme kuvvetlerinin yaklaşık olarak %37,3 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [9].

Son yıllarda, talaşlı imalat, haddeleme, dövme ve ekstrüzyon gibi plastik şekillendirme uygulamalarında sonlu elemanlar analizi kullanımının arttığı görülmektedir. Özellikle, talaş imalat alanında kesilmesi zor malzemelerin işleme prosesinin sayısal modellemesi ve analizi üzerine yoğunlaşılması dikkat çekmektedir. Stres, gerinim, kesme sıcaklığı, talaş morfolojisi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirliğe konu olan önemli hususlar sonlu elemanlar analizi aracılığıyla deney seti oluşturmadan değerlendirile bilinmektedir. Ayrıca, sıcak işleme, kriyojenik işleme ve ultrasonik işleme gibi yeni yöntemlerin simülasyonu da yapılabilmektedir. Bu yeni kesme yöntemlerinin mekaniğini anlamak için sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan literatürde birçok çalışma vardır [10-13]. Örneğin, Parida ve Maity Inconel 718 alaşımının sıcak işlenmesinde talaş oluşumunu Deform 3D programını kullanarak incelemişlerdir [14]. Rotella ve Umbrello AA7075-T651 alaşımının kuru ve kriyojenik işlenmesinde kesme kuvvetlerinin ve yüzey modifikasyonunun simülasyonu üzerine çalışmışlardır [15]. Amini ve arkadaşları, MSC-Marc yazılımında Inconel 718 alaşımının ultrasonik destekli tormalanmasında takım titreşimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [16]. Parida ve Maity Ti-5553 alaşımının sıcak işlenmesinde kesme kuvvetlerini, takım aşınmasını, kesme sıcaklığı bakımından işlenebilirliğini deneysel ve nümerik olarak araştırmışlardır [17]. Kaynak ve arkadaşları, Ti-5553 alaşımının kriyojenik, minimum miktarda yağlama (MQL), ve yüksek basınçlı kesme şartlarında ortogonal kesiminde talaş oluşumunu deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir [18]. Yalçın ve arkadaşları, farklı kesme şartlarında sertleştirilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin sert tormalanmasında kesici takımda meydana gelen stresleri deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir [19]. Özlü ve Uğur, ThirdWave AdvantEdge yazılımında Ti6Al4V alaşımının farklı kesme şartlarında tormalanmasında oluşan kesme kuvvetinin optimizasyonuna çalışmışlardır [20].

Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında mühendislik malzemelerinin işlenmesinde inovatif yöntemlerin deneysel ve sayısal olarak uygulanması üzerine birçok çalışmanın olduğu görülmektedir. Ancak, nikel esaslı bir süper alaşım olan Monel K-500 alaşımının sıcak işlenmesi üzerine çalışmaların çok az olduğu görülmüştür. Sunulan çalışmada kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve talaş oluşumu bakımından Monel K-500 alaşımının sıcak işlenebilirliğinin sayısal olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

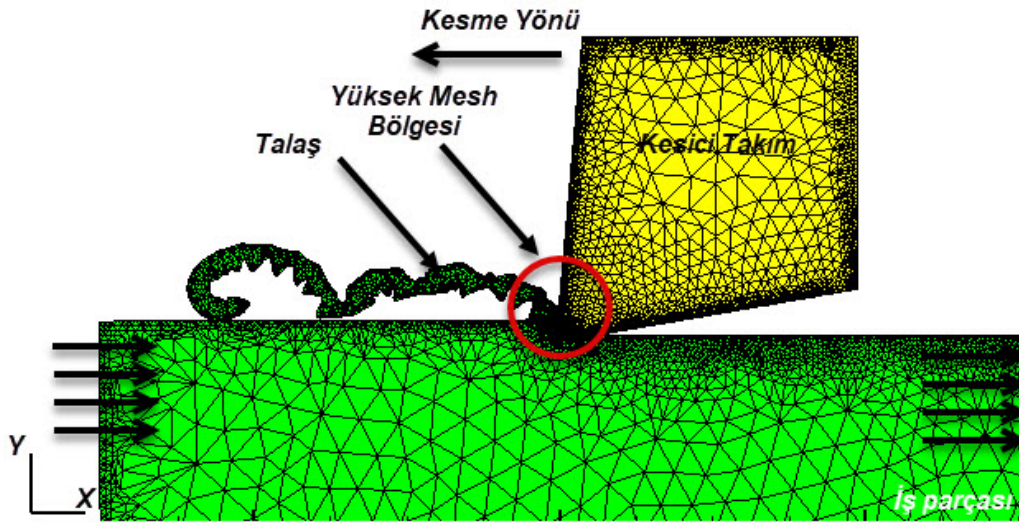
Bu çalışmada sıcak işleme modeli ThirdWave AdvantEdge yazılımının iki boyutlu işleme modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelleme süreci dört aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, iş parçası malzemesi olarak programın malzeme kütüphanesinde yer alan Monel K-500 alaşımı seçilmiştir. İş parçası malzeme yapısal parametreleri, fiziksel ve mekanik özellikleri (ısı ve elastik özellikleri gibi) programda Monel K-500 alaşımı yer aldığı için direkt kullanılmıştır. Analiz süresini azaltmak için iş parçası malzemesi 8 mm boyunda ve 4 mm kalınlığında tanımlanmıştır.



Şekil 1. Kesici takım için ağ yapısı

Gerekli olan diğer bir aşamada kesici takım geometrisi ve özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kesici takım malzemesi tungsten karbür (WC) olarak tanımlanmıştır. İki boyutlu işleme modeli için kesici takım talaş açısı 5°, boşluk açısı 10° ve kenar yarıçapı 0,2 mm olarak tanımlanmıştır. İş parçası ve kesici takım ağ yapısı, maksimum takım elemanı boyutu 0,1 mm, minimum takım elemanı boyutu 0,02 mm ve ağ 0,4 mm olarak modellenmiştir.

Son olarak, iş parçası ve kesici takım özellikleri tanımlandıktan sonra kesme şartları tanımlanmıştır. Kesme şartları Tablo 1'de verilmiştir. Bu kesme şartlarında gerçekleştirilen sayısal analizlerde kesme kuvveti ve talaş oluşumu dikkate alınmıştır. Şekil 2'de ortogonal işleme modeli görülmektedir



Şekil 2. Ortogonal işleme modeli

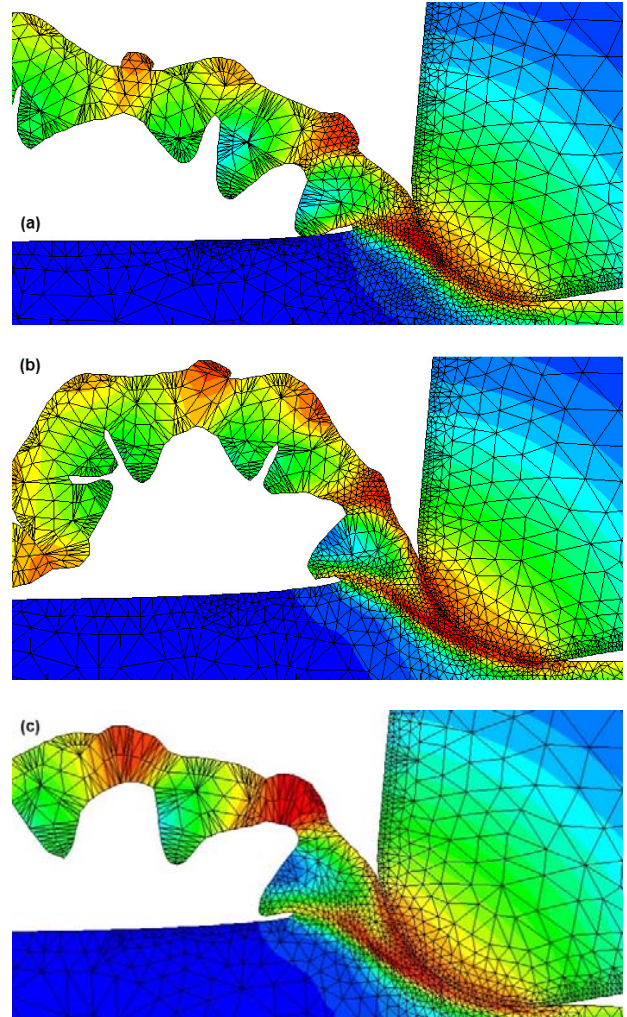
Tablo 1. İşleme şartları

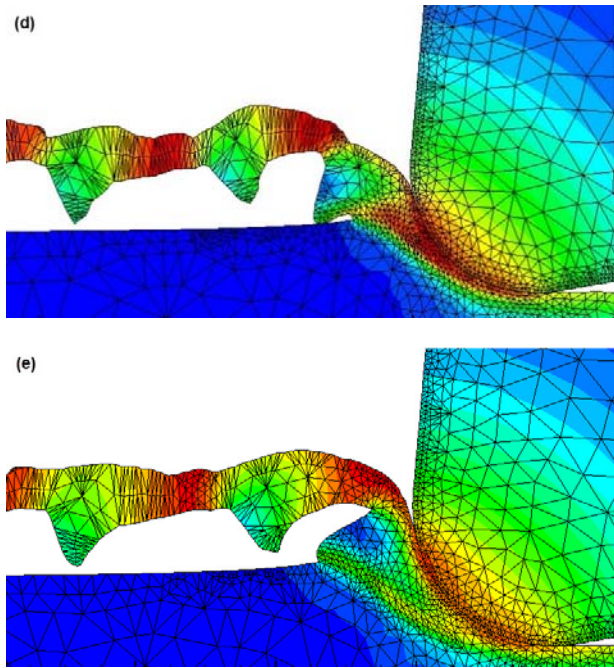
Parametreleri	Seviye				
	I	II	III	IV	V
Sıcaklık (°C)	24	150	300	450	600
Kesme hızı (m/dak)	300	-	-	-	-
İlerleme miktarı (mm/dev)	0,1	-	-	-	-
Talaş derinliği (mm)	1	-	-	-	-

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Sıcak İşlemenin Talaş Oluşumuna Etkisi

Şekil 3'de Monel K-500 alaşımının oda sıcaklığında (20°C) ve farklı sıcaklıklarda (150°C, 300°C 450°C ve 600°C) işlenmesi sonucu elde edilen talaş oluşumu görülmektedir. Şekil 3(a)'ya bakıldığında, oda sıcaklığında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonucunda talaş şeklinin kalın ve dilimli (testere formu) olduğu görülmektedir. Isıl iletkenliği düşük malzemelerin işlenmesinde bu tip talaş oluşumu beklenen bir durumdur [21, 22]. Talaşın testere formunda oluşması kesme kuvvetlerinin düzensizliğinin bir göstergesidir ve yüzey kalitesi bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Sıcak işlemede ise oda sıcaklığında işlemeye kıyasla talaşın daha ince ve sürekli talaş şeklinde olduğu ve testere tırtıklılığının yoğunluğunu azaldığı görülmektedir. Ayrıca, bütün işleme şartlarında talaş oluşumu üzerinde ısı destekli işlemenin etkisini irdelemek için nümerik analizlerde talaş kalınlığı ölçümü yapılmıştır.





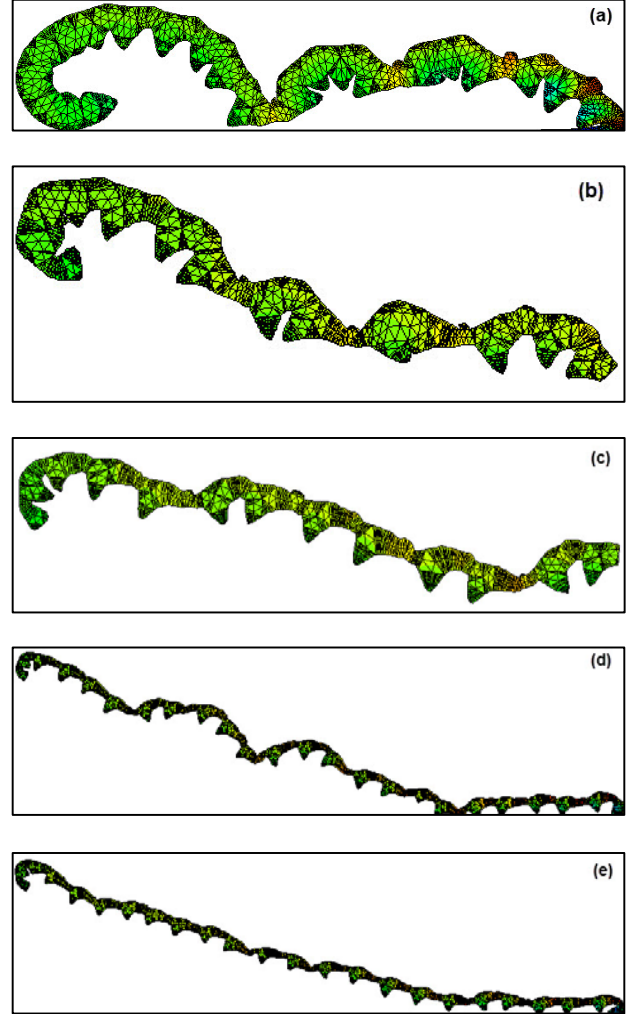
Şekil 3. Talaş oluşumu: a) oda sıcaklığı, b) 150°C c) 300°C d) 450°C e) 600°C

Oda sıcaklığında ve 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C işleme şartlarında talaş kalınlığı sırasıyla 177 µm, 165 µm, 156 µm, 148 µm ve 130 µm olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre ısıtma sıcaklığının artmasıyla talaş kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 4'de oda sıcaklığında ve farklı sıcaklıklarda işleme simülasyonu sonrası elde edilen talaş tipleri yer almaktadır. Şekil 3'e bakıldığında, oda sıcaklığında işlemeye göre sıcak işleme şartlarında ince sürekli talaş oluştuğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, simülasyondan iş parçasının yüzey kalitesinin önemli ölçüde iyileştiği sonucuna varılabilir. Parida ve Maity, Inconel 718, Inconel 625 ve Monel 400 süper alaşımlarının sıcak tornalama yöntemi işlenmesinde kesme kuvveti, takım ömrü, talaş morfolojisi, takım aşınması ve yüzey bütünlüğü bakımından bu alaşımların kesme performanslarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, ısı destekli işleme şartlarında (600°C) Inconel 718, Inconel 625 ve Monel 400 alaşımlarının yüzey pürüzlülüklerinin sırasıyla %23, %42 ve %50 azaldığını bildirmişlerdir [23]. Lajis ve arkadaşları, sertleştirilmiş AISI D2 çeliğini frezeleme yöntemi ile sıcak (300°C ve 600°C) işledikleri çalışmalarında, oda sıcaklığında işlemeye göre sıcak işleme şartlarında işlenmiş yüzeyin mikrosertliğinin bir miktar azaldığını ve bu durumu ısı desteği ile gerinim sertleşmesinin azalması ile açıklamışlardır [24].

