



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

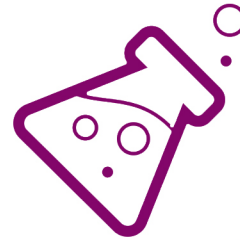
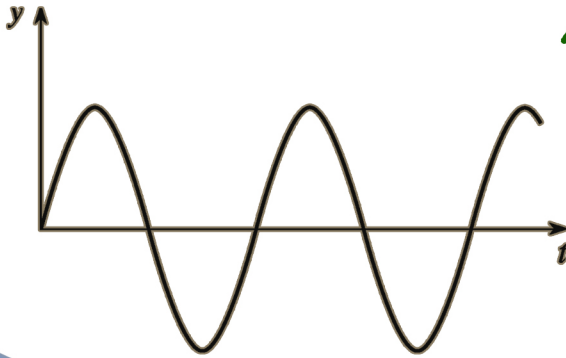
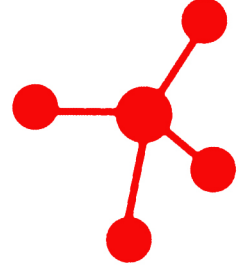
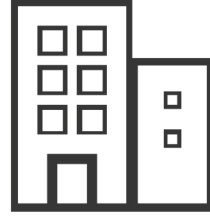
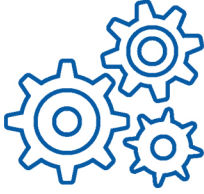
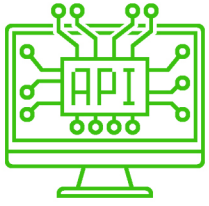
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 5

SAYI
ISSUE 8

HAZİRAN
JUNE

2018



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Cilt:5 Sayı:8

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA

Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Şerif ÇİTİL

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN

Yazışma Adresi / Correspondence

Address Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN(Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN..... (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdullah ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT(Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK(Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK(Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN(Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Yrd. Doç.Dr. Yaşar AYZ(İnönü Üniversitesi)
- 14-Yrd. Doç.Dr. Aysun ŞENER(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

Cbs Tabanlı Bulanık Mantık Ve Ahp Yöntemleri Kullanılarak Adıyaman İlçelerinin Deprem Tehlike Analizinin Oluşturulması

Creation of Earthquake Hazard Analysis of Adıyaman Province Via Gis-Based Fuzzy Logic and Ahp Methods

Cihan YALÇIN, Levent SABAH 101-113

Benzinle Çalışan Bir Motorda Terebentin Kullanımının Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi

The Effect of Using Turpentine On Engine Performance and Emissions of a Gasoline Engine

Yusuf BAŞOĞUL ,Hüseyin BAYRAKÇEKEN..... 114-124

Reactive Red 195 Boyarmaddesinin Tio₂/Uv-C Prosesi Kullanılarak Fotokatalitik Renk Gideriminin İncelenmesi

Investigation of Photocatalytic Color Removal of Reactive Red 195 Using Tio₂/Uv-C Process

Veyis SELEN, Arzu TANYILDIZI, Gülbeyi DURSUN125-134

Ayrılabilir Gövdeli, Şaşırtmalı Kanat Dizilimine Sahip Çift Emişli Pompa Tasarımı Ve İmali

A Study On the Unsteady Pressure Characteristics in A Double Suction Centrifugal Pump with Staggered Blade Arrangement

Hıdır Yankı KILIÇGEDİK, Mustafa Turhan ÇOBAN, Ahmet Özden ERTÖZ..... 135-146

Zeytin Küspesi Çözeltilisinin Derişime Bağlı Biyogaz Ve Hidrojen Potansiyelinin İncelenmesi

Investigation Of The Effect Of Olive Cake Concentration On The Biogas And Biohydrogen Potential

Harun TÜRKMENLER, Mustafa ASLAN, Mustafa GÜMÜŞ 147-155

CBS TABANLI BULANIK MANTIK VE AHP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ADIYAMAN İLÇELERİNİN DEPREM TEHLİKE ANALİZİNİN OLUŞTURULMASI

Cihan YALÇIN^{1*}, Levent SABAH²

¹Ministry of Science, Industry and Technology, Burdur Office, Burdur, Turkey

² Düzce University, Department of Information Technology, Düzce, Turkey

Geliş tarihi: 07.12.2017 Kabul tarihi: 14.02.2018

ÖZET

Sahip olduğu tektonik yapısı gereği ülkemizde önemli büyüklükte depremler meydana gelmektedir. Bu depremler insan yaşamını olumsuz etkilemektedir. Depremden doğan olumsuzlukların en aza indirgenmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle farklı mesleki disiplinler kullanılarak bölgenin deprem tehlike analizleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar daha çok deprem öncesi bölgenin riskinin ortaya konulması esasına dayanmaktadır. Bu sebeple son yıllarda deprem aktivitesinin yoğun olduğu bölgelerden olan Adıyaman İlinin deprem tehlikesinin ortaya konulması önem arz etmektedir. Sahip olduğu jeolojik özellikler bakımından ülkemizde önemli depremlerin meydana gelebileceği alan olan Adıyaman ili ve ilçelerinin deprem tehlikesi analizi CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı Bulanık Mantık ve AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemleri kullanılarak ortaya konulmuştur. Çalışmada bölgenin deprem açısından tehlike arz edebilecek jeolojik yapıları değerlendirilmiş ve CBS ortamına aktarılmıştır. Her ilçe için sayısallaştırılan veriler Bulanık Mantık ve AHP yöntemlerinin kullanılması ve karşılaştırılmasıyla ilçelerin deprem tehlike değerlerini ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak sırasıyla Gölbaşı, Adıyaman Merkez ve Çelikhan İlçelerinin deprem tehlike değerlerinin yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Adıyaman, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık Mantık, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Deprem*

CREATION OF EARTHQUAKE HAZARD ANALYSIS OF ADIYAMAN PROVINCE VIA GIS-BASED FUZZY LOGIC AND AHP METHODS

ABSTRACT

Earthquakes occur because of the tectonic structure of our country and negatively impact human life. Many studies have been performed in order to minimize earthquake damage. Earthquake Hazard Analysis is a known goal for the region, especially one that combines different professional disciplines. Based on these studies, it is crucial to understand the area's risk before the earthquake occurs; therefore, it is crucial that the seismic hazard should be put out of the Adıyaman province, which is a region where earthquake activity has been intense in recent years. Earthquake Hazard Analysis of Adıyaman province is demonstrated in this paper using the methods of GIS-based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchy Process (AHP). The geological structures of the study area that may be seismically hazardous were assessed and transferred to the GIS environment. The earthquake hazard values of the county were revealed by digitized data for each county by using and comparing the fuzzy logic and AHP methods. It is revealed that the earthquake hazard values are high in the following counties: Gölbaşı, Adıyaman Centrium, and Çelikhan.

Keywords: *Adıyaman, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Logic, Geographic Information System, Earthquake*

* e-posta: cihan.yalcin@sanayi.gov.tr

1. Giriş

Depremler insan yaşamını olumsuz etkilemişlerdir ve etkilemeye devam etmektedirler. Artan nüfus ile bu doğal afetten etkilenme oranı yükselmektedir. Deprem aktivitesi ile ön plana çıkan Adıyaman ilinin jeolojik özellikleri göz önüne alındığında deprem riskinin yüksek olduğu bilinmektedir.

Deprem tehlikesi dendiğinde hasar ve can kaybına neden olabilecek depremlerin yaklaşık yerinin, büyüklüğünün ve belli bir zaman süresi içerisinde olabileceğinin ön izlemesi çalışması akla gelmektedir [1].