3.2. Isı Destekli İşlemenin Kesme Kuvvetlerine Etkisi

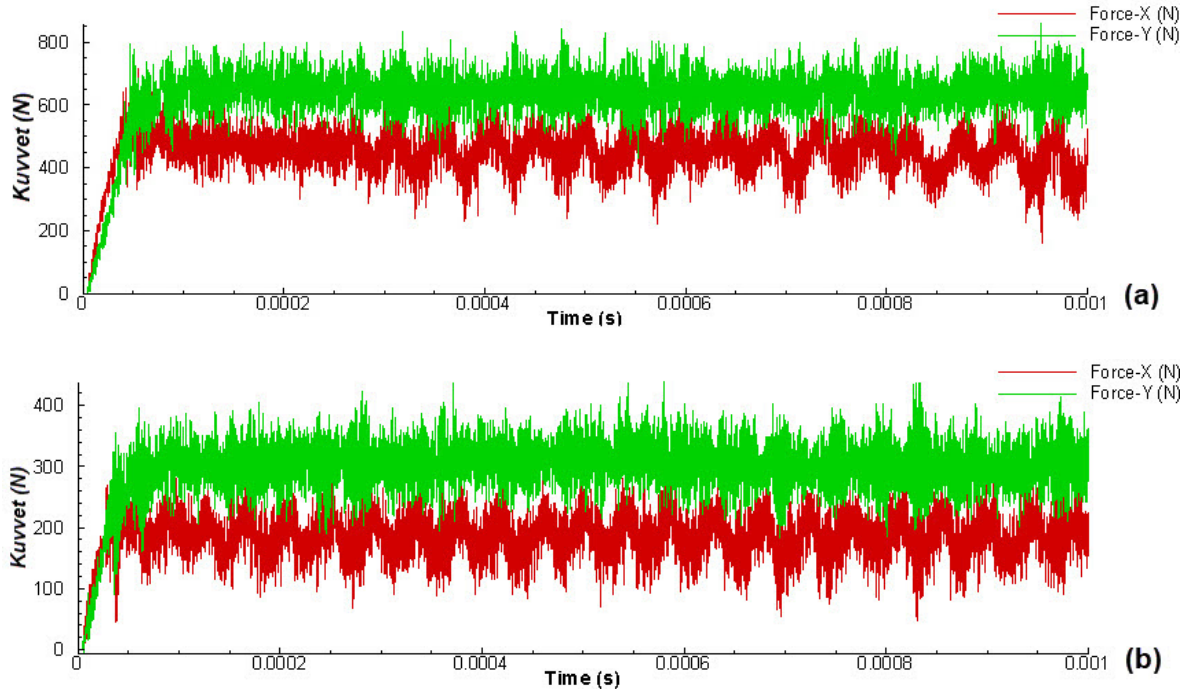
Talaşlı imalat işlemlerinde enerji tüketimi açısından birincil düzeyde önemli olan esas kesme kuvveti (F_c)

değerleri dikkate alınmıştır. Şekil 5 kesme kuvvetleri için AdvantEdge yazılımından alınan simülasyon sonucunun grafik örneklerini göstermektedir. Kesme kuvvetleri belirli bir mesafenin ortalama değeri alınarak Şekil 5'ten elde edilmiştir [25]. Sıcak işlemenin etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için kesme parametreleri sabit tutulmuştur.

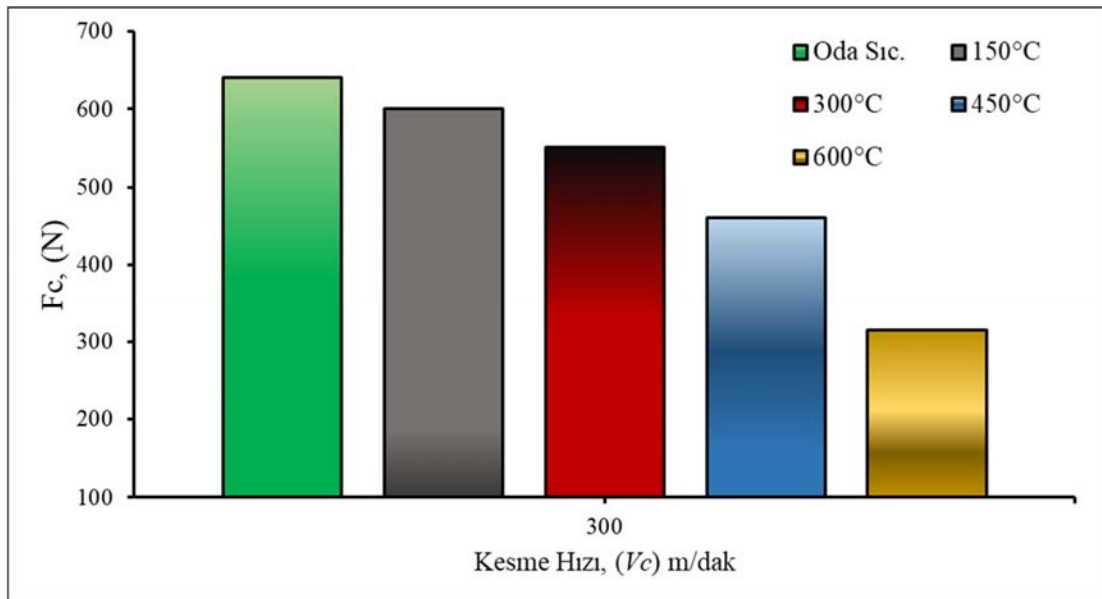


Şekil 4. Talaş tipleri: a) oda sıcaklığı, b) 150°C c) 300°C d) 450°C e) 600°C

Şekil 6'de 300 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, 1 mm talaş derinliğinde oda sıcaklığında (20°C) ve farklı sıcaklıklarda (150°C, 300°C 450°C ve 600°C) gerçekleştirilen nümerik analizler sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 6'ya bakıldığında işleme sıcaklığının artırılması ile kesme kuvvetlerinin azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığındaki işlemeye göre 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C işlemede sırasıyla %6,66 %14,06 %28,12 ve %50,78 oranlarında kesme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum iş parçasına ısı uygulanması ile iş parçası malzemesinin



Şekil 5. Simülasyon sonucunun grafiksel gösterimi a) oda sıcaklığı, b) 600°C.



Şekil 6. Kesme kuvvetinin değişimi: a) oda sıcaklığı, b) 150°C c) 300°C d) 450°C e) 600°C

kesme mukavemetinin azalması ile uygulanan dinamik streslerin azalması ile açıklanabilir. Thandra ve Choudhury deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında konvansiyonel işleme göre sıcak işleme ile kesme kuvvetlerini yaklaşık %34 oranında azaldığını bildirmişlerdir [26]. Dahası, Parida ve Maity de Inconel 718 süper alaşımının sıcak işlenmesini deneysel ve nümerik olarak kıyasladıkları çalışmalarında, oda sıcaklığı koşullarına kıyasla 600 °C'lik ısıtma sıcaklığındaki kesme ve itme kuvvetinin yaklaşık %34,14 arasında azaldığını

bildirmişlerdir [27]. Elde edilen sonuçlar literatür ile paralel olup nümerik modelleme sonuçlarının geçerli olduğunu göstermektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışma, Monel K-500 alaşımının sıcak işlenmesinin kesme kuvveti ve talaş oluşumu bakımından sonlu elemanlar analizi ile araştırılmasına odaklanmaktadır. Monel K-500 alaşımının işlenebilirlik performansı, oda sıcaklığında ve dört farklı ısıtma sıcaklığında (150°C,

300°C, 450°C ve 600°C) değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bazı önemli sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Oda sıcaklığında gerçekleştirilen sayısal analizlerde talaş dilimli oluşur iken 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C'de sıcak işleme şartlarında gerçekleştirilen sayısal analizlerde sürekli talaş oluşmuştur.
- Oda sıcaklığında işleme koşullarına kıyasla sıcak işleme şartlarında talaş kalınlığı azalmıştır.
- Oda sıcaklığında işleme koşullarına kıyasla 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C sıcak işleme şartlarında sırasıyla %6,66 %14,06 %28,12 ve %50,78 oranlarında kesme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir.
- En düşük kesme kuvveti değeri 300 m/dak (Vc), 0,1 mm/dev (f), 1 mm (a) ve 600°C sıcak işleme şartlarında gerçekleştirilen sayısal analizlerde 315 N olarak ölçülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Nurul Amin AKM, Ginta TL. Heat-Assisted Machining. *Comprehensive Materials Processing*, 11, 297-331, 2014.
- [2] Özler L, Inan Theoretical A, Özel C. and experimental determination of tool life in hot machining of austenitic manganese steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(2), 163-172, 2001.
- [3] Sun S, Brandt M, Dargusch MS. Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials—A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(8), 663-680, 2010.
- [4] Novak JW, Shin YC, Incropera FP. Assessment of Plasma Enhanced Machining for Improved Machinability of Inconel 718. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 119(1), 125-129, 1997.
- [5] Kizaki T, Harada K, Mitsuishi M. Efficient and precise cutting of zirconia ceramics using heated cutting tool. *CIRP Ann.*, 63(1), 105-108, 2014.
- [6] Sofuoğlu MA, Çakır FH, Gürgen S, Orak S, Kuşhan MC. Experimental investigation of machining characteristics and chatter stability for Hastelloy-X with ultrasonic and hot turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(1), 83-97, 2018.
- [7] Parida AK, Maity K. FEM analysis and experimental investigation of force and chip formation on hot turning of Inconel 625. *Defence Technology*, 15(6), 853-860, 2019.
- [8] Luan X, Meng J, Huang B, Dong X, Hu Y, Zhao Y, Qu L. Machining characteristics of Ti6Al4V alloy in laser-assisted machining under minimum quantity lubricant. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(3), 775-785, 2021.
- [9] Jeong HI, Lee CM. A study on improvement of tool life using a heat shield in laser assisted machining to Inconel 718. *Optics & Laser Technology*, 142, 107208, 2021.
- [10] Mitrofanov AV, Babitsky VA, Silberschmidt VV. Finite element simulations of ultrasonically assisted turning. *Computational materials science*, 28(3-4), 645-653, 2003.
- [11] Cakir FH, Gurgun S, Sofuoğlu MA, Celik ON, Kushan MC. Finite element modeling of ultrasonic assisted turning of Ti6Al4V alloy. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2839-2848, 2015.
- [12] Pandey K, Datta S. Hot machining of difficult-to-cut materials: A review. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2710-2715, 2021.
- [13] Xu W, Liu X, Sun J, Zhang L. Finite element simulation and experimental research on electric hot machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(1-4), 407-415, 2013.
- [14] Parida AK, Maity K. Numerical analysis of chip geometry on hot machining of nickel base alloy. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(10), 1-9, 2018.
- [15] Rotella G, Umbrello D. Numerical simulation of surface modification in dry and cryogenic machining of AA7075 alloy. *Procedia Cirp*, 13, 327-332, 2014.
- [16] Amini S, Soleimanimehr H, Nategh MJ, Abudollah A, Sadeghi MH. FEM analysis of ultrasonic-vibration-assisted turning and the vibratory tool. *Journal of materials processing technology*, 201(1-3), 43-47, 2008.
- [17] Parida AK, Maity K. Analysis of some critical aspects in hot machining of Ti-5553 superalloy: experimental and FE analysis. *Defence Technology*, 15(3), 344-352, 2019.
- [18] Kaynak Y, Gharibi A, Ozkutuk M. Experimental and numerical study of chip formation in orthogonal cutting of Ti-5553 alloy: the influence of cryogenic, MQL, and high pressure coolant supply. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1), 1411-1428, 2018.
- [19] Yalcin B, Yilmaz N, Kurt A. Tool Stresses in Soft and Hard Finish Turning with Low Content CBN Tool by Finite Elements Analysis. *Acta Physica Polonica, A.*, 134(1), 48-56, 2018.
- [20] Özlü B, Uğur L. Optimization of cutting forces on turning of Ti-6Al-4V Alloy by 3D FEM

- simulation analysis. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1789-1795, 2021.
- [21] Trent EM, *Metal Cutting*, Butterworths Pres, London, 1989.
- [22] Akkuş H, Yaka H. Experimental and statistical investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness, vibration and energy consumption in machining of titanium 6Al-4V ELI (grade 5) alloy. *Measurement*, 167, 108465, 2021.
- [23] Parida AK, Maity K. Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(3), 364-370, 2018.
- [24] Lajis MA, Amin AKM, Karim AN. Surface integrity in hot machining of AISI D2 hardened steel. *In Advanced Materials Research*. 500, 44-50, 2012.
- [25] Korkmaz ME, Günay M. Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel. *Arabian Journal for Science & Engineering*, 43(9), 4863-4870, 2018.
- [26] Thandra SK, Choudhury SK. Effect of cutting parameters on cutting force, surface finish and tool wear in hot machining. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 7(3-4), 260-273, 2010.
- [27] Parida AK, Maity K. Effect of nose radius on forces, and process parameters in hot machining of Inconel 718 using finite element analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(2), 687-693, 2017.



Araştırma Makalesi/Research Article

Komor adaları'nda parabolik oluk güneş kollektörü ile enerji üretimi

Hassane CHAFIOU^{1*}, İbrahim ÜÇGÜL²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Bölümü, 32120, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 32120, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Komor Adaları
Güneş Enerjisi Yoğunlaştırılmış
Güneş Enerjisi
Parabolik Oluk Tipi Kollektör
Enerji Üretimi

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 31.01.2022

Kabul Tarihi: 18.04.2022

Öz: 1973 petrol krizi, varil fiyatının 2,59 dolardan 11,65 dolara çıkmasına neden olmuştur. 1973 den günümüze kadar pek çok petrol krizi yaşanmıştır. Yaşanılan bu krizler, dünyadaki ülkeleri alternatif çözümler aramaya yöneltmişlerdir. Araştırmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir kaynaklar, tükenmez ve fosil yakıtlara göre daha temiz enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en umut verici bir kaynaktır. Güneş enerjisi, kullanım kolaylığı, her yerde bulunması ve aynı zamanda en ucuz enerji olması ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ayrılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretmek için birçok farklı teknoloji ve yöntem mevcuttur. Elektrik enerjisi elde etmek için en verimli ve en yaygın teknoloji, güneş ışınlarını tek bir yerde yoğunlaştırıp yüksek sıcaklıklar elde ederek bir türbinini çalıştırmaktır. Bu yöntem başında da parabolik oluk tipi güneş kollektörleri gelmektedir. Bu yöntemde direkt güneş ışınları bir yansıtıcı yüzey sayesinde parabolik kollektörünün odak noktasında boydan boya yerleştirilen alıcı boruya yansıtarak yoğunlaştırma yapılmaktadır.