Ülkemizin önemli deprem kuşağını oluşturan Doğu Anadolu Fayı (DAF)'nın ürettiği depremler önemli tahribatlara yol açmıştır. DAF, kuzeyde Karlıova'dan başlar, GB'da Ölü Deniz Fay Sistemine kadar uzanmaktadır. Genel uzanımı KD-GB, uzunluğu ise yaklaşık 580 km'dir. Sol yönlü doğrultu atım özelliği gösteren DAF, 6 segmentten oluşur [2]. Bu segmentlerden biri de Çelikhan'ın güneyinden ve Adıyaman Gölbaşı ilçe merkezinden geçerek Kahramanmaraş'ın güneyinde Türkoğlu'na kadar uzanan segmenttir [3], [4].

Adıyaman sahip olduğu jeolojik yapısı ve DAF dışındaki diğer diri fayların da bulunmasıyla deprem tehlikesi açısından önemli bir ilimizdir.

Gelişen teknoloji ile birlikte birçok alanda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Birçok veri sayısal ortama aktarılarak tematik haritalar oluşturulmaktadır [5]. Deprem tehlikesi analizi oluşturma çalışmalarında da CBS kullanılmaktadır [6].

Deprem tehlikesini oluşturabilecek parametreler farklı metotlarla değerlendirilip analizler yapılabilmektedir [6]. Bunlardan en önemli olan yöntem Saaty (1971) tarafından ortaya konulan [7] Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodudur. Bu metotta analizi gerçekleştirilen sistemin kriterleri belli bir hiyerarşik düzen içerisinde değerlendirilerek hesaplanmaktadır.

Son yıllarda farklı meslek alanlarında kullanılan bir yöntem de Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemidir. İlk olarak 1965 yılında Dr. Lotfi A. Zadeh [8] tarafından ortaya konulan bu yöntem bir sistemdeki sonuçların kesin olarak tanımlanmasından ziyade bir yaklaşım ortaya koymak amacıyla kullanılmaktadır. Deprem tehlikesi analizi için de deprem olayının gerçekleşeceği zamanın belirsiz olması nedeniyle Bulanık Mantık Yöntemi kullanılabilir [9].

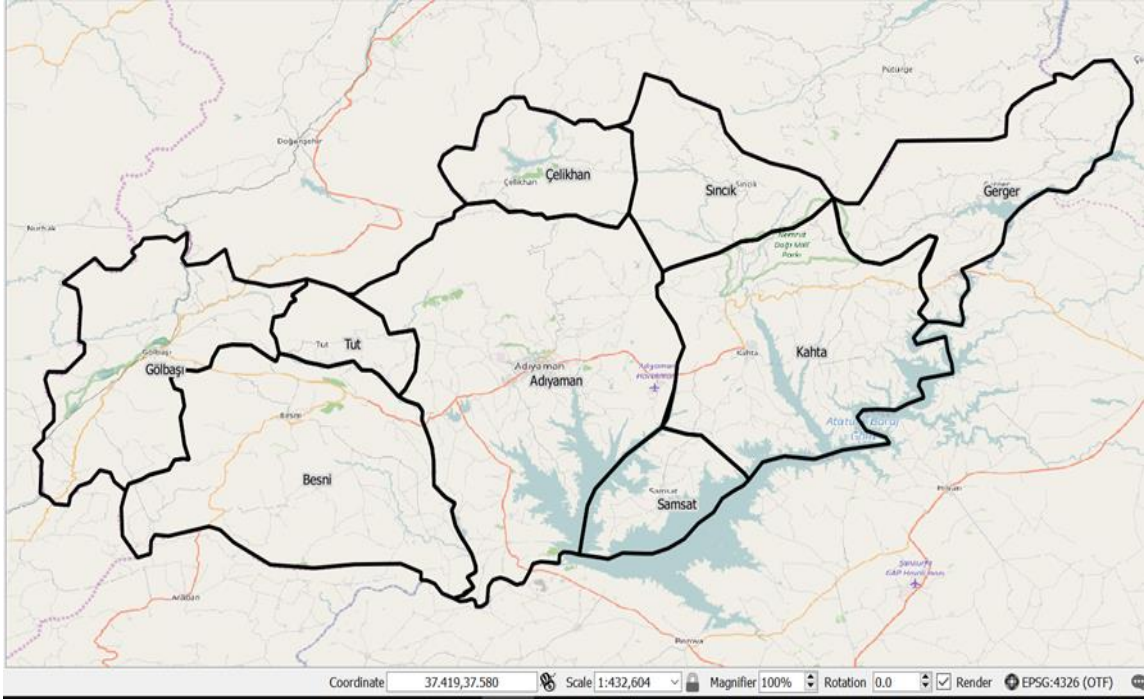
Bu çalışmada deprem aktivitesi açısından riskli alan olarak belirlenen Adıyaman ilinin deprem tehlikesi analizi CBS, AHP ve Bulanık Mantık yöntemleri kullanılarak ortaya konulmuş ve değerler karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

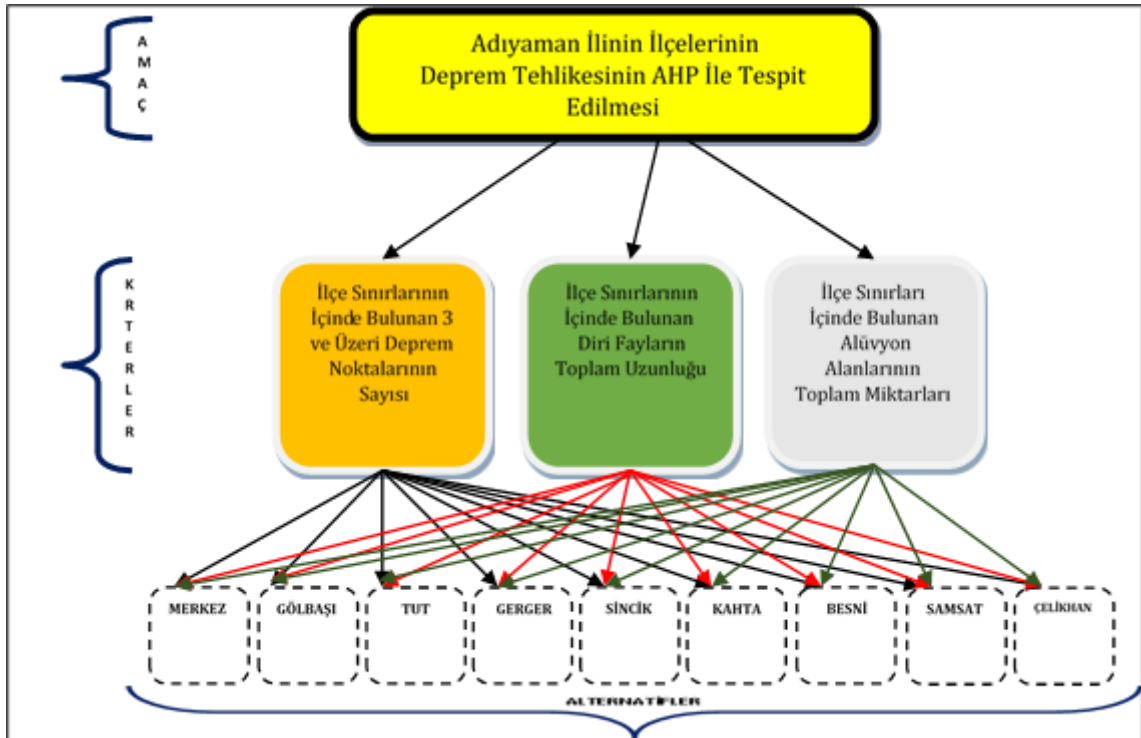
Deprem tehlikesi analizi Adıyaman il sınırları içerisindeki ilçeleri kapsamaktadır (Şekil 1). Adıyaman ili ülkemizin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. 9 adet ilçesi bulunmaktadır. Bunlar; Adıyaman Merkez, Gölbaşı, Kâhta, Tut, Sincik, Çelikhan, Samsat, Besni ve Gerger ilçeleridir.

Bu çalışmada sayısallaştırılan il haritası üzerinde analizler gerçekleştirebilmek için deprem tehlikesi analizinde kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler alüvyon alanlar, aktif ve diri faylar ve il genelinde 1900-2017 yılları arasında meydana gelmiş 3 ve üzeri depremlerin dış merkez noktalarıdır (epicenter) (Şekil 2). Bu kriterlerden alüvyon ve diri faylar Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) "Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi" sisteminden [10], [11], [12] temin edilmiş ve sayısal harita üzerine atılmıştır (Şekil 3-4). Daha sonra ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün "Deprem Katalog Sorgulaması" sekmesinden deprem noktaları elde edilmiş [13] ve ilin sayısal haritası üzerine aktarılmıştır (QGIS) (Şekil 5). Daha sonra AHP kullanılarak analiz gerçekleştirilmiş ve analiz sonucunu yansıtan tematik harita QGIS ile hazırlanmıştır. Son olarak

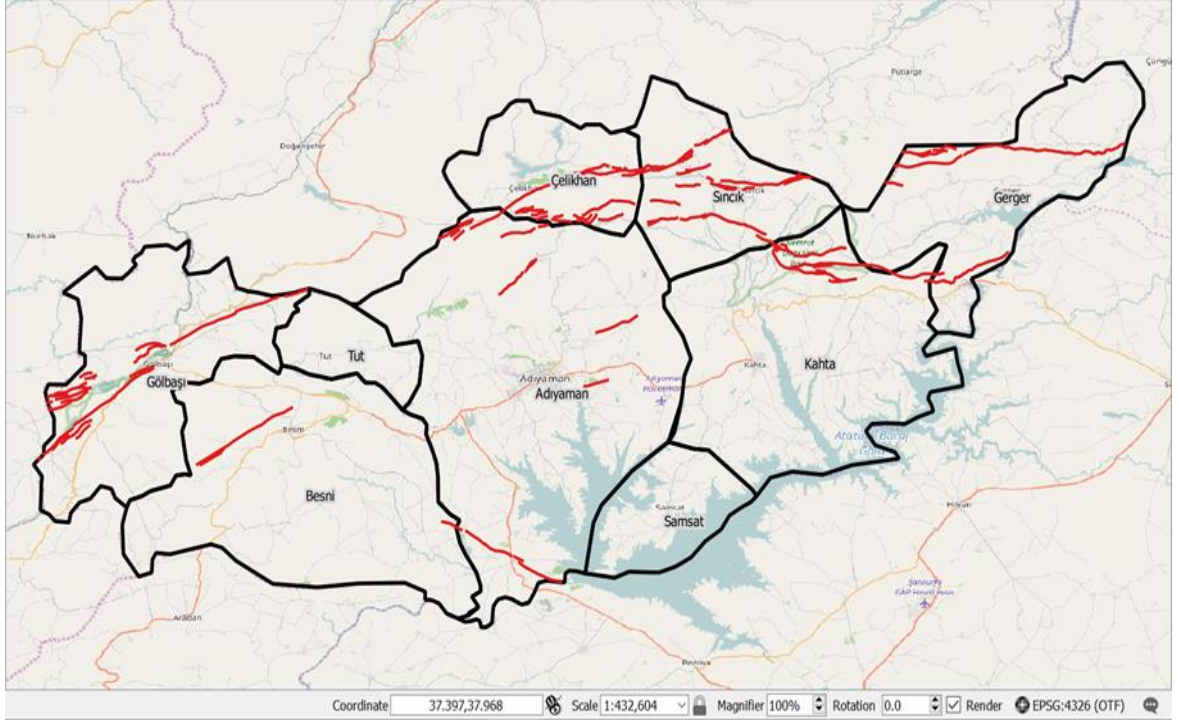
da MATLAB Fuzzy Logic Designer bulanık mantık eklentisinde aynı kriterler değerlendirilmiş ve AHP sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



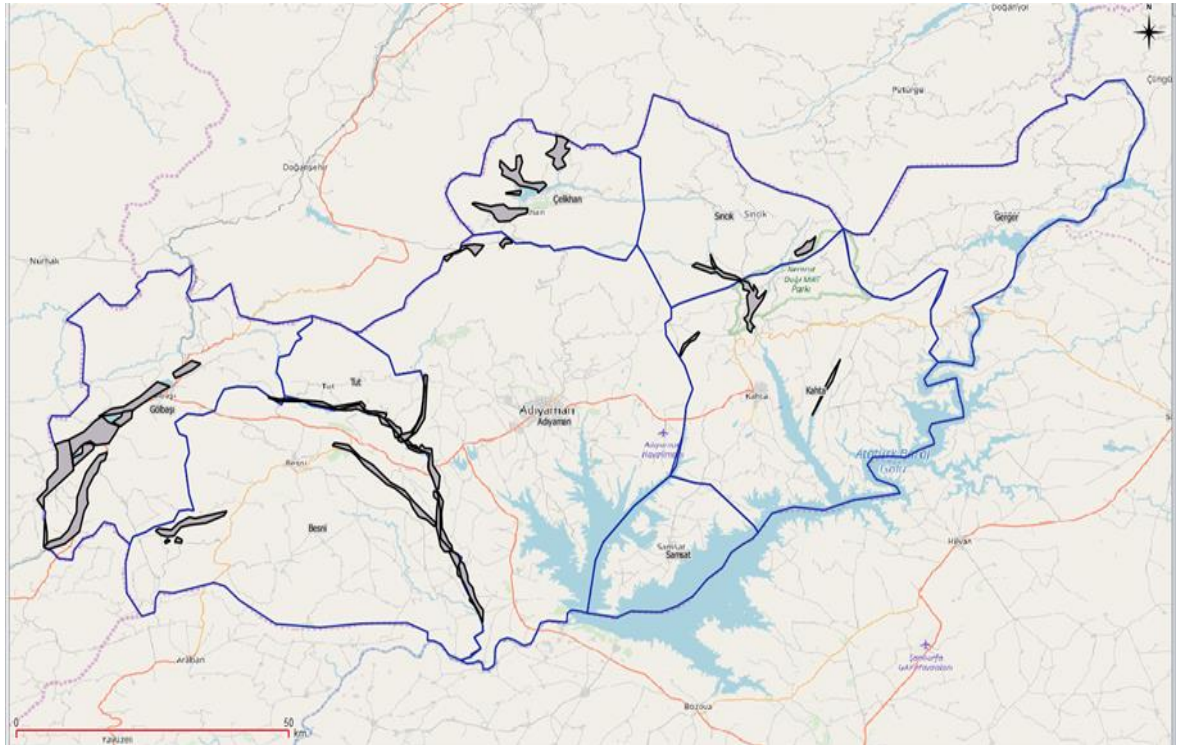
Şekil 1. Adiyaman ilinin ilçe sınırlarını gösteren harita (QGIS)