Bu çalışmada enerji teminde dışa ve fosil kökenli yakıtlara bağımlı olan Komor Adalarının enerji sorununa çözüm bulmak amacıyla teorik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Komor güneş enerjisi potansiyeli, güneş ışınımı ve güneş ışınların hesaplanması için gereken denklemleri ile yoğunlaştırıcı sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının boyutlandırılması, sistemdeki ısı ve optik kayıpların hesaplanması için gereken denklemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ardından parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile Komor Adaları'nda elektrik enerjisi üretimin hesaplamaları yapılmıştır. Komor Adaları'nda elektrik enerjisi üretim için kurulu gücü, 400kWe olan parabolik oluk güneş yoğunlaştırıcı sistemi ve ORC türbinli güç üretim sistemi kullanılmıştır. Son olarak yapılan hesaplamalar ve analizler değerlendirilmiş ve bu sistemin Komor Adaları'nda uygunluğu ortaya konmuştur.

Atf için/To Cite:

Chafiou H. Üçgül İ. Komor Adaları'nda Parabolik Oluk Güneş Kollektörü İle Enerji Üretimi. Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 30-39, 2022.

Energy Generation With Parabolic Trough Solar Collector In Comoros Islands

Keywords

Comoros Islands
Solar Energy
Concentrated Solar Energy
Parabolic Trough Type
Collector
Power Generation

Article history:

Received: 31.01.2022

Accepted: 18.04.2022

Abstract: The 1973 oil crisis caused the price of a barrel to rise from \$2.59 to \$11.65. There have been many oil crises since 1973. These crises have led countries around the world to seek alternative solutions. As a result of the researches, orientation towards renewable energy sources has emerged as a solution. Renewable resources are inexhaustible and cleaner energy sources than fossil fuels. Among the renewable energy sources, solar energy is the most promising source. Solar energy is distinguished from other renewable energy sources by its ease of use, ubiquity and being the cheapest energy at the same time. There are many different technologies and methods to generate electricity from solar energy. The most efficient and common technology for generating electrical energy is to run a turbine by concentrating the sun's rays in one place and obtaining high temperatures. Parabolic trough type solar collectors are at the forefront of this method. In this method, direct sunlight is concentrated by reflecting it to the receiver pipe, which is placed across the focal point of the

* İlgili yazar/Corresponding author: chafiouhassane1995@gmail.com

parabolic collector, thanks to a reflective surface.

In this study, a theoretical study was carried out in order to find a solution to the energy problem of the Comoros Islands, which are dependent on foreign and fossil fuels for energy supply. In this study, information about the Comoros solar energy potential, solar radiation and the equations required for the calculation of solar radiation and concentrator systems are given. In addition, the equations required for sizing the parabolic trough type solar concentrator and calculating the thermal and optical losses in the system are explained in detail. Then, calculations of electrical energy production in Comoros were made with a parabolic trough type solar collector. Parabolic trough solar concentrator system with 400kWe installed power and ORC turbine power generation system have been used for electric power generation in Comoros. Finally, the calculations and analyzes were evaluated and the suitability of this system in the Comoros Islands was demonstrated.

1. Giriş

Sanayi devrimi, ekonomik ve endüstriyel gelişmelere bağlı olarak başta enerji sektörü olmak üzere tüm dünyayı sınırsız büyümeye yönlendirmiştir: Fabrika, otomobil ve Aletlerin artması nedeniyle enerji tüketimi önemli ölçüde artmaktadır. Ne yazık ki, enerjideki bu artış genellikle fosil enerji kaynaklarından (petrol, gaz, kömür...) karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara olan bu büyük bağımlık ve bu enerji kaynakları kullanımlarında birçok sorun ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunların başında çevre kirliliği, küresel ısınma ve yüksek maliyetlerdir. Ancak hepsinden önemlisi bu kaynaklar yenilenebilir olmadıkları için hızla tükenen ortadan kalkacaktır [1],[2].

Fosil yakıtlar dünyanın bazı bölgelerinde bulunur ve hızla tükenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise tükenmez, sınırsız, temiz, ekonomiktir ve fosil yakıtlar gibi çevreyi kirletmez ve tüm dünyada var oldukları için ülkelerin fosil yakıtlara bağımlı hale gelmesini engeller [3].

Kuşkusuz ki fosil yakıtlı kaynakları yok olacaktır. Bu nedenle, gelecekte bir enerji krizinin önlenmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına: güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisini örnek olarak verilebilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en bol, en modern ve en fazla uygulama alanına sahip olanıdır. Dünya atmosferinin dışındaki güneş radyasyonunun yoğunluk sabiti 1367 W/m^2 'dir; ancak yeryüzünde 0 ile 1100 W/m^2 değerleri arasında değişmektedir [4],[5],[6]. Dünyaya ulaşan radyasyonu mümkün olduğunca kullanılabilir enerjiye dönüştürmek için çok çeşitli uygulamalar ve farklı teknolojiler kullanılmaktadır [5]. Su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma gibi ısı amaçlarıyla yararlanan farklı uygulamalar vardır. Ayrıca güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler fotovoltaik

sistemler ve ısı sistemleri olarak gruplandırılmaktadır [7]. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin kolay yöntemlerinden biri fotovoltaik sistemdir [8]. Ancak fotovoltaik sistemlerin verimleri düşüktür.

Son yıllarda teknolojik gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte enerjiye olan talep hızla artmıştır. Bu artan talebi karşılamak için ısı sistemleri ile buhar üretimi, elektrik üretimi de uygulama alanları yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklara buhar elde ederek elektrik üretimi hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. Bu uygulamalarda elde edilen buhar kullanarak buhar türbinleri çalıştırarak elektrik enerjisi üretilir [9],[10]. Buhar elde etmek için çok yüksek sıcaklıklara ulaşmak gerekmektedir. Bunun için güneş yoğunlaştırıcı sistemler geliştirilmiştir. Bu yoğunlaştırıcı sistemler güneş ışınlarının belirli bir bölgede odaklayan sistemlerdir [10].

Yoğunlaştırma yapan sistemler ikiye ayrılmıştır; Doğrusal ve noktasal yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Noktasal yoğunlaştırıcı sistemler, parabolik çanak ve güneş kulesidir. Doğrusal sistemleri ise Fresnel aynalı ve parabolik oluk güneş yoğunlaştırıcılarıdır [11].

Bu çalışmada silindirik-parabolik güneş yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. Parabolik güneş yoğunlaştırıcı, güneş ışınlarını bir eksen boyunca toplayan ya da yoğunlaştıran sistemdir. Ayrıca yoğunlaştırma sistemleri arasında en yaygın ve gelişmiş teknolojilerden biridir [12].

Parabolik oluk güneş yoğunlaştırıcılar, güneşten gelen ışınları ilk önce parabol şeklinde tasarlanmış yansıtıcı aynalara gelmektedir. Yansıyan ışınları parabolün odak noktasında boydan boya yerleştiren emici boruya yönlendirilmektedir. Yansıtıcı aynalardan yansıyan güneş ışınları parabolün odağına yerleştiren soğurucu boruya doğru yönlendirilir.

Burada yoğunlaşan güneş ışınlarının emici boru içindeki bulunan çalışma sıvısına aktararak akışkanın sıcaklığı 300°C 'nin üzerine çıkmaktadır. Yükselen akışkanın

sıcaklığından yararlanılarak dolaylı veya doğrudan buhar ve elektrik üretilebilir [13].

Bu çalışmanın amacı, Komor Adaları'nda silindirik-parabolik bir güneş yoğunlaştırıcı sistemi kullanarak enerji üretmektir. Komor Adaları'nda yenilenebilir enerjilerin üretimdeki payı, konvansiyonel enerjilere kıyasla ihmal edilebilir düzeydedir [14]. Ne yazık ki, bu fosil yakıtların kullanımı elektrik pahalılığına, elektrik kesintilerine ve yük kayıplarına yol açmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek, enerji sektöründeki boşlukları doldurmak ve Komor Adaları'ndaki enerji problemlerine çözüm bulma amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

2. Komor Adaları'nda Güneş Enerjisi Potansiyeli

Komor Adaları'nın coğrafi konumu, güneş enerjisinin geliştirilmesini ve kullanılmasını desteklemektedir. Birkaç ay boyunca günde 8 saati aşan güneşlenme süresi ve alınan radyasyonun yoğunluğu göz önüne alındığında, Komor Adaları'nda enerji ihtiyacının bir kısmı güneş enerjisinden yararlanarak karşılanabilir. Komor Adaları'nda Moroni (başkent) bölgesi yağmurlu bir bölge olduğu için günlük ortalama güneşlenme süresi 7 saattir. Güneşli zamanlarında kuzey ve güney bölgeleri için günde ortalama 8 saate ve 7 kWh/m²'e ulaşmaktadır. Ancak güneş, fotovoltaik ve termal ekipman için coğrafi konuma ve en uygun hava koşullarına rağmen, güneş enerjisinin bir enerji kaynağı olarak kullanımı çok marjinal kalmaktadır[15]. Moroni ili için 1961'den 1990'a kadar olan güneş enerjisi ile ilgili meteorolojik veriler Çizelge 2.1'de verilmiştir [16].

Çizelge 2.1. Komor Adalarında Moroni ili için günlük ortalama güneşlenme süresi ve günde m² başına düşen toplam güneş radyasyonu değerleri [16].

Aylar	Günde ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)	Günde ortalama güneş ışıma değerleri (kWh/m ² -gün)
Ocak	6,8	5,7
Şubat	6,3	6,3
Mart	6,3	6,4
Nisan	6,5	6,5
Mayıs	6,7	7,7
Haziran	7,1	7,4
Temmuz	7,5	7,1
Ağustos	7,7	7,4
Eylül	7,4	6,8
Ekim	7,4	6,9
Kasım	7,6	7,9
Aralık	7,3	6,8
Ortalama	7,05	6,9

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi günde ortalama düşen güneş radyasyon miktarı görülmektedir. Moroni ili için günde ortalama güneş radyasyonu miktarı 6,9 kWh/m²-gün olarak olup günde ortalama güneşlenme süresi ise 7,05 saat/gün olarak hesaplanmıştır. Genel olarak gördüğü gibi, Komorlar, ay veya mevsim ne olursa olsun çok etkili güneş ışığından yararlanmaktadır.

3. Güneş Işınımı

Güneş ışınımı, dünya yüzeyine ulaşmadan önce atmosferik olaylar tarafından zayıflatılan, atmosferden yayılan elektromanyetik dalgalar biçimindeki termal bir radyasyondur [17]. Dünya ve güneş arasındaki mesafesi mevsimlere ve coğrafya konumuna göre değişmektedir. Bundan dolayı atmosfer dışına gelen güneş ışınımı da farklılık göstermektedir. Bu farklılıkları ortadan kaldırmak için atmosfer dışındaki güneş ışınımına dik birim alan başına düşen güneş ışınımının ortalama dünya-güneş mesafesindeki değeri kullanılmaktadır ve bu değer, güneş ışınım sabiti olarak adlandırılmıştır. Bu sabit kaynaklarda 1367 W/m² olarak verilmiştir [13].

Dünyaya ulaşan güneş ışınımını direkt ve yayılı güneş ışınımı olarak ayrılmaktadır. Direkt güneş ışınımı, atmosferde hiçbir kırılma, saçılma veya dağılmaya uğramadan doğrudan, yani atmosferden geçerek yeryüzüne gelen ışınımdır. Atmosferde dağılarak yeryüzüne gelen ışınlar ise yayılı güneş ışınımıdır [18]. Herhangi bir yüzey üzerinde toplanan güneş ışınımının hesaplanması için direkt ve yayılı radyasyonun belirlenmesini gerekmektedir.

3.1. Direkt güneş ışınımı (I_d) hesaplanması

Belirli bir günde belirli bir yere açıkta kalan bir yüzeyin üzerine düşen anlık toplam direkt güneş radyasyon miktarının hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri kullanılmaktadır [19].

$$I_d = I_{DN} * \cos \theta \quad [W/m^2] \quad (1)$$

θ : Güneş geliş açısı (°)
ve

$$I_{DN} = A1 * \exp\left(-\frac{P_L}{P_0} * \frac{B}{\sin \alpha_s}\right) \quad (2)$$

α_s : Güneş yükseklik açısı (°)

A1: Dünya dışı güneş yoğunluğu değeridir. Bu değer aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [19].

$$A1 = 1158 * \left[1 + 0,066 * \cos\left(\frac{360 * n}{370}\right) \right] \quad (3)$$

n: Gün sayısı

B: Atmosferik yutma katsayısıdır.

$$B = 0,175 * [1 - 0,2 * \cos(0,93 * n) - 0,0045 * [1 - \cos(1,86 * n)]] \quad (4)$$

P_L/P_0 : Söz konusu yerdeki basıncın normal atmosfer basıncına oranı ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır

$$\frac{P_L}{P_0} = \exp(-0,0001184 * H_{alt}) \quad (5)$$

H_{alt} : Deniz seviyesi metre cinsinden yüksekliği (rakım) ifade edilmektedir.

4. Kollektör Seçimi

Parabolik oluk güneş kolektörüne düşen güneş ışınları alıcı yüzeye (yansıtıcı yüzey) doğru yansıtılır. Yüzeye düşen güneş ışınlarından en iyi şekilde yani maksimum düzeyde yararlanmak seçilen kolektörünün yapım malzemesine bağlıdır [7]. Enerji üretim prosesinde, SİRENG-GÜNPOT 2500 parabolik oluk kolektörler seçilmiştir. SİRENG-GÜNPOT 2500 parabolik oluk kolektörünün geometrik özellikleri çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sireng Günpot 2500 geometrik ve performans özellikleri [11].