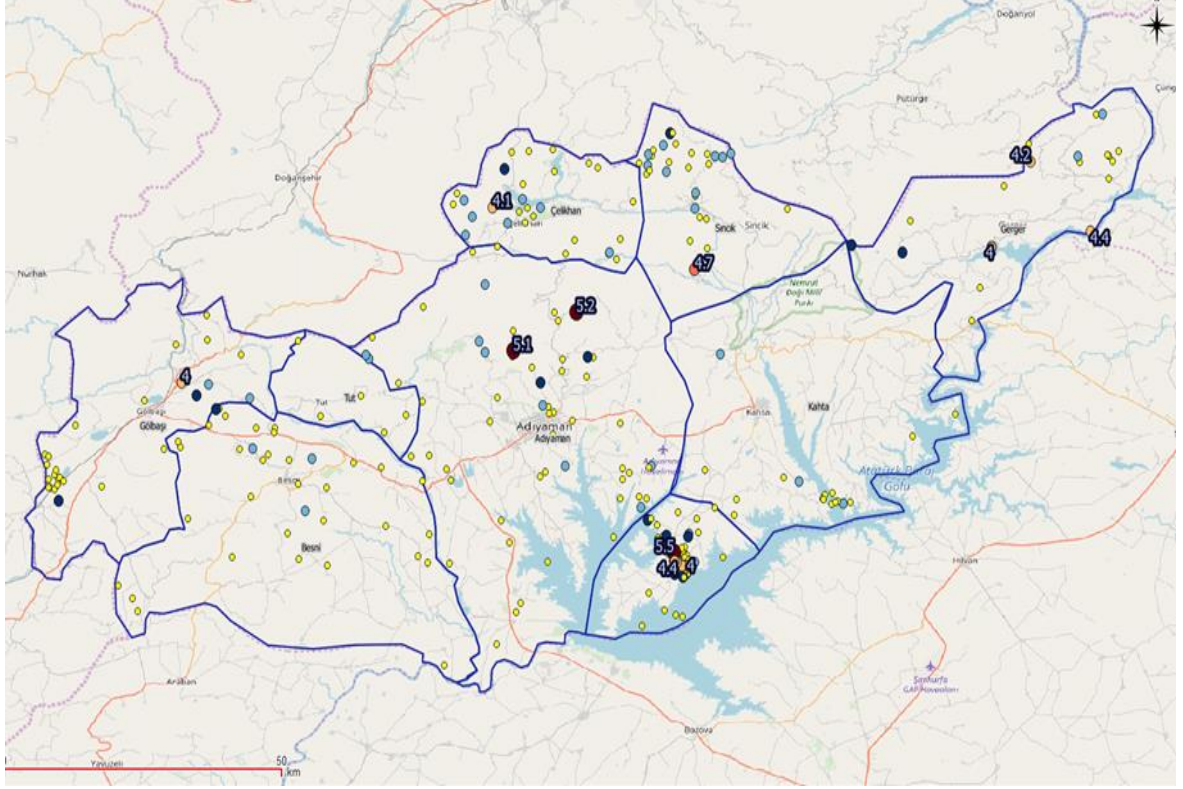
Şekil 2. Adiyaman ilinin deprem tehlikesi analizinin oluşturulmasının genel çerçevesi



Şekil 3. Adiyaman ilinin sınırları içerisinde yer alan diri fayların görünümü



Şekil 4. Adiyaman ilinin sınırları içerisinde yer alan alüvyonların görünümü



Şekil 5. Adiyaman ilinin sınırları içerisinde meydana gelmiş 3 ve üzeri büyüklükteki depremlerin dış merkez noktaları (epicenter)

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanılarak Deprem Tehlike Analizinin Oluşturulması

Saaty (1971) tarafından ortaya konulan [7] Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodunda kriterler sınıflandırılır ve her bir kritere bir ağırlık değeri verilir. AHP analizinde kabul edilen kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi önemli etkiye sahiptir [14]. Kriterler belirlendikten sonra her bir kriterin ağırlığı karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak değişebilmektedir [15]. Bu ağırlık değerleri 1 ile 9 arasında değişmektedir. Değerin 1 olması iki kriter arasındaki ilişkinin eşit olduğunu gösterir. Bu çalışmada kullanılan kriterlerin ağırlıkları eşit alınmıştır (Tablo 1).

Çizelge 1. Kriterlerin ağırlıkları

	$xM \geq 3$	Alüvyon	Fay
$xM \geq 3$	1	1	1
Alüvyon	1	1	1
Fay	1	1	1

Deprem tehlikesini oluşturan parametrelerin konumsal verilerinin sayısallaştırılması sonucunda ortaya çıkan haritalarda her bir ilçe için sayısal değerler hesaplanmıştır (Tablo 2). Daha sonra ise sayısal değerlendirme yapmak için her kriter için ilçelerin sahip oldukları sayısal değerler tüm ilçelerin toplam değerlerine bölünmüş ve değerleri ortaya çıkarılmıştır (Tablo 3). İlçe merkezleri için 3 kriterden elde

edilen sonuçlar ile 9x3 matris oluşturulmuş ve ağırlıklar eşit olan 3x1 kriter karar matrisi ile çarpılarak 9x1 sonuç matrisi oluşturulmuştur (Şekil 6). Matris işlemi sonucunda ilçelerin sahip oldukları deprem risk durumları ortaya çıkarılmıştır. Ortaya çıkan bu değerler ise 100 ile çarpılarak normalize edilmiştir (Şekil 7).

Yapılan işlem sonucunda Gölbaşı ilçesi deprem tehlikesi açısından en yüksek ilçe olarak belirlenmiştir. Gölbaşı'nı sırasıyla Adıyaman Merkez ve Çelikhan ilçeleri takip etmektedir. Bu değerlere göre ilin deprem tehlikesi analizini yansıtan tematik harita oluşturulmuştur (Şekil 8).

Çizelge 2. Kriterlerin ilçelerdeki değerleri

İlçeler	Fay uzunlukları (m)	Deprem nokta \geq 3	Alüvyon alan (km ²)
ADİYAMAN	57172	57	24.92
BESNİ	22581	36	36.09
ÇELİKHAN	64431	29	29.43
GERGER	68354	23	0
GÖLBAŞI	88746	27	79.88
KAHTA	52754	17	13.26
SAMSAT	0	72	0
SINCIK	81220	29	8.43
TUT	0	4	9.32
Toplam	435258	294	201.33

2.2. Bulanık Mantık Kullanılarak Deprem Tehlike Analizinin Oluşturulması

Deprem tehlike analizinde, deprem afetinin gerçekleşeceği zamanın belirsiz olması nedeniyle bulanık mantık yöntemi kullanılarak bir bulanık model oluşturulmuştur. Bulanık model oluşturulurken deprem afeti ile ilgili ilin ilçeler bazında meydana gelmiş olan deprem nokta sayıları, diri fay uzunlukları ve alüvyon alanlar şeklinde 3 kriter belirlenmiş ve bunlar üyelik fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Üyelik fonksiyonunda aralıklar düşük, orta ve yüksek şeklinde belirlenmiştir. Deprem tehlike sonucu da aynı şekilde düşük, orta ve yüksek olarak tanımlanmıştır. Sonuç değer aralıklarının belirlenmesinde Adıyaman ili deprem tehlikesi tespitinde yapmış olduğumuz AHP analitik hiyerarşi sürecinde elde edilen değerler kullanılmıştır. Giriş değerleri olarak her ilçenin sahip olduğu deprem noktaları, diri fay uzunlukları ve alüvyon alanlar açık kaynak kodlu coğrafi bilgi sistemi QGIS ile kesişim fonksiyonları uygulanarak elde edilmiştir ve bulanık modelde kullanılmıştır.