Kollektör uzunluğu (L)	12 m
Kollektör genişliği (Wa)	2,5 m
Alıcı boru çapı	25-50 mm
Kollektör açıklık alanı	30 m ²
Elektriksel kapasite	5 kW
Termal kapasite	20 kW
Çalışma sıcaklığı	150-300 °C
Optik verim	% 75
Termal verim	% 67

5. Termal Verimliliğin Hesaplanması

Isı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısı (\dot{q}_u) ile mevcut güneş enerjisi (Q_s) bölünerek kolektörün ısı verimi (η_{th}) hesaplanabilmektedir [20]. Bu çalışmada seçilen kolektörün alıcı borusunun dış çap aralığı

dikkate alınarak emici borunun dış çapı 50 mm ve et kalınlığı 2 mm olarak alınmıştır. Cam örtünün dış çapı değeri emici borunun dış çapını 2 katı bir değer alınarak hesaplamalar devam edilmiştir. Yani cam örtünün dış çapı 100 mm ve et kalınlığında da 2 mm alınmıştır.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{q}_u}{Q_s} \quad (6)$$

Kararlı koşullar altında kolektör emici boru yüzeyinden ısı transfer akışkanına aktarılan ısı (\dot{q}_u) aşağıdaki eşitlikle bulunabilmektedir [10],[11].

$$\dot{q}_u = F_{IK} * A_{kga} \left[I_d \eta_o - \frac{A_{ebd}}{A_{kga}} U_L (T_i - T_o) \right] [W] \quad (7)$$

F_{IK} : Kollektör ısı kazanç faktörü

A_{kga} : Kollektörün gölgelenmeyen yansıtıcı yüzey alanı (m²)

η_o : Optik verimi

A_{ebd} : Emici boru dış yüzey alanı (m²)

U_L : Toplam ısı kayıp katsayısı (W/m²K)

T_i : Isı transfer giriş sıcaklığı (°)

T_o : Dış ortam sıcaklığı (°)

$$A_{kga} = L (W_a - D_{cöd}) \quad (8)$$

$$A_{ebd} = \pi D_{cöd} L \quad (9)$$

W_a : Kollektör genişliği (m)

$D_{cöd}$: Cam örtü dış çapı (m)

L : Kollektör uzunluğu (m)

Kollektör ısı kazanç faktörü F_{IK} [10],[11].

$$F_{IK} = \frac{\dot{m}_a C_{pa}}{A_{ebd} U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_{ebd} U_L F_V}{\dot{m}_a C_{pa}}\right) \right] \quad (10)$$

\dot{m}_a : Kollektörde kullanılan akışkanın kütleli debisi (kg/s)

C_{pa} : Akışkanın özgül ısı (kJ/kg °C)

F_V : Kollektör verimlilik faktörü [10],[11].

$$F_V = \frac{1}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_{ebd}}{h_a D_{ebi}} + \ln\left(\frac{D_{ebd}}{D_{ebi}}\right) * \frac{D_{ebd}}{2k_{eb}}} \quad (11)$$

D_{ebd} : Emici boru dış çapı (m)

D_{ebi} : Emici boru iç çapı (m)

h_a : Isı transfer akışkanın ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

k_{eb} : Emici boru ısı iletim katsayısı (W/m K)

Toplam ısı kayıp katsayısı U_L aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır [10],[11],[21].

$$U_L = \left[\frac{A_{ebd}}{(h_w + h_{(c\ddot{o},o)_l})A_{c\ddot{o}d}} + \frac{1}{h_{(eb,c\ddot{o})_l}} \right]^{-1} \quad [W/m^2 K] \quad (12)$$

$A_{c\ddot{o}d}$: Cam örtü dış yüzey alanı (m²)

$h_{(c\ddot{o}, o)_l}$: Cam örtü yüzeyi ile ortam arasındaki ışınlam transferi katsayısını hesaplamak için aşağıdaki eşitlikle kullanılmaktadır [10],[11],[21],[22].

$$h_{(c\ddot{o},o)_l} = \frac{\varepsilon_{c\ddot{o}}\sigma(T_{c\ddot{o}d}^4 - T_o^4)}{(T_{c\ddot{o}d} - T_o)} \quad [W/m^2 K] \quad (13)$$

$T_{c\ddot{o}d}$: Cam örtü dış yüzey sıcaklığı (°)

$\varepsilon_{c\ddot{o}}$: Cam örtü ısı yayıcılık katsayısı

$h_{(eb, c\ddot{o})_l}$: Emici boru yüzeyi ile cam örtü arasındaki ışınlama eşdeğer ısı taşınım katsayısını bulmak için aşağıdaki eşitlikle kullanılmaktadır [21].

$$h_{(eb,c\ddot{o})_l} = \frac{C_{(eb,c\ddot{o})}\sigma(T_{ebd}^4 - T_{c\ddot{o}i}^4)}{(T_{ebd} - T_{c\ddot{o}i})} \quad [W/m^2 K] \quad (14)$$

ve

$$C_{(eb,c\ddot{o})} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{eb}} + \frac{A_{ebd}}{A_{c\ddot{o}i}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{c\ddot{o}}} - 1 \right)} \quad (15)$$

$A_{c\ddot{o}i}$: Cam örtü iç yüzey alanı (m²)

h_w ; Rüzgâr için ısı transfer katsayısı ve aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir [10],[11],[21],[22].

$$h_w = \frac{k_o Nu_o}{D_{c\ddot{o}d}} \quad [W/m^2 K] \quad (16)$$

k_o : Dış ortam sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı (W/m K)

Nusselt sayısı (Nu):

$$0,1 < Re_o < 1000 \rightarrow Nu_o = 0,04 + 0,54 Re_o^{0,52} \quad (17)$$

$$1000 < Re_o < 50000 \rightarrow Nu_o = 0,04 + 0,3 Re_o^{0,6} \quad (18)$$

Reynolds sayısı (Re_o) [10],[11],[21],[22].

$$Re_o = \frac{\rho_o * V_o * D_{c\ddot{o}d}}{\mu_o} \quad (19)$$

V_o : Dış ortam rüzgâr hızı (m/s)

μ_o : Dış ortam sıcaklığa bağlı dinamik viskozitesi (Pa s)

ρ_o : Dış ortam yoğunluğu (kg/m³)

Silindirik parabolik güneş yoğunlaştırıcıda optik verimliliği (η_o), emici borunun yutması gereken enerji (Q_{abs}), mevcut güneş enerjisi (Q_s) bölünmesiyle hesaplanır [19].

$$\eta_o = \frac{Q_{abs}}{Q_s} \quad (20)$$

Ve

$$Q_s = I_d * A_{kga} \quad [W] \quad (21)$$

Emici borunun yutması gereken enerji (Q_{abs}) iki ana kısma ayrılır; faydalı enerji (Q_u) ve ısı kayıpları (Q_{loss}) olarak tanımlanabilir ve kollektörde enerji dengesi kavramı aşağıdaki gibidir [20].

$$Q_{abs} = Q_u + Q_{loss} \quad [W] \quad (22)$$

Termal kayıpları (Q_{loss}) [10],[11],[21],[22].

$$Q_{loss} = U_L * A_{ebd} (T_{eb,ort} - T_o) \quad [W] \quad (23)$$

$T_{eb,ort}$: Emici boru ortalama yüzey sıcaklığı (°)

6. Direkt Güneş Işınımı Hesaplanması

Direkt güneş ışınımı hesaplanması için söz konusu yerin coğrafi konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada eşitlik (1), (2), (3), (4) ve (5) kullanarak Komor Adaları'nda aylara göre direkt güneş ışınımı değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.1. Aylara göre direkt güneş ışınım değerleri

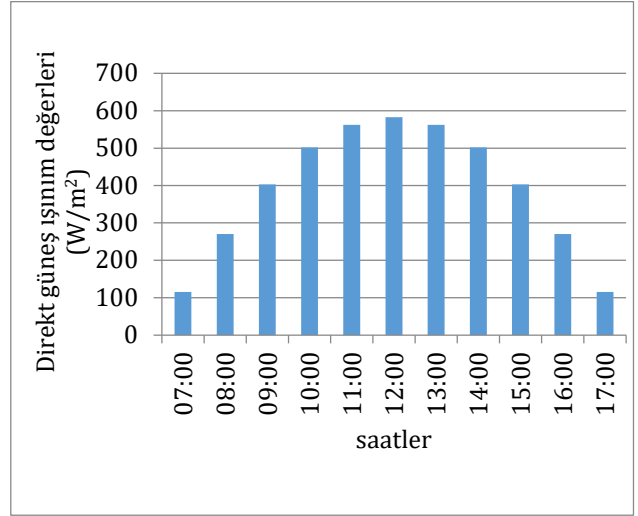
Aylar	Direkt ışınım I_d (W/m ²)
Ocak	143622,61
Şubat	151979,86
Mart	193193,66
Nisan	197245,27
Mayıs	197546,23
Haziran	187267,94
Temmuz	186580,38
Ağustos	190467,36
Eylül	180528,35
Ekim	168535,49
Kasım	140794,57
Aralık	133882,96

Enerji üretimi, direkt güneş ışınımının en düşük olduğu ay, baz alınarak hesaplanmıştır. En düşük direkt güneş ışınım değerleri Aralık ayıdır. 15 Aralık günü saat 07:00'den 17:00'a kadar elde edilen direkt güneş ışınım miktarları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.2. 15 Aralık günü elde edilen direkt güneş ışınım değerleri

Saatler	Direkt ışınım I_d (W/m ²)
07:00	115,15
08:00	270,28
09:00	403,09
10:00	501,97
11:00	562,54
12:00	582,9
13:00	562,54
14:00	501,97
15:00	403,09
16:00	270,28
17:00	115,15

Görüldüğü gibi, 15 Aralık gün içerisinde elde edilen maksimum direkt ışınım 582,9 W/m² ve minimum direkt ışınım 115,15 W/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.2. 15 Aralık günü elde edilen direkt güneş ışınım değerlerinin (W/m²) saatlik gösterimi

7. Optik ve Isıl verimlerinin Hesaplanması

Hesaplamalar bir kolektör için yapılmıştır. 15 Aralık saat 12:00'deki ortalama rüzgâr hızı ve ortalama dış hava sıcaklığı sırasıyla 3,6 m/s ve 27,6 °C olarak alınmıştır. Kolektör için kullanılan emici boru vakumlu olup, boru içerisinde dolaşan ısı transfer akışkanı sudur. Akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 40 °C ve 60 °C ve ısı transfer akışkanının debisi 0,1 kg/s olarak alınmıştır.

Çizelge 7.1. Seçilen kolektörün performans analizi

Parametre	Değeri
Re	4918,86
U_L (W/m ² K)	0,9936
h_a (W/m ² K)	483,816
Q_{loss} (W)	60,82
Q_u (W)	8362
Q_{abs} (W)	18159,25
Q_s (W)	23296,89
\dot{q}_{tu} (W)	18098,43
F_v	0,999
F_{IK}	0,997
η_{th}	% 77,68
η_o	% 78,04

Bir dizi için: Seçilen kolektör başına üretilen ortalama elektrik enerjisi 5 kWe olarak dikkate alındığında, sistemin 400 kWe kurulu güce sahip olması için alanın 2 bölgeden, her bölgede 54 kolektörden oluşacağı ve toplamda 108 kolektör oluşacağı düşünülmektedir. Her bölge 9 dizi ve dizi başına 6 kolektörden oluşmaktadır. Akışkanın giriş, çıkış sıcaklıkları ve

kütleli debisi sırasıyla 40 °C, 160 °C ve 1,3 kg/s alınmıştır. Pompa ve Türbin izantropik verimleri sırasıyla %90 ve %90 olarak kabul edilmiştir [23]. Bu verilerden yola çıkarak sistem için saat başı üretilen ısı ve elektrik enerjisi aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

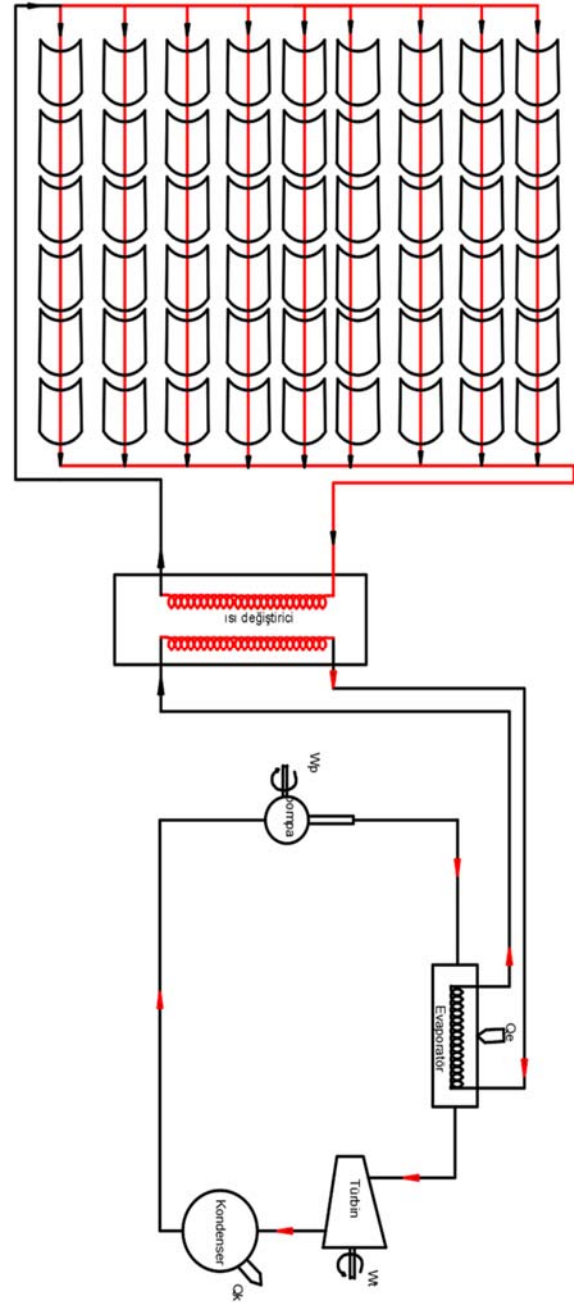
Çizelge 7.2. 15 Aralık günü bir dizi (6 kollektör) için saat 7'den 17'ye kadar elde edilen değerler

Saatler	Q_u (kW)	Q_s (kW)	Q_{abs} (kW)	η_{th}	η_o
07:00	11,35	16,5	12,4	0,685	0,738
08:00	29,31	38,9	30,4	0,753	0,776
09:00	44,83	58,0	45,9	0,772	0,788
10:00	56,43	72,2	57,5	0,781	0,793
11:00	63,55	81,0	64,6	0,785	0,796
12:00	65,95	83,9	67,0	0,786	0,797
13:00	63,55	81,0	64,6	0,785	0,796
14:00	56,43	72,2	57,5	0,781	0,793
15:00	44,83	58,0	45,9	0,772	0,788
16:00	29,31	38,9	30,4	0,753	0,776
17:00	11,35	16,5	12,4	0,685	0,738

Görüldüğü gibi, 15 Aralık günü bir dizi için saat 7'den 17'ye kadar ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısı, emici borudan yutulması gereken enerji, mevcut güneş enerjisi, optik ve termal kayıp hesaplanmıştır.

8. 400 kWe Kapasiteli ORC Türbinli Elektrik Enerjisi Üretimi Tesisi

Sistemimizin çıkış sıcaklığına göre organik Rankine çevriminde, organik akışkan olarak R123 seçilmiştir. R123 özellikleri Solkane bilgisayar programı kullanarak alınmıştır. Sistemimizin 15 Aralık günü bir dizi (6 kollektör) için saat 7'den 17'ye kadar ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısı kullanarak ORC türbinli sistem için elde edilen elektrik enerjisi hesaplanmıştır.

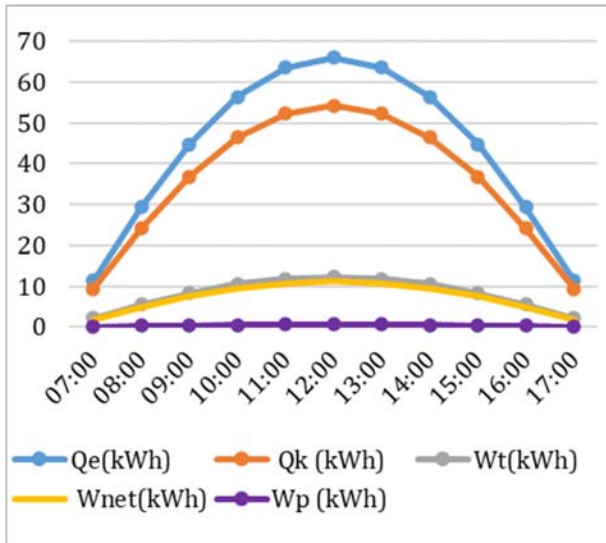


Şekil 8.1. ORC ile Yoğunlaştırıcı güneş kollektörü enerji üretim şeması.

Çizelge 7.3. Bir diziden, ORC sistem ile 15 Aralık'ta elde edilen değerler

Saatler	Q_e (kWh)	\dot{q}_k (kWh)	\dot{W}_T (kWh)	\dot{W}_{net} (kWh)	\dot{W}_p (kWh)	η_{th}
07:00	11,35	9,33	2,12	1,90	0,10	0,16
08:00	29,31	24,08	5,46	4,92	0,27	0,16
09:00	44,83	36,83	8,35	7,52	0,41	0,16
10:00	56,43	46,37	10,52	9,46	0,52	0,16
11:00	63,55	52,2	11,8	10,7	0,6	0,16
12:00	65,95	54,2	12,3	11,1	0,6	0,16
13:00	63,55	52,2	11,8	10,7	0,6	0,16
14:00	56,43	46,37	10,52	9,46	0,52	0,16
15:00	44,83	36,83	8,35	7,52	0,41	0,16
16:00	29,31	24,08	5,46	4,92	0,27	0,16
17:00	11,35	9,33	2,12	1,90	0,10	0,16

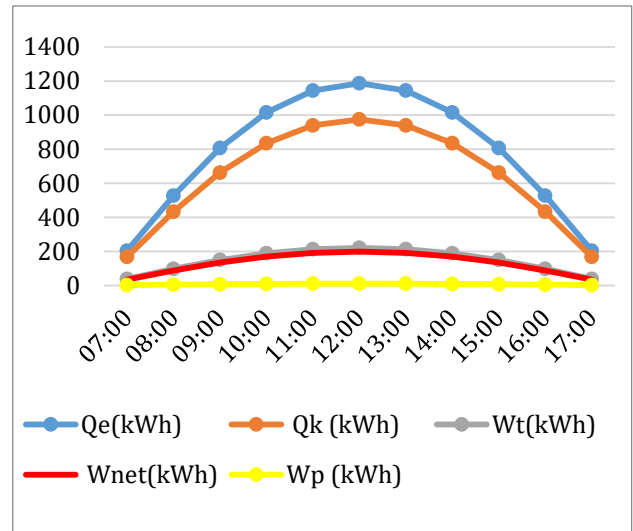
15 Aralık günü bir dizi (6 kolektör) için saat 7'den 17'ye kadar ORC türbinli sistemden elde edilen elektrik enerjisi çizelge 7.3'te verilmiştir. Burada, Q_e : evaporatöre giren enerji miktarı (kWh), \dot{W}_p : Pompayı çalıştırmak için verilmesi gereken enerji miktarı (kWh), \dot{q}_k : kondenslerden çekilen enerji miktarı (kWh), \dot{W}_T : Türbinde elde edilen enerji miktarı (kWh), \dot{W}_{net} : Sistemin net elektrik enerjisi (kWh).



Şekil 8.1. bir dizi için ORC sistem ile 15 Aralık'ta elde edilen değerlerinin saatlik gösterimi

Saatler	Q_e (kWh)	\dot{q}_k (kWh)	\dot{W}_T (kWh)	\dot{W}_{net} (kWh)	\dot{W}_p (kWh)	η_{th}
07:00	204,3	167,9	38,1	34,3	1,9	0,16
08:00	527,58	433,5	98,3	88,5	4,9	0,16
09:00	806,94	663	150	135	7	0,16
10:00	1015,74	835	189	170	9	0,16
11:00	1143,9	940	213	192	11	0,16
12:00	1187,1	975	221	199	11	0,16
13:00	1143,9	940	213	192	11	0,16
14:00	1015,74	835	189	170	9	0,16
15:00	806,94	663	150	135	7	0,16
16:00	527,58	433,5	98,3	88,5	4,9	0,16
17:00	204,3	167,9	38,1	34,3	1,9	0,16

ORC sistem ile elde edilen sonuçlara göre en düşük ay için saatte minimum elektrik enerjisi 34,3 kWh olup bu değer saat 07:00 ve 17:00'de üretilmiştir.



Şekil 8.2. Tüm sistem için ORC sistem ile 15 Aralık'ta elde edilen değerlerinin saatlik gösterimi

15 Aralık için yapılan hesaplamalara göre saatte elde edilen maksimum elektrik enerjisi 199 kWh ve bu değer saat 12:00'dedir. Bu sayede, tercih edilen 5 kWe elektrik güce sahip olan kolektör en kötü ayda ORC sistem ile saat 12:00'de 400 kWh üretilmesi için 108 adet kolektör kullanmak yerine 216 kolektör kullanılmalıdır. Bundan dolayı, sistemimizin sürekli olarak 400 kWh üretim yapabilmesi için, elektrik enerjisinin 400 kWh'yi aştığı aylarda, fazla ısı depolanıp 400 kWh değerine ulaşmayan saatlerde kullanılmalıdır.

9. Sonuç

Çizelge 7.4. Tüm sistem için ORC sistem ile 15 Aralık'ta elde edilen değerler

Komor Adaları'nda elektrik enerjisi üretmek için parabolik oluk sistemi kullanılmıştır. 108 kolektörden oluşan ve her kolektörün elektrik kapasitesi 5 kW'e olan bu sistem, ORC türbinli sistemi ile Komor Adaları'nda elektrik enerjisi üretiminin teorik incelemesi yapılmıştır. Elektrik üretiminin aşamasında çevrimde ısı transfer akışkanı olarak Solkane programından alınan organik akışkan R123 kullanılmıştır. Hesaplamalara göre en düşük güneş ışıması olan ayda saatte elde edilen maksimum elektrik enerjisi 199 kWh olarak bulunmuştur ve bu değer saat 12:00'de üretilmiştir. Ayrıca sistemin termal verimi % 16 olarak hesaplanmıştır. Bu sistemde Komor Adalarına düşen güneş ışınlarının en düşük ayına göre yapılan hesaplamalarda saatte 400 kWh üretmek için 108 kolektör yerine 216 kolektör kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

Aylara göre elde edilen güneş ışımlarına bakıldığında, Komor Adalarının güneş enerjisi açısından yüksek potansiyelli bir ülke olduğunu görülmektedir. Parabolik oluk güneş kolektörlü, güneş enerjisi santrali tasarımından elde edilen sonuçlara göre, bu sistemin elektrik üretiminde ekonomik ve finansal olarak Komor Adaları için faydalı olacağı düşünülmektedir. Komor Adalarında elektrik üretiminde %95 oranında fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla fosil yakıtlara bağımlı olarak üretilen elektriğin fiyatı, 0,28 \$/kWh gibi yüksek bir değerdedir. Ayrıca yaşanan sürekli elektrik kesintileri Komor Adalarının ekonomisine ciddi bir şekilde zarar vermektedir. Bu duruma bir çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisi (parabolik oluk güneş kolektörü teknolojisi) ile enerji üretimine yönelmek önerilebilir.

Kaynaklar

- [1]Dinçer, F. (2011). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Dergisi, 14(1), 8-17.
- [2]Saber, B., & Aboura, O. (2019). Prédiction des performances d'un capteur cylindro-parabolique.
- [3]Kepekçi, H. İ. (2014). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Bileşenlerinin Analizi ve Tasarımı. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Bursa.
- [4]Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno- ekonomik Analizi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Kütahya.
- [5]Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina Dergisi, 56(671), 28-40.
- [6]Kocakuşak, R. (2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin, Türkiye'deki önemi ve ges kurulum araştırması. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, İstanbul.
- [7]Yalçınkaya, Ç. (2019). Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Takip Sistemlerinin İyileştirilmesi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Isparta.
- [8]Güngül, M., Bayraç, H. N., & Güllü, M. (2018). Türkiye'de Konutlarda Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin TOPSIS Yöntemiyle Analizi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(3), 133-144.
- [9]Doğan, M. (2019). Güneş enerjisi santrallerinin incelenmesi ve verimlilik analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Sakarya.
- [10]Şanlı, G. (2010). Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin teorik olarak incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, Denizli.
- [11]Arslan, Ö. (2019). Yerleşkeler İçin Odaklamalı Güneş Enerji Sistemlerinden Enerji İhtiyacının Karşılanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, İSPARTA.
- [12]Ly, E. H. (2017). Analyse et Modélisation d'un Capteur Cylindro-Parabolique. Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou, Faculté du Génie de la Construction, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master, 52p, Algérie.
- [13]Şentürk, A. E. (2013). Bir entegre güneş kombine çevrim santrali fizibilite çalışması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, İstanbul.
- [14]UDC. (2018). Développement des statistiques du bilan énergétique et d'un modèle de système énergétique pour l'Union des Comores. https://Archive.Uneca.Org/Sites/Default/Files/Images/SROs/EA/French/Developpement_des_statistiques_du_bilan_energetique_et_dun_modele_de_systeme_energetique_pour_lunion_des_comores.Pdf (21/11/2021), 1-56. www.uneca.org
- [15]MweziNet. (2009). L' Energie aux Comores. <http://Www.Comores-Online.Com/Mwezinet/Energie/Cee.Htm>, Erişim Tarihi: 14.07.2021.
- [16]Moindze, A. M., Kassim, M. A., & El-ganaoui, M. (2014). Etude sur la Vulnérabilité des Systèmes Photovoltaïques Utilisés aux Comores. Colloque International Francophone d'Energétique et Mécanique, CIFEM 2014, Moroni, Comores, 1-6.
- [17]Mehellou, S. (2018). Pompage optique des lasers par faisceau solaire. Université Kasdi Merbah

Ouargla, Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Thèse de Doctorat, 171p, Algérie.

- [18] Kılıç, A., & Öztürk, A. (1983). Güneş Enerjisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, Türkçe, 1-331s, İstanbul.
- [19] Yassen, T. A. (2012). Experimental and Theoretical Study of a Parabolic Trough Solar Collector. *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 5(1), 109–125.
- [20] Abed, N., & Afgan, I. (2020). An extensive review of various technologies for enhancing the thermal and optical performances of parabolic trough collectors. *International Journal of Energy Research*, 44(7), 5117–5164.
- [21] Cıçibıyık, C. (2012). Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü ile Enerji Üretimi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, ANKARA.
- [22] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. In *Design Studies* (Fourth Edi, Vol. 3, Issue 3). [https://doi.org/10.1016/0142-694x\(82\)90016-3](https://doi.org/10.1016/0142-694x(82)90016-3)



Araştırma Makalesi/Research Article

Ardışık kavşaklarda trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü

Ahmed Aycan Gençkal¹, Tuna Göksu¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Bulanık Mantık
Gömülü Sistem
Trafik Sinyalizasyonu
STM32F4

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 31.01.2022
Kabul Tarihi: 20.04.2022

Öz: Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılmıştır. Trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler haftanın günlerine ve günün saatlerine göre trafik yoğunluğu verisi şeklinde kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Yoğunlukların değişken olduğu saatler için kavşakların tüm kollarında araç sayısı ve bekleme süreleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturularak kavşak için bilgisayar ortamında bir model oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir. Ulaşılan sonuçlar ve tablolar verilmiştir. Tez çalışması kapsamında arka arkaya gelen kavşaklar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile diğer yöntemler arasındaki yapılan karşılaştırmalar sonucunda elde edilen yakıt tasarrufunun daha yüksek, salınımı önlenen CO₂ miktarının daha fazla ve trafik akışının daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Toplamda ardışık seçilen iki kavşak için yılda ortalama 455.844,78 litre yakıt tasarrufu sağlanabileceği gösterilmiş, bu sayede 1.030,2 ton CO₂ salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 46826 ağaç kurtarılacağı gösterilmiştir.

Atf için/To Cite:

Gençkal A. Göksu T. Ardışık Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyonunun Gömülü Sistem Ve Bulanık Mantıkla Kontrolü. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 40-49, 2022.

Embedded system and fuzzy logic control of traffic signaling at consecutive intersections

Keywords

Fuzzy Logic
Embedded System
Traffic Signalization
STM32F4

Article history:

Received: 31.01.2022
Accepted: 20.04.2022

Abstract: In this study, the control of traffic signaling with embedded system and fuzzy logic was performed. Red light durations are optimized by recording the data at the traffic intensive intersections as traffic density data according to the days of the week and hours of the day. For the hours when the intensities are variable, the number of vehicles and waiting times are recorded in all branches of the intersections. Inspired by these data, a model for the intersection was created in the computer environment by creating the approximate number of vehicles entries. The fuzzy model used in simulation is the Mamdani method. The method used in defuzzification is the centroid, that is, the center of gravity. Achieved results and tables are given. Intersections to be used within the scope of the thesis will be interchanges that will come one after another. As a result of the comparisons between the method used in this study and the other methods, it was concluded that the fuel savings are higher, the amount, the amount of CO₂ prevented from being released is higher and the traffic flow is faster. It has been shown that an average of 455,844.78 liters of fuel can be saved per year for two consecutively selected intersections in total, and 46826 trees per year can be saved, together with the prevention of 1,030.2 tons of CO₂ emissions.