Deprem tehlikesini oluşturan çok sayıda değişken bulunur. Farklı çalışmalarda ve farklı amaçlara göre bu değişkenlerin sayısı ve türü değişebilir [9]. Bu çalışmada; alüvyon alanlar, aktif ve diri faylar ve il genelinde 1900-2017 yılları arasında meydana gelmiş 3 ve üzeri depremlerin dış merkez noktalarının (epicenter) sayısı kullanılmıştır.

Bulanık model oluşturulması MATLAB Fuzzy Logic Designer eklentisi ile hazırlanmıştır. Bulanık model fay uzunlukları, deprem noktaları ve alüvyon alan şeklinde 3 giriş, 1 kural tablosu ve 1 deprem tehlike sonuç katmanından oluşmaktadır (Şekil 9).

Çizelge 3. Kriterlerin ilçelerdeki değerlerinin hesaplanması

İlçeler	Fay uzunlukları (m)		Deprem nokta \geq 3		Alüvyon alan (km ²)	
ADİYAMAN	57172	0.13135198	57	0.193877551	24.92	0.123776884
BESNİ	22581	0.051879575	36	0.12244898	36.09	0.179257935
ÇELİKHAN	64431	0.148029445	29	0.098639456	29.43	0.146177917
GERGER	68354	0.15704249	23	0.078231293	0	0
GÖLBAŞI	88746	0.203892864	27	0.091836735	79.88	0.396761536
KAHTA	52754	0.121201678	17	0.057823129	13.26	0.065862018
SAMSAT	0	0	72	0.244897959	0	0
SINCIK	81220	0.186601969	29	0.098639456	8.43	0.041871554
TUT	0	0	4	0.013605442	9.32	0.046292157
Toplam	435258	1	294	1	201.33	1

$$\begin{bmatrix} 0.1314 & 0.1939 & 0.1238 \\ 0.0519 & 0.1224 & 0.1793 \\ 0.1480 & 0.0986 & 0.1462 \\ 0.1570 & 0.0782 & 0 \\ 0.2039 & 0.0918 & 0.3968 \\ 0.1212 & 0.0578 & 0.0659 \\ 0 & 0.2449 & 0 \\ 0.1866 & 0.0986 & 0.0419 \\ 0 & 0.0136 & 0.0463 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.33 \\ 0.33 \\ 0.33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1495 \\ 0.1177 \\ 0.1308 \\ 0.0783 \\ 0.2306 \\ 0.0815 \\ 0.0815 \\ 0.1089 \\ 0.0199 \end{bmatrix}$$

Şekil 6. Matris işlemi ve sonucu

$$\begin{bmatrix} 0.1495 \\ 0.1177 \\ 0.1308 \\ 0.0783 \\ 0.2305 \\ 0.0815 \\ 0.0815 \\ 0.1089 \\ 0.0199 \end{bmatrix} \times 100 = \begin{bmatrix} 14.95 \\ 11.77 \\ 13.08 \\ 07.83 \\ 23.05 \\ 08.15 \\ 08.15 \\ 10.89 \\ 01.99 \end{bmatrix}$$

Şekil 7. Normalize edilmiş deprem tehlikesi analizi sonuçları

Model oluşturulurken giriş değerler ve çıkış sonuçları arasındaki ilişkiyi sağlayan kurallar belirlenmiştir. Genel olarak ilçelerin sahip oldukları değerler düşük, orta ve yüksek olarak belirlenmiştir.

Buna göre de AHP ile elde edilen deprem tehlike sonucuyla ilişkilendirilmiştir. Örnek olarak bir ilçenin diri fay uzunluğu az, deprem noktası çok ve alüvyon alanı az ise deprem tehlikesi ortadır gibi kurallar tanımlanarak bir bulanık model elde edilmiştir (Tablo 4).

Deprem tehlike sonucu için diri fay (Şekil 10), deprem noktaları (Şekil 11) ve alüvyon alanların (Şekil 12) giriş üyelik fonksiyon değerleri gösterilmektedir. Deprem tehlike sonucu ise Şekil 13'deki üyelik fonksiyonu ile gösterilmektedir.

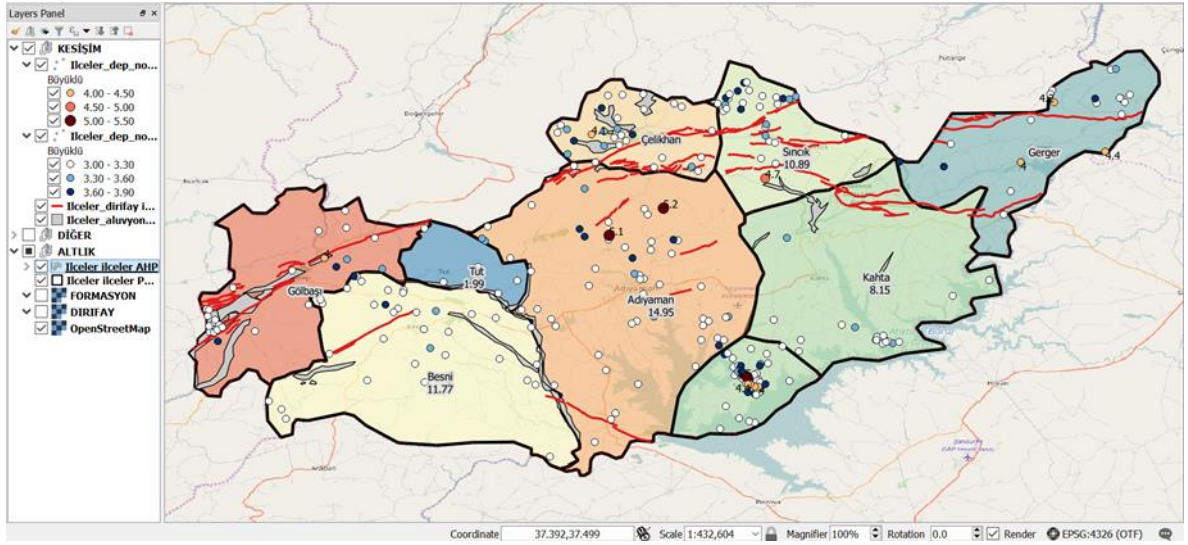
Bulanık modelde tanımlanan 23 adet kural tablosu Şekil 14'de görülmektedir. Buna göre oluşturulan modelde bir ilçenin sahip olduğu güncel fay uzunluğu 50 km, deprem nokta sayısı 50 ve alüvyon alan 50km² ise tehlike sonucu olarak 13.4 bulunmaktadır. AHP değerleriyle normalize etmek için 2 ile çarpıldığında ise % 26.8 lik deprem tehlike değeri elde edilmektedir.

İstatistiksel normalleştirme, özellikle veri madenciliği (data mining) alanında kullanılan bir yöntemdir. Yöntemde veriler arasında farklılığın çok fazla olması durumunda veriler tek bir düzen içerisinde ele alınmaktadır. Bunun dışında ise farklı ölçekleme sisteminde bulunan veriler birbiri ile karşılaştırılmaktadır. Böylece matematiksel fonksiyonlar kullanarak farklı sistemlerde bulunan veriler ortak bir sisteme taşınır ve karşılaştırılabilir hale getirilir [16].