1. Giriş

Trafik sinyalizasyonunun amacı taşıtları minimum sürelerde bekleterek trafik akışını hızlandırmak, CO₂ salınımı azaltarak ekolojik sistemin zarara görmesini

engellemek, fosil yakıtların tüketiminin minimuma indirilmesini sağlamaktır. Bu konu ile ilgili çalışmaların geçmişi eskiye dayanmakla beraber, algılama, karar verme teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte güncelliğini muhafaza etmektedir.

* İlgili yazar/Corresponding author: aycangenc95@hotmail.com

Dört yönlü bir trafik kavşağındaki trafik lambalarının sinyalizasyon sistemi, bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, trafiğin yoğunluğu bazı elektronik devreler ile yapay olarak oluşturulmuş ardından deney bu düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın neticesinde, sadece sabah trafiğinde kullanılan normal yoğunluklu trafik sinyalizasyonu ve bulanık mantık kullanılarak yapılan trafik ışıklarının sinyalizasyonuna göre rötar ve bekleme değişkenlerinde yaklaşık %19'luk bir değişimle üstünlük sağlamıştır. Ama diğer bütün durumlarda ise bulanık denetim kullanılan trafik sinyalizasyon kontrol sisteminde, standart sisteme kıyasla rötar ve bekleme değişkenlerinde minimum % 45'lik değişimlerle üstünlük sağlandığı görülmüştür [2].

Güler (2013), ulaşım ağlarındaki trafik yoğunluğunu önlemek amacıyla, tıkanıklığa sebep olan kavşakların uyarlamalı kontrolünü sağlayan ve mantık olarak kural tabanlı çalışan bir algoritma önerisinde bulunmuştur. Kavşakta bulunan araçların sayısını (tüm yönlerdeki kuyruk uzunluğunu) ve bu sayıdaki artışı gözlemleyen algoritma için en iyi ışık süresini bir sonraki döngüde kullanılmak üzere ayarlamaktadır. Bu şekilde her kavşağın kendi sinyal sürelerini belirleyebilmesi, gecikmeleri, kavşakta bekleme sürelerini azaltmakta ve mevcut kavşağın en iyi verimlilikte çalışmasını sağlamaktadır. Kural tabanlı çalışan model kavşak oluşturulurken gerçek trafik verilerine benzer değerler kullanılmış ve bu değerler ile eğitilen kural blokları normal bir kavşağa göre %20-%30 daha çok taşıtın kavşağı boşaltmasına olanak sağlayan bir çeşit algoritma meydana getirmiştir[8].

Dağüstü (2010), tez çalışmasında kavşak trafiğinin kontrolü için bir çeşit sinyal zamanlama modeli geliştirmeye çalışmıştır. Bu çalışmasında Webster (İngiliz) metodu yardımıyla sinyal zamanlama algoritması geliştirmiştir ve bu algoritma ile İstanbul'daki bazı sinyalizasyon kavşaklarının mevcut devre süresini hesaplamıştır. Bu algoritma yardımıyla hesaplanan süreler; mevcut durumda kullanılan süreleri VISSIM trafik analiz ve simülasyon programı yardımıyla analiz etmiş ve bazı performans kriterlerine göre karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada performans kriteri olarak taşıt basına olacak şekilde ortalama gecikme süresi, ortalama durma süresi, ortalama duruş sayısı, toplam NOx ve CO emisyonu, yakıt sarfiyatı, gözlenen bir saatlik sürenin içerisinde kavşağı terk eden araç sayısı ve toplam seyahat süresini almıştır. Bulunan süreler uygulandığında kavşağın performansında düzeltilmeler olduğunu tespit etmiştir[9].

Çakır vd. (2009), yaptığı çalışmasında gerçekleştirdiği sistemi değişken zamanlı kontrol mantığına dayalı şekilde çalıştırmıştır. Oluşturulan bu sistemle kavşaklardaki trafik azaltılmakta ve trafik akışı

arttırılmaktadır. Çift yönlü bir kavşaktaki trafiği, akıllı algoritmalar ile düzenlemiş ve bu doğrultuda yollara yerleştirdiği sensörlerden aldığı verilerle, trafik akış fazlalığına göre trafik lambalarının yanma sürelerini PLC'de ayarlanmıştır. Sensörlerden gelen bilgiler PLC'deki yazılım ile işlenmekte ve sonuç trafik ışıklarına yani çıkışlara aktarılmaktadır. Eğer kavşaktaki bir yolun trafik kalabalıklığı (araç sayısı) diğerine göre daha çoksa bu yoldaki yeşil ışık yanma süresi daha uzun yanmaktadır. Ayrıca kavşaklara yerleştirilen algılayıcılar vasıtasıyla, araçların belli bir mesafeyi ne kadar sürede aldıklarının belirlenmesi mantığı ile, iki algılayıcı arasındaki mesafeyi aracın iki algılayıcı arasını alma zamanına bölerek, araçların kavşağa giriş hızlarını da tespit edilebileceğini belirtmiştir[10].

Jha ve Shukla (2014), çalışmalarında MATLAB programı kullanılarak trafik modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarının temelinde çok girişli ve tek çıkışlı kuyruk teorisi modeli yer almaktadır. MATLAB programında "SimEvent" araç kutusunu kullanmışlardır. Trafik denetleyicisi, acil araç hareketlerini algılayan sensörler yardımıyla ambulans, polis, itfaiye, vb. araçlara öncelik verir ve durumun aciliyetine göre o bölgeye tercih edilen sinyali iletmektedir[11].

Üçüncüoğlu (2015), çalışmasında gelişmiş ülkelerin sonuçlanmış AUS (Akıllı Ulaşım Sistemleri) mimarilerini incelemiş ve İstanbul kent-içi trafik optimizasyonu için mantıksal bir mimari geliştirme önerisi hazırlamıştır[12].

Akbulut vd. (2019), çalışmalarında MATLAB programındaki fuzzy logic yani bulanık mantık yardımıyla değişen trafik hacmine ve araç hızlarına bağlı olarak izole kavşaktaki yeşil ışık sürelerinin modellemesini yapmışlardır. Sonuç olarak yeşil ışık süresi ile zirve saat faktörünün ilişkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu şekilde sinyalizasyon bir kavşakta kullanılacak sistemler ile yeşil ışık süresinin geçiş önceliğine göre ayarlanacağı ve trafik sıkışıklığının önüne geçileceğini vurgulamışlardır[13].

Harb vd. (2019), makalelerinde kavşaklar için trafik sinyalizasyon kontrolünü gerçek zamanlı sistemin bulanık mantık yöntemi tasarımını ve uygulamasını yapmışlardır. Çalışmalarında dört yönlü bir kavşak seçmişler ve bu kavşakta trafik ışıklarının akıllı denetim mekanizmasıyla gerçek verilerin kullanımıyla klasik ve bulanık mantık (BM) yöntemlerini kullanarak bir kontrol çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında MATLAB programını kullanmışlar ve sonuç olarak klasik denetleyiciler ve bulanık mantık denetleyicilerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Giriş verileri olarak araç sayısı kullanılmış, çıkış verisi olarak ise bulanık mantık kuralları ile belirlenen yeşil

ışık süresi seçilmiştir. Burada elde edilen aynı değerler klasik yöntemde de kullanılmış, bu sayede bulanık mantık yönteminin daha etkili olduğunu göstermişlerdir[14].

Gonca (2019), çalışmasında sinyalizasyon kontrol tekniklerinin uygulanma şekillerini, bu uygulamalardan yüksek verimli güncel çözüm yöntemlerinden adaptif trafik yönetim sistemine ait teknikler, kullanılan yapay zeka yöntemleriyle ürün haline gelebilmesi için gerekli olanlar ve sisteme dair fayda analizinde bulunmuştur[15].

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından temeli atılmış bulanık mantık (fuzzy logic) kavramı, diğer mantık kavramlarına bir alternatif getirmiş, sibernetik ile ilgili bilimlerde ciddi derecede gelişmeleri, yapay zekâ ve sibernetik çalışmalarını hızlandırmıştır. Bulanık mantık temelli kontrolörler çıkış değerlerinin hesaplanabilmesi için insan beyninin karar verme yapısını taklit eden kural tabanlı sonuç çıkarım yapısına sahiptir. Ortam sıcaklığı gibi parametrelerinin düzenlenmesi amacı ile bulanık gömülü kontrolör kullanılması havalandırma ve ısıtmaya yönelik enerji sarfiyatını minimuma indirmek için oldukça etkili bir yaklaşım sunar. Bulanık Mantık günlük hayatta kullanılan ve davranışların yorumlandığı yapıya ulaştıran bir matematiksel disiplindir. Bu kavram yaşamın birçok yerinde görülmektedir. Bulanık mantık yüksek, orta ve düşük değerlerden oluşur. Bunun yanında; çok yüksek, orta ve çok düşük gibi değerleri de içerir. Temelini bulanık kümelerin oluşturduğu bulanık mantığın en temel konusu bulanık kümelerdir. Klasik küme yaklaşımında, elemanlar o kümeyle ait (1) ya da değil(0) şeklinde belirlenir. Fakat Bulanık Mantık yaklaşımında elemanların o kümeyle aitliği 0 ve 1 arasında değişkenlik gösterir. Herhangi bir sıcaklık değeri klasik kümeyle göre ya sıcaktır ya da değildir. Bulanık mantıkta ise kümeyle göre bu sıcaklık kendi içinde üyelik derecesine sahiptir. Örneğin; 5 °C sıcaklık değeri çok düşük kümesine 0.5 üyelik derecesi ile girerken, 0.667 üyelik derecesi ile düşük kümesine ait olabilir. Bulanık mantık denetleyici sistemlerinde ilk olarak ne yapılması gerektiğine karar vermek ardında da bulanık mantık kural tablosunu oluşturmak gerekmektedir. Bu yazılan kurallar sonucunda sistem kontrol edilir. Bulanık mantığın çalışma durumu oluşturulan kurallardan oluşan çıkarımlar olarak ele alınabilir[16].

Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılmıştır. Trafik yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler haftanın günlerine ve günün saatlerine göre trafik yoğunluğu verisi şeklinde kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. 01.09.2020 tarihinde salı günü saat 18.30'da iş çıkış saatinde Antalya'da bulunan eski

Kırcami Diş Tedavi ve Protez Merkezi önündeki Kırcami Kavşağı ve ardışık olarak gelen Laura Kavşağında incelemeler yapılarak bir tam turun süresi, kırmızı ve yeşil ışık süreleri ve ışıklardaki araç sayılarının sayılması sonucu elde edilen verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturulan bulanık mantık sistemine göre STM32F4 mikrodenetleyici kartına aktarılan kural tablosuyla analiz yapılarak kırmızı ışık süreleri belirlenmiştir. Bu verilerin toplanması ile bilgisayar ortamındaki simülasyon programında kavşaklar için Waijung blok setleri ile bulanık mantık blokları yardımıyla meydana getirilen kontrol yapısı STM32F4 mikrodenetleyicisine aktarılmasıyla bir yöntem elde edilmiştir. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir.

Palandız (2018), yaptığı çalışmada 17 turun sonucunda klasik yöntem ve bulanık yöntem kullanarak ortalama %8,62 yakıt tasarrufu sağlanmıştır[1]. Bu çalışmada ise ardışık gelen ikinci kavşak için 5 turun sonucunda klasik yöntem ve bulanık yöntemi kullanılarak %57,22'ye varan yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

2. Materyal ve metod

2.1. Materyal

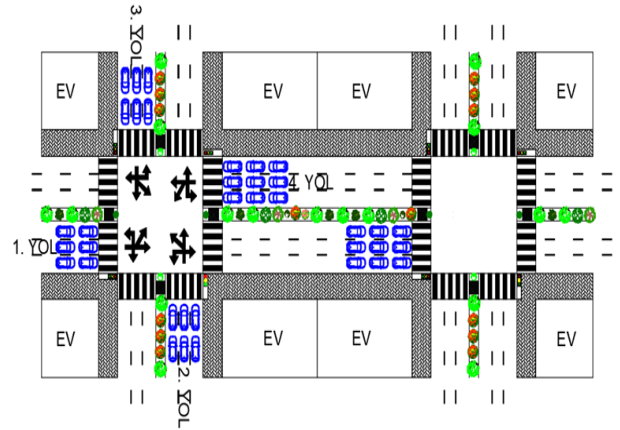
Bu çalışmada, Trafik Sinyalizasyonunun Gömülü Sistem ve Bulanık Mantıkla Kontrolü yapılarak trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki veriler kayıt edilerek kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Yoğunlukların değişken olduğu saatler için kavşakların tüm kollarında kuyruktaki araç sayısı ve bekleme süreleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu verilerin toplanması ile kavşak için bilgisayar ortamında bir model oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir. Ulaşılan sonuçlar ve tablolar gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. Bunun sebebi tıpkı yeşil dalga sistemindeki gibi birbirini takip eden kavşaklar olmalı ki araçlar minimum bekleme süresi ile seyahat etsinler. Yeşil dalga sisteminde varsayımlara göre yapılan hesaplar yerine bulanık mantık sayesinde varsayımla değil her tur başına ayrı hesap yapıldığı için mümkün olan en ideal ışık süreleri elde edilerek sistemin çalışması sağlanmıştır.

2.2. Metod

Oluşturulan bu sistemin hesaplamaları ve analizleri MATLAB yazılımı yardımıyla elde edildi ve bu çalışmamızın metot bölümünü oluşturmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. 01.09.2020 tarihinde salı günü saat 18.30 da iş çıkış saatinde Antalya bulunan eski Kırcaami Diş Tedavi ve Protez Merkezi önündeki Kırcaami Kavşağında kavşağın bir köşesinden cep telefonu ile ultra geniş açılı balıkgözü lens takılarak tüm yollardaki araçları aynı anda görebilecek şekilde 5 tur için kamera kaydı alınmıştır. Hemen sonrasında ardışık olarak gelen Laura Kavşağında kavşağın bir köşesinden cep telefonu ile ultra geniş açılı balıkgözü lens takılarak tüm yollardaki araçları aynı anda görebilecek şekilde 5 tur için kamera kaydı alınmıştır. Bu kayıtlar daha sonra izlenerek araç sayıları sayılmıştır ve incelemeler yapılarak bir tam turun süresi, kırmızı ve yeşil ışık süreleri ve ışıklardaki araç sayılarının sayılması sonucu elde edilen verilerden esinlenerek yaklaşık tahmini araç sayısı girişleri oluşturulan bulanık mantık sistemine göre STM32F4 mikrodenetleyici kartına aktarılan kural tablosuyla analiz yapılarak kırmızı ışık süreleri belirlenmiştir. Ardışık 2 kavşaktan birinci kavşak için birinci bulanık sistem ve kural tablosu oluşturulmuştur.

2.3. Bulanık mantık sisteminin tasarımı

Ardışık 2 kavşaktan birinci kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Çıkış parametresi ise, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanlarının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. İncelenen kavşağın çizimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İncelenen kavşağın çizimi

Ardışık 2 kavşaktan 2. kavşak için ikinci bulanık sistem ve kural tablosu oluşturulacaktır. 2. kavşağa 1. kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen ve 4.yoldan gelen olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yaklaşım için araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Çıkış parametresi ise, kavşaktaki bulunan trafik lambasının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Diğer bir deyişle, araç sayısına göre kırmızı ışık yanma süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İkinci kavşağa yaklaşan yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Tasarlanan bu bulanık mantık sisteminin tüm üyelik fonksiyonları alanında uzman ve daha önce bulanık mantık sistemleriyle çalışan kişilerin yardımlarıyla uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Kural tabloları oluşturulmuştur. MATLAB Simulink içerisinde waijung blok setlerinden sistemin blok tasarımı yapılmıştır ve fuzzy bloklarının içerisine kural tabloları eklenmiştir.

2.4. Fuzzy bloğu

Bulanık mantık kullanılarak girişlere yazılan kurallara göre sonuçları değerlendirerek çıkış verilerine karar veren blok fuzzy bloğudur [5].

Çalışmada, ardışık 2 kavşaktan birinci kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar az, orta ve çoktur. Tablo 1' de görülmektedir.

Tablo 1. Birinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları tablosu

Giriş fonksiyonları	Giriş fonksiyonlar aralıkları
Az(A1)	0-50
Orta(A2)	30-90
Çok(A3)	70-120

Ardışık kavşaklardaki çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Araç sayısındaki değişimler göz önüne alınarak kırmızı ışık yanma zamanlarının kaç saniyeye ayarlanması amaçlanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yol için ayrı ayrı kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar kısa, orta ve uzundur, tablo 2' de görülmektedir.

Tablo 2. Birinci kavşak için çıkış üyelik fonksiyonları tablosu

Çıkış fonksiyonları	Çıkış fonksiyonlar aralıkları
Kısa(S1)	0-50
Orta(S2)	30-90
Uzun(S3)	70-120

Verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına göre birinci kavşak için kurallar yazılmıştır. Kural tablosu bulanık sistemin akıllıca bir çıkış üretebilmesi içindir. Üretilen çıkışın ardından sıradaki aşama durulaştırmadır. Bu çalışmada sistemin daha stabil olabilmesi için 81 kural oluşturulmuştur. Dört giriş ve dört çıkışlı bu sistemde toplam yazılabilecek kural sayısı üyelik fonksiyon değerleri arttırılarak çoğaltılabilir ve bu sayede hata payı azalır. Bu kuralları oluşturmanın en önemli adımı ise yolların bütünlüğünü mümkün olduğu kadar bozmadan oluşturmaktır. Durulaştırma işlemi kullanılan yöntem centroid yani ağırlık merkezi yöntemidir.

Ardışık 2 kavşaktan 2. Kavşağa 1. Kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen, ve 4.yoldan gelen olarak tanımlanmıştır. Belirtilen dört yaklaşım için araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar Tablo 3'te ikinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. İkinci kavşak için giriş üyelik fonksiyonları tablosu

Giriş fonksiyonları	Giriş fonksiyonlar aralıkları
Az(A1)	0-35
Orta(A2)	15-75
Çok(A3)	55-100

Ardışık kavşaklardan ilkindeki gibi ikinci kavşakta da çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmış ve ikinci kavşağa yaklaşan dört yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında birbirinden ayrı bağımsız olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır. Belirtilen yol için ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar kısa, orta ve uzundur. Tablo 4'da görülmektedir.

Tablo 4. İkinci kavşak için çıkış üyelik fonksiyonları tablosu

Çıkış fonksiyonları	Çıkış fonksiyonlar aralıkları
Kısa(S1)	0-70
Orta(S2)	30-90
Uzun(S3)	50-120

Verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına göre ikinci kavşak için kurallar yazılmıştır.

Kural sayısı arttırılarak hata payı azaltılabilir. Kural tablosunun sayısı, üyelik derecesinin üzeri üyelik fonksiyonu sayısı şeklinde bulunur.

Buradan hareketle giriş için 3 üyelik derecesi ve 4 üyelik fonksiyonu olması sebebiyle $3^4=81$ adet kural oluşturulmuştur. Üyelik derecesinin sayısı 4 yapılarak $4^4=256$ kural oluşturulabilir ve hata payı azaltılabilir. Kural sayısının fazla olmasının dezavantajı da sistemin yanıt verme süresini uzatmasıdır.

İki kavşak için de oluşturulan bulanık sistemler MATLAB simulink ortamında simüle edilmiştir. Tasarımın klasik yöntem ve bulanık mantık yöntemi ile simüle edilerek elde edilen sonuçlarının karşılaştırmaları yapılabilmektedir. Birinci bulanık sistemin kurallarının yazılıp eklenebilmesi için MATLAB içerisinde Command Window kısmına "fuzzy" yazarak bulanık mantık penceresi açılır. Bu aşamada kurallar eklenir. Kuralların çıktısı dışa aktar yapılır. Bu sayede .fis uzantılı dosya oluşturulmuş olur. Bu dosya Simulink içindeki bulanık sistemin simülasyon ekranında fuzzy bloğu içerisine tanımlanmıştır. İkinci bulanık sistemin kurallarının yazılıp eklenebilmesi için MATLAB içerisinde Command Window kısmına "fuzzy" yazarak bulanık mantık penceresi açılır. Bu aşamada kurallar eklenir. Kuralların çıktısı dışa aktar yapılır. Bu sayede .fis uzantılı ikinci bir dosya oluşturulmuş olur.

Bu dosya Simulink ikinci bulanık sistemin simülasyon ekranında fuzzy bloğu içerisine tanımlanmıştır. MATLAB Simulink içerisinde waijung blok setlerinden sistemin genel blok tasarımı yapılmıştır ve Fuzzy Bloklarının içerisine .fis uzantılı kural tabloları eklenerek analizler yapılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında kullanılan kavşaklar arka arkaya gelen ardışık kavşaklar olarak seçilmiştir. Simülasyon yapılabilmesi için giriş ve çıkışlar tespit edilmelidir. Bunun için sistemdeki giriş çıkışlara verilen isimler sözel olarak isimlendirilmiş ve üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Ardından kural tablosu oluşturulmuş ve sonra bulanıklaştırma işlemine geçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının birbiri içine az bir miktar geçmesi sistemin daha az hata payı ile çalışmasını sağlamıştır. Gaussmf yani gaussian üyelik fonksiyonu yerine daha kısa sürede daha doğru sonuçlar Trimf yani üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Sonraki aşama çıkarım aşamasıdır, burada kullanılan bulanık model Mamdani yöntemidir. Durulaştırmada kullanılan yöntem ise centroid yani ağırlık merkezleri yöntemidir

Ardışık 2 kavşaktan 1. kavşakta bulunan yollar sırasıyla 1.yol, 2.yol, 3.yol, ve 4.yol olarak tanımlanmıştır, araç yoğunlukları 0-120 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "az (A1)", "orta (A2)", "çok (A3)" dur. Çıkış parametresi, kavşaktaki bulunan trafik lambalarının kırmızı ışık yanma zamanı olarak saptanmıştır. Kırmızı ışık süreleri sırasıyla 1.ışık, 2.ışık, 3.ışık ve 4.ışık olarak tanımlanmıştır, kırmızı ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "kısa (S1)", "orta (S2)", "uzun (S3)" dur.

Ardışık 2 kavşaktan 2. kavşağa 1. kavşaktan yaklaşan araçlar 1.yoldan gelen, 2.yoldan gelen, 3.yoldan gelen, ve 4. yoldan gelen olarak tanımlanmıştır, araç yoğunlukları 0-100 araç sayısı olarak belirlenmiş ve hepsi için üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "az (A1)", "orta (A2)", "çok (A3)" dur. İkinci kavşağa yaklaşan dört yol için kırmızı ışık süresi 0-120 saniye aralığında birbirinden ayrı bağımsız olacak şekilde belirlenmiştir. Kırmızı ışık süresi "ışık süresi" olarak tanımlanmıştır. Belirtilen yol için ışık yanma süreleri 0-120 saniye olarak belirlenmiş ve üç adet üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu atanmıştır. Bunlar: "kısa (S1)", "orta (S2)", "uzun (S3)" dur. İki kavşak için de oluşturulan bulanık sistemler MATLAB simulink ortamında simüle edilmiştir. Tasarımın klasik yöntem ve bulanık mantık yöntemi ile simüle edilerek elde edilen sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır.

Birinci kavşaktaki fuzzy sisteminin baştan sona kendini tekrarlamasını 1 tur farz ederek sistemin 5 tur boyunca

aynı koşullarda bulanık mantık yöntemi ve klasik yöntem ile ilgili yakıt ve CO₂ karşılaştırması yapılmıştır ve bulanık mantık yöntemi sayesinde birinci kavşağın 1. turunda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 0,42 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 1. tur sonunda 0,95 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile her yol için harcanan yakıt miktarlarının toplamı, klasik yöntem ile her yol için harcanan yakıt miktarlarının toplamına bölüldüğündeki bölümün, 1'den çıkartılması sonucu bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %9,32 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlandığı görülmüştür.

2. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,68 litre daha az olduğu görülmüş, aynı şekilde 2. tur sonunda 6,05 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür.

3. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 1,87 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 3. tur sonunda 4,23 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %32,18 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

4. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,19 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 4. tur sonunda 4,94 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %33,23 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

5. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,49 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 5. tur sonunda 5,63 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %41,49 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

İkinci kavşaktaki fuzzy sisteminin baştan sona kendini tekrarlamasını 1 tur farz ederek sistemin 5 tur boyunca aynı koşullarda bulanık mantık yöntemi ve klasik yöntem ile ilgili yakıt ve CO₂ karşılaştırması yapılmıştır ve bulanık mantık yöntemi sayesinde 1. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 2,02 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 1. tur sonunda 4,56 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %47,94 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

2. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,39 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 2. tur sonunda 7,65 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem göre %54,22 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

3. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,44 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 3. tur sonunda 7,79 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %53,11 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır.

4. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 4,07 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 4. tur sonunda 9,19 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %57,22 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır

5. turda boşta harcanan toplam yakıt miktarının 3,45 litre daha az olduğu görülmüştür, aynı şekilde 5. tur sonunda 7,80 kg daha az CO₂ salınımı görülmüştür. Bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntemle göre %55 yakıt tasarrufu ve CO₂ salınımı sağlanmıştır

4. Sonuç ve öneriler

Türkiye'deki araçların %24,4 ü benzinli, %36,7 si LPG'li, %38,3 ü dizeldir. [7].

Bir litre benzin yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ miktarı 2.39kg [6].

Bir litre LPG yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ miktarı 1.91kg [6].

Bir litre mazot yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ miktarı 2.65kg [6].

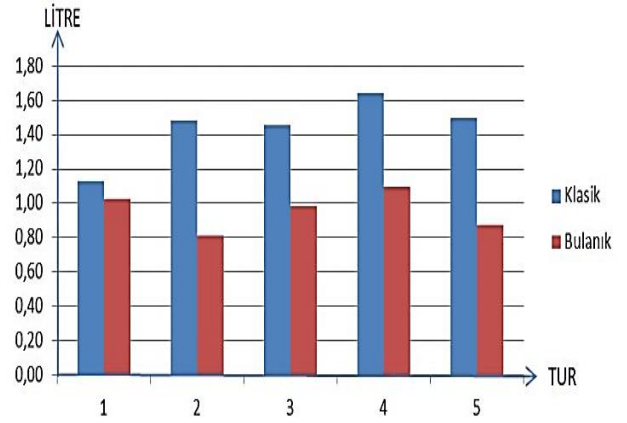
Araç motorları genellikle rölantide 0.3-2.5lt/saat oranında yakıt tüketirler. [7].

Bir ağacın yılda ortalama emdiği CO₂ miktarı 22kg [3].

Bu araştırmaların sonucuna göre Türkiye'deki araçların ortalama yakıt tüketimi 23ml/dk olarak belirlenmiş ve tezdeki elde edilen veriler bu doğrultuda oluşturulmuştur. Bu araştırmaların sonucuna göre 1 litre yakıttaki ortalama CO₂ salınımı 2,26kg olarak saptanmıştır ve elde edilen veriler bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Tablo 6'da görüldüğü üzere yılda ortalama 169.058,51 litre yakıt tasarrufu sağlanabilir, bu sayede 382,07 ton CO₂ salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 17.366 ağaç kurtarılabilir. Beş turun sonucuna göre birinci bulanık sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Birinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2'de iki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 2. tur ve 5. turda daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Birinci sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği

Birinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin tamamında klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu ve daha az CO₂ salınımına sebep olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 10 dakikalık, 1 saatlik, 8 saatlik, 1 aylık ve 1 yıllık süre sonunda ne kadar kazanç sağladığı Tablo 5 ve Tablo 6'da görülmektedir.

Beş turun sonucuna göre ikinci bulanık sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği Şekil 5'de verilmiştir. İkinci kavşakta Bulanık Mantık Yöntemi ile Klasik Yöntem karşılaştırıldığında Bulanık Mantık Yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük boşta harcanan yakıt miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 4. turda daha yüksek olduğu Şekil 3'de görülmektedir.