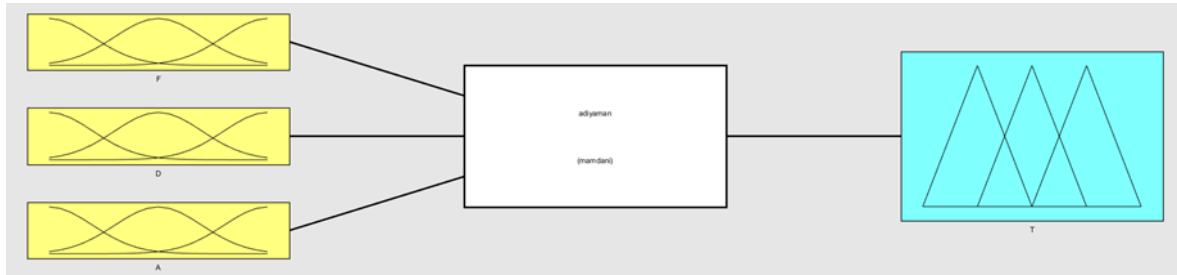
Bu çalışmada bulanık model sonuçlarının 2 katsayısı ile çarpılmasının nedeni AHP yöntemiyle elde edilen sonuçlara yakın sonuçların elde edilmesidir. Böylece referans alınan AHP yöntem sonuçlarıyla bulanık modelde elde edilen sonuçların birbirine yakın olup olmadığı görülmektedir. Farklı parametreler ve değerler ile farklı bir katsayısı çarpımı mümkün olabilmektedir.

Çizelge 4. Bulanık modelde kullanılan sözel kurallara dair örnekler

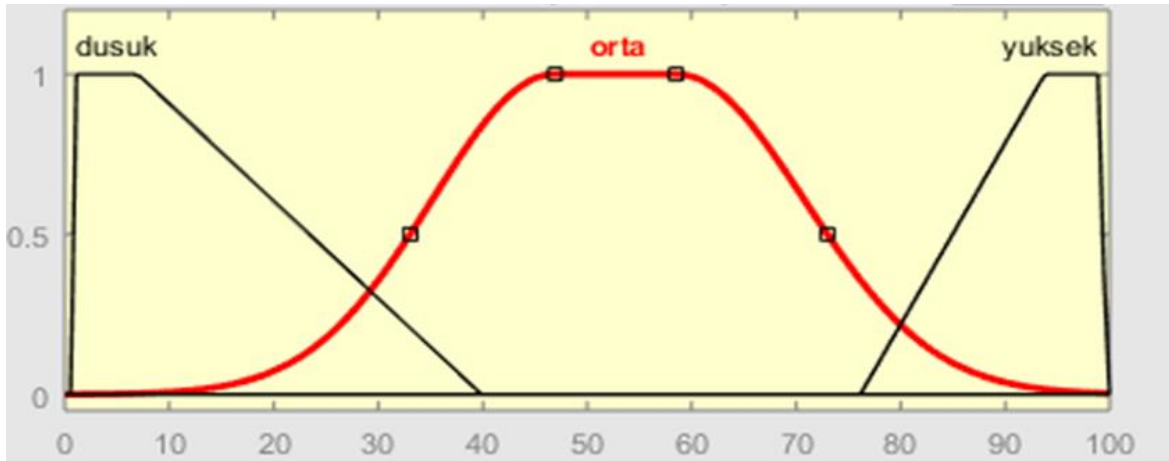
Kural No	F	D	A	T	Ağırlık
1	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek	1
2	-	Orta	Orta	Orta	0.7
3	-	Orta	Yüksek	Yüksek	0.7
4	-	Orta	Düşük	Orta	0.5
5	-	Orta	Yüksek	Düşük	0.3
6	Orta	Düşük	Orta	Düşük	1
7	-	Yüksek	Düşük	Düşük	0.2
8	-	Orta	Düşük	Düşük	1
9	-	Düşük	Düşük	Düşük	1
10	Orta	Orta	Orta	Orta	1
11	-	Yüksek	Yüksek	Yüksek	0.8
12	-	Orta	-	Orta	0.8
13	-	-	Yüksek	Orta	0.3
14	-	Yüksek	-	Düşük	0.4
15	-	Düşük	Yüksek	Orta	0.5
16	-	Düşük	Yüksek	Orta	1
17	Yüksek	-	-	Orta	1
18	-	Yüksek	-	Düşük	1
19	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	1
20	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	1
21	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta	0.7
22	Yüksek	Orta	Düşük	Orta	0.7
23	Yüksek	Orta	Yüksek Değil	Orta	1



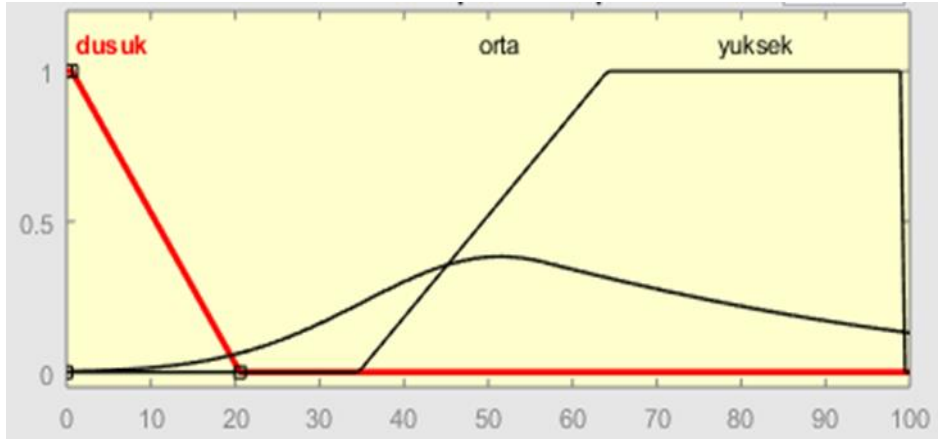
Şekil 8. Adıyaman ilçelerinin AHP kullanılarak elde edilen deprem tehlikesi analizinin tematik haritası



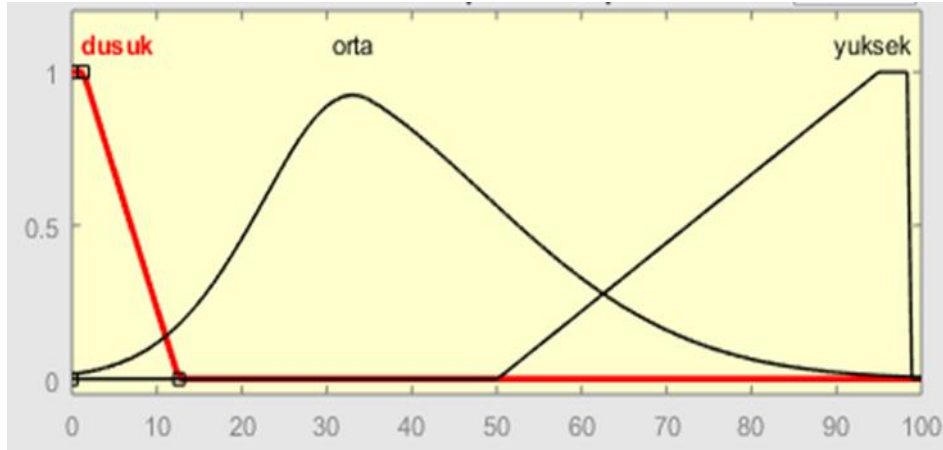
Şekil 9. Bulanık model bileşenleri, fay (F), deprem noktaları (D), alüvyon (A)



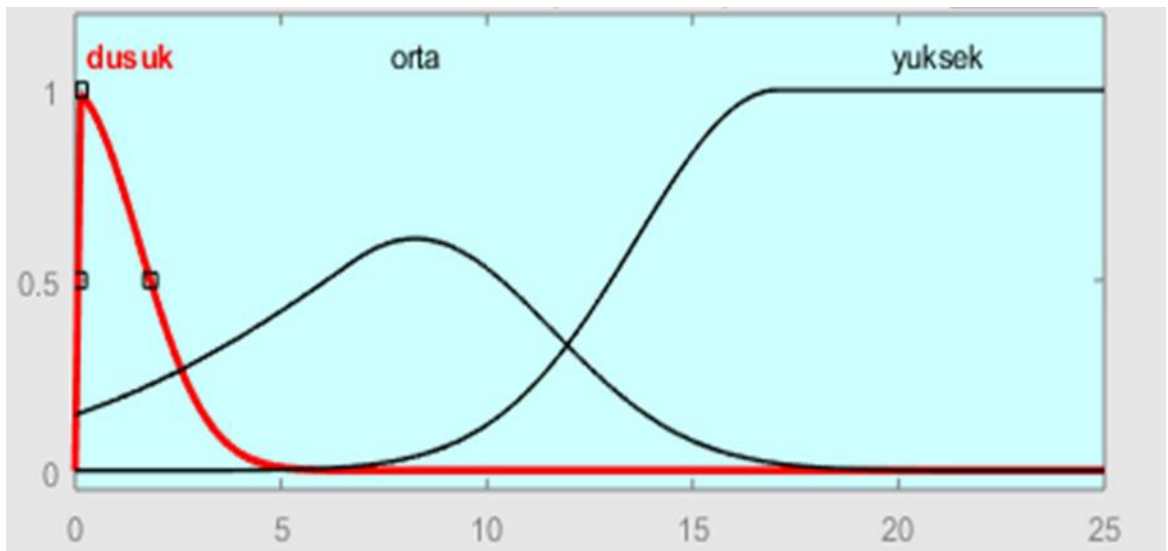
Şekil 10. Fay üyelik fonksiyonu



Şekil 11. Deprem noktaları üyelik fonksiyonu



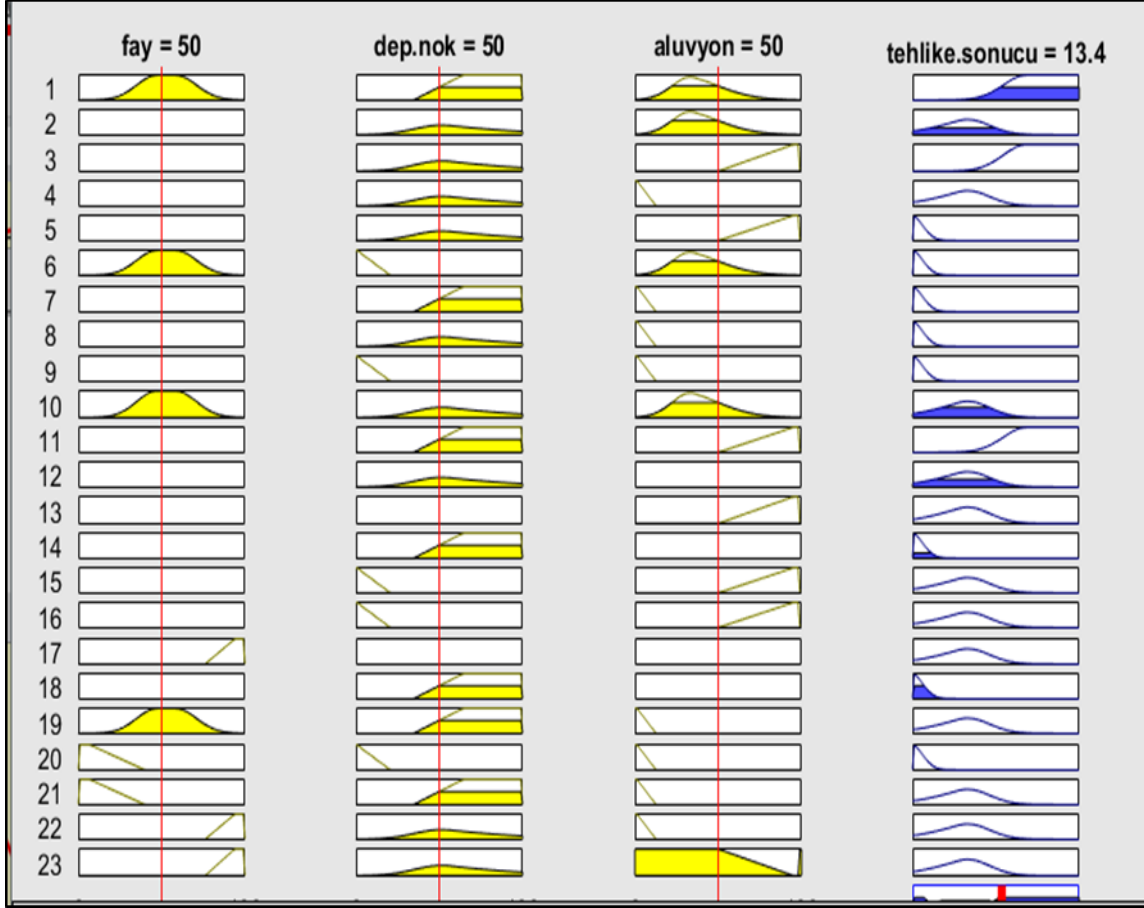
Şekil 12. Alüvyon alan üyelik fonksiyonu



Şekil 13. Deprem tehlike sonucu fonksiyonu

3. Sonuçlar

Adıyaman ili için oluşturulan bulanık mantık ve AHP metotlarından elde edilen değerler Tablo 5'de gösterilmektedir. Bulanık modelde elde edilen değerler 2 ile çarpılarak AHP ile elde edilen değerlerle normalize edilmiştir. İki yöntemle elde edilen sonuçların korelasyon değeri ise %95 olarak belirlenerek grafikte gösterilmiştir (Şekil 15).



Şekil 14. Bulanık model kural tablosunun görsel gösterimi

Oluşturulan bu model ile güncel olarak girilecek fay, deprem noktası ve alüvyon alan değerlerine göre Adıyaman ili için deprem tehlike değerleri görülebilmektedir. Afet öncesi diğer çalışmalara örnek olabilecek bu çalışmada 2 farklı yöntem kullanılmış ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada;

-Kullanılan her iki yöntemde de Gölbaşı, Adıyaman Merkez ve Çelikhan ilçelerinin deprem tehlikesi değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

-Deprem tehlikesi analizi çalışmalarında daha hızlı ve doğru analizlerin yapılması birkaç parametrenin değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. AHP ve Bulanık Mantık yöntemleri ile deprem tehlikesi analizleri yapılabilmekte ve sonuçlar birbiri ile uyum göstermektedir.

-Sabah ve diğ. [9] tarafından yapılan benzer bir çalışmada Düzce ilinin deprem tehlikesi analizi aynı yöntemlerle ortaya konulmuştur. Düzce İli için yapılan deprem riski değerlendirmesinde üç kritere göre en riskli ilçeler Merkez ilçe, Yığılca, Gölyaka ve Kaynaşlı ilçeleri olarak belirlenmiştir.