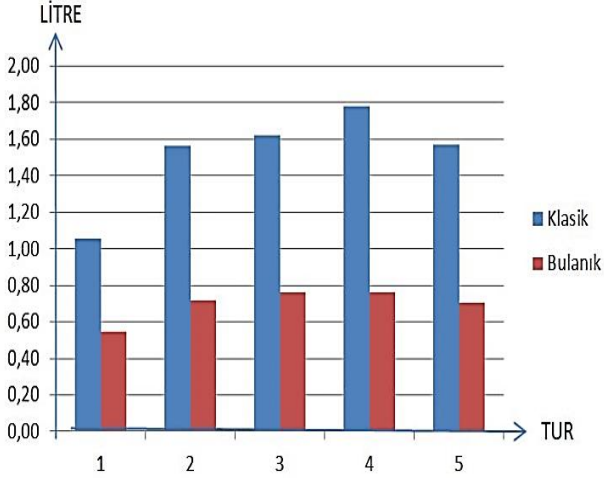
Tablo 5. Birinci kavşak için yakıt ve CO₂ salınımının 1 saate kadarki tasarruf miktarları

5 Turun Ortalama Değerleri (10dk'lık)	1 Saatin Ortalama Değeri
Toplam Yakıt Tasarrufu (lt)	9,65
Her Turdaki Ort. Yakıt Tasarrufu (Lt)	1,93
Salınımı Önlenecek CO ₂ Miktarı (Kg)	21,81
Salınımı Önlenecek Ort. CO ₂ Miktarı (Kg)	4,36

Tablo 6. Birinci kavşak için yakıt ve CO₂ salınımının 1 yıla kadarki tasarruf miktarları

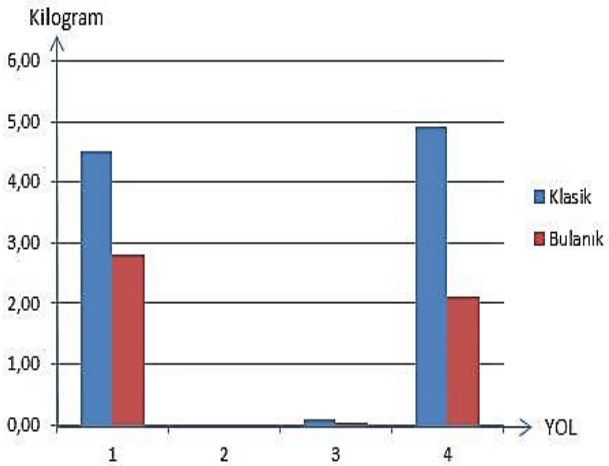
1 Saatin Ortalama Değeri	8 Saatin Ortalama Değeri	1 Aylık Ortalama Değeri (Ton)	1 Yıllık Ortalama Değeri (Ton)
57,90	463,17	13895,22	169058,51

130,85	1046,77	31,40	382,07
--------	---------	-------	--------



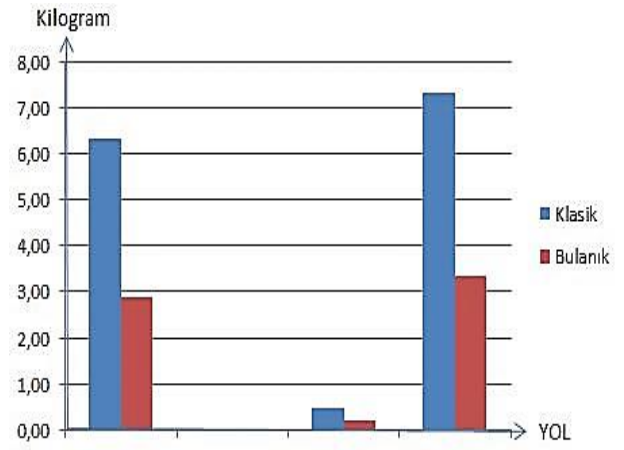
Şekil 3. İkinci sistemde yakıt tüketiminin sütun grafiği

İkinci kavşak 1. turda Bulanık Mantık Yöntemi ile Klasik Yöntem karşılaştırıldığında Bulanık Mantık Yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 4'de görülmektedir.



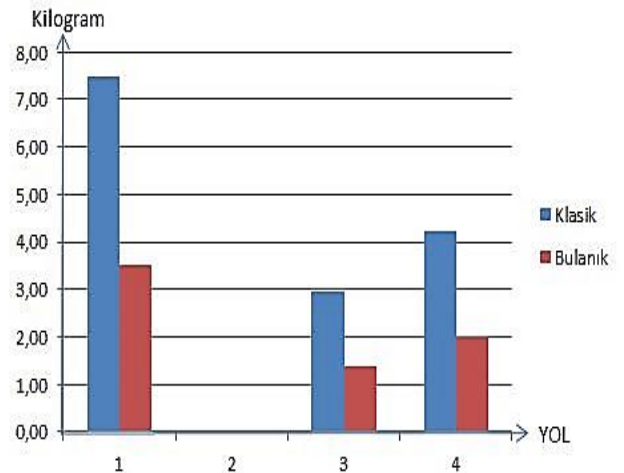
Şekil 4. İkinci kavşak birinci tur CO₂ salınımı grafiği

İkinci kavşak 2. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 5'de görülmektedir.



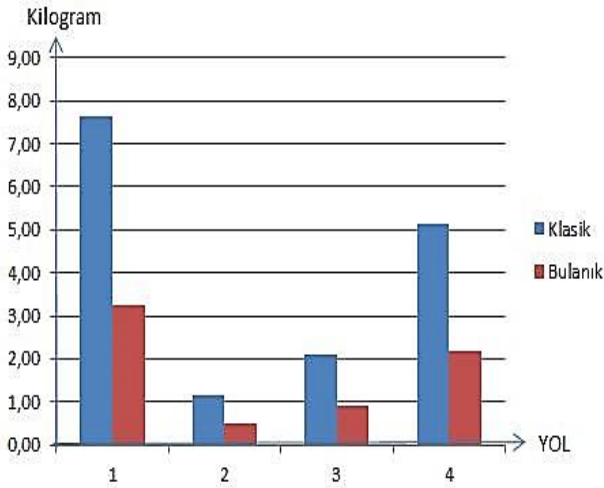
Şekil 5. İkinci kavşak ikinci tur CO₂ salınımı grafiği

İkinci kavşak 3. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4.yolda daha yüksek olduğu Şekil 6'da görülmektedir.



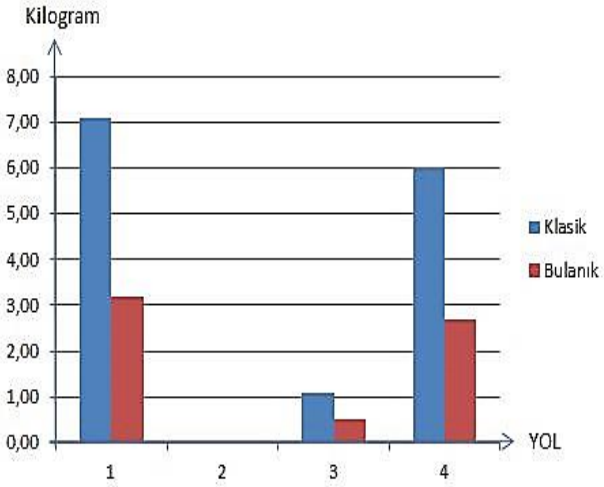
Şekil 6. İkinci kavşak üçüncü tur CO₂ salınımı grafiği

İkinci kavşak 4. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 2. ve 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. İkinci kavşak dördüncü tur CO₂ salınımı grafiği

İkinci kavşak 5. turda bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir yol için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 3. yol için daha az iken 1. ve 4. yolda daha yüksek olduğu Şekil 8'de görülmektedir.

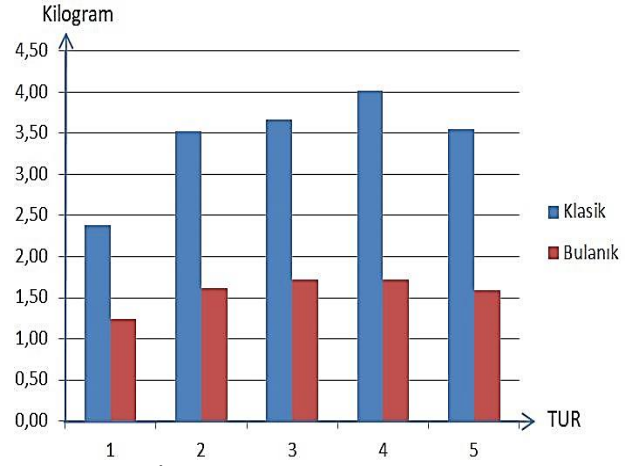


Şekil 8. İkinci kavşak beşinci tur CO₂ salınımı grafiği

İkinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin her bir tur için klasik yöntemden daha düşük CO₂ salınım miktarına sahip olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki farkın 1. tur için daha az iken 4. ve 5. turda daha yüksek olduğu Şekil 9'da görülmektedir.

İkinci kavşakta bulanık mantık yöntemi ile klasik yöntem karşılaştırıldığında bulanık mantık yönteminin tamamında klasik yöntemden daha düşük boşa harcanan yakıt miktarına sahip olduğu ve daha az CO₂ salınımına sebep olduğu görülmektedir. İki yöntem

arasındaki farkın 10 dakikalık, 1 saatlik, 8 saatlik, 1 aylık ve 1 yıllık süre sonunda ne kadar kazanç sağladığı Tablo 7 ve Tablo 8'de görülmektedir.



Şekil 9. İkinci kavşak için CO₂ salınımı grafiği

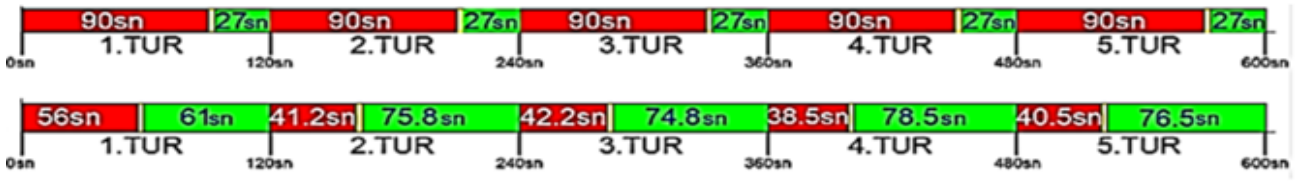
Tablo 7. İkinci kavşak için yakıt ve CO₂ salınımının 1 saate kadarki tasarruf miktarları

5 Turun Ortalama Değerleri (10dk'lık)		1 Saatin Ortalama Değeri
Toplam Yakıt Tasarrufu (lt)	16,37	98,21
Her Turdaki Ort. Yakıt Tasarrufu (Lt)	3,27	
Salınımı Önlenecek CO ₂ Miktarı (Kg)	36,99	221,96
Salınımı Önlenecek Ort. CO ₂ Miktarı (Kg)	7,40	

Tablo 8. İkinci kavşak için yakıt ve CO₂ salınımının 1 yıla kadarki tasarruf miktarları

1 Saatin Ortalama Değeri	8 Saatin Ortalama Değeri	1 Aylık Ortalama Değeri (Ton)	1 Yıllık Ortalama Değeri (Ton)
98,21	785,71	23571,23	286783,27
221,96	1775,70	53,27	648,13

Birinci kavşaktan hemen sonra gelen ardışık olan ikinci kavşağın sırasıyla üstte klasik yöntemle, altta bulanık yöntemle olan kırmızı ışık, sarı ışık ve yeşil ışık süreleri Şekil 10'da verilmiştir. Sarı ışık yanma süresi bir periyot için 3 sn kabul edilmiştir.



Şekil 10. Klasik ve bulanık yöntemle ışık sürelerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, trafik sinyalizasyonunun gömülü sistem ve bulanık mantıkla kontrolü yapılarak trafiğin yoğun olduğu ardışık kavşaklardaki kırmızı ışık süreleri optimize edilmiştir. Çalışmada bulanık mantık kullanılarak yapılan kavşak sinyalizasyonu ile klasik mantık kullanılarak kavşak sinyalizasyonu karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ile analizler MATLAB programında yapılmıştır. Kavşaktaki yolların araç yoğunluğuna göre değişen kırmızı ışık süreleri karşılaştırılarak çıkarımlar ve değerlendirmeler elde edilmiştir. Rölantide yakıt tüketim değerleri, salınan CO₂ değerleri ve kurtarılan ağaç sayısı saptanmıştır. Toplamda ardışık bu iki kavşak için yılda ortalama 455.844,78 litre yakıt tasarrufu sağlanabilir, bu sayede 1.030,2 ton CO₂ salınımının önlenmesiyle birlikte yılda 46826 ağaç kurtarılabilir.

Kaynaklar

- [1] Palandız T. *Trafik Sinyalizasyonunun Çeşitli Parametrelere Göre Bulanık Mantıkla Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2018.
- [2] Demirci O. *Akıllı Trafik Sinyalizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2007.
- [3] Yeni İnsan. Acaba Kişisel Olarak Karbon Ayak İzimi Ne Kadar? <https://yeniinsanyayinevi.com/karbon-ayak-izi-olcumu/> (Erişim Tarihi: 07.10.2021).
- [4] Rolanti nedir motor rolantide ne kadar yakıt tüketir? <https://www.sekizsilindir.com/2016/08/rolanti-nedir-motor-rolantide-ne-kadar.html> (Erişim Tarihi: 04.05.2020).
- [5] Mediaclick. Bulanık mantık (Fuzzy Logic) nedir? <https://www.mediaclick.com.tr/tr/blog/bulanik-mantik-fuzzy-logic-nedir> (Erişim Tarihi: 12.09.2021).
- [6] BRCTürkiye. Çevre Dostu LPG. <https://www.brcturkiye.com/haber/cevre-dostu-lpg> (Erişim Tarihi: 12.10.2021).
- [7] TÜİK. Motorlu Kara Taşıtları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Moto>
- [8] Güler, Z. *Akıllı Trafik Kontrol Sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [9] Dağüstü, H.Ş. *Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [10] Çakır, A., Çalış, H. & Dandıl, E. *PLC Tabanlı Dinamik Trafik Sinyalizasyon ve Araç Hız Ölçüm Sistemi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.
- [11] Jha, M. & Shukla, S. Design of fuzzy logic traffic controller for isolated intersections with emergency vehicle priority system using matlab simulation. <https://arxiv.org/abs/1405.0936> (Erişim tarihi: 02.04.2021).
- [12] Üçüncüoğlu, M. S. *İstanbul Kent İçi Trafik Yönetimi İçin Bir Mantıksal Mimari Plan Çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2015).
- [13] Akbulut, H., Güner, C., Yarcı, Ş., & Korkmaz, B. *Determination of traffic light time at signalized intersections with fuzzy logic method*. Jiciviltech, 1(1), 41-56, 2019.
- [14] Harb, A., Durdu, A. & Terzioğlu, H. *Kavşak trafik sinyalizasyon kontrolü için bulanık mantık yöntemi ile gerçek zamanlı sistemin tasarımı ve uygulaması*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı, 490-497, 2019.
- [15] Gonca, C.K. & Gülsün, B. *Adaptif trafik yönetim sistemleri*, Dergi Park, 2(1), 32 - 40, 2019.
- [16] Şenol, R., Gençkal, A. A. & Tosun, M.F. *Modern kontrol yöntemleri ile bulanık mantık temelli oda sıcaklık kontrolü*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 992-999, 2019.