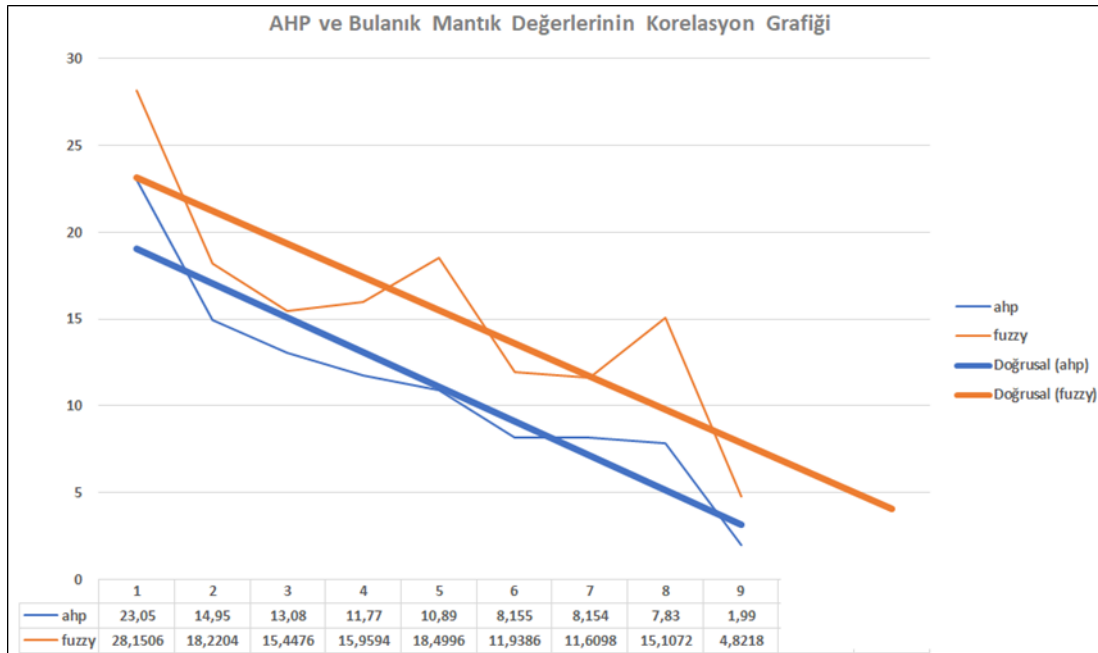
-Yalçın ve Sabah [6] tarafından yapılan diğer bir çalışmada da Edirne ilinde faaliyet gösteren sanayi firmalarının deprem tehlikesi analizi AHP yöntemiyle ortaya konulmuştur.

-Yalçın ve Sabah [17] tarafından Çanakkale sanayi işletmelerinin deprem tehlikesi analizinde 4 kriter belirlenmiş ve bu kriterler AHP ve Bulanık Mantık yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede Biga, Yenice ve Çan ilçelerinde faaliyet gösteren 462 adet sanayi firmasının deprem tehlike değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

-Diğer afet yöntemleri içinde (Sel, heyelan, taşkın, yangın vb.) CBS tabanlı AHP ve Bulanık Mantık yöntemleri kullanılarak tehlike analizleri yapılabilir.

Çizelge 5. Adıyaman deprem tehlike analizinde elde edilen AHP ve bulanık mantık değerleri

İLÇE	AHP	Bulanık Mantık	Bulanık Mantık*2	Fark	Korelasyon
ADİYAMAN	23,05	14,0753	28,1506	5,1006	0,95
BESNİ	14,95	9,1102	18,2204	3,2704	0,95
ÇELİKHAN	13,08	7,7238	15,4476	2,3676	0,95
GERGER	11,77	7,9797	15,9594	4,1894	0,95
GÖLBAŞI	10,89	9,2498	18,4996	7,6096	0,95
KAHTA	8,155	5,9693	11,9386	3,7836	0,95
SAMSAT	8,154	5,8049	11,6098	3,4558	0,95
SİNCİK	7,83	7,5536	15,1072	7,2772	0,95
TUT	1,99	2,4109	4,8218	2,8318	0,95



Şekil 15. AHP ve bulanık mantık yöntemi sonucunda elde edilen değerlerin korelasyonu

Kaynaklar

- [1] Wang, Z., *Understanding Seismic Hazard and Risk Assessments: An Example In The New Madrid Seismic Zone Of The Central United State*. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 2006. P 416.
- [2] Şaroğlu, F., Emre, Ö ve Kuşçu, İ., *1:1000000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası*. 1992, MTA Yayınları.
- [3] İmamoğlu, M. Ş., *Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı (K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi*. 1993, Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4] İmamoğlu, M.Ş., *Doğu Anadolu Fay Zonu Gölbaşı Kesimi Neotektonik Özellikleri Ve Gölbaşı-Saray Fay Kaması Havzası*. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 1996. 11, p 176-184.
- [5] Yalçın, C., *Tematik Coğrafi Haritalar İle Edirne'nin Sanayi ve Ar-Ge Yetenek Envanterinin Oluşturulması*. Verimlilik Dergisi, 2017. (2): p. 121-133.
- [6] Yalçın, C. Sabah, L., *Açık Kaynak Kodlu CBS ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (AHP) Kullanılarak Edirne Sanayisinin Deprem Tehlikesi Analizi*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2017. 5(2): p. 524-537.
- [7] Wind, Y. ve Saaty, T. L., *Marketing Application of the Analytic Hierarchy Process*. Management Science, 1980. 26(7): p. 641-658.
- [8] Bozyiğit, F., Kılınç, D., Kut, A., Kaya, M., *Bulanık Mantık Algoritmaları Kullanarak Kaynak Kod Benzerliği Bulma*. XVII. Akademik Bilişim Konferansı, Ab, 2015.
- [9] Sabah, L., Yücedağ, İ., Yalçın, C., *Earthquake Hazard Analysis for Districts of Düzce via AHP and Fuzzy Logic Methods*. The Journal of Cognitive Systems, 2017. 2 (1): p. 43-47.
- [10] Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balci, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, *Türkiye Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara, Türkiye.
- [11] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000*, 2013, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye.
- [12] MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici Ve Çizim Editörü. [Erişim 2017 15 Haziran]. MTA Genel Müdürlüğü internet sitesi: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>.
- [13] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi. [Erişim 2017 15 Haziran]. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) internet sitesi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>.
- [14] Chen, Y. Yu, J., Shahbaz, K., Xevi, E., *GIS-Based Sensitivity Analysis of Multi-Criteria Weights*. 18th World IMACS/MODSIM Congress, 2009. Cairns, Australia.
- [15] Öztürk, D., Batuk, F., *Çok Sayıda Kriter İle Karar Vermede Kriter Ağırlıkları*. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2007. (1).
- [16] İstatistiksel Normalleştirme (Statistical Normalisation). [Erişim 2018 15 Ocak]. Bilgisayar kavramları web sitesi: <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2012/01/29/istatistiksel-normallestirme-statistical-normalisation/>
- [17] Yalçın, C., Sabah, L., *CBS Tabanlı Bulanık Mantık Ve AHP Yöntemleri Kullanılarak Çanakkale Sanayi İşletmelerinin Deprem Tehlike Analizinin Oluşturulması*. Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi, 2017. 29 (348): p. 28-34.

BENZİNLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA TEREVENTİN KULLANIMININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Yusuf BAŞOĞUL^{1*} , Hüseyin BAYRAKÇEKEN²

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Adiyaman, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, Türkiye

Geliş tarihi: 12.03.2018 Kabul tarihi: 22.05.2018

ÖZET

Günümüzde enerji kullanımı arttıkça, sınırlı olan enerji kaynakları kendilerini yenilenebilir, tarımsal ve petrol kökenli olmayan (etanol, metanol, kanola, aspir vb.) kaynaklardan elde edilebilen, çevre dostu yakıtlara bırakılmaktadır. Diğer taraftan motorların verimlerinin yükseltilmesi, egzoz emisyonlarının düşürülmesi ve motorlar için uygun özelliklere sahip alternatif motor yakıtlarının bulunması ve geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, içten yanmalı motorların performans ve veriminin yükselterek egzoz emisyonlarının iyileştirilebilmesi için benzine farklı oranlarda tereventin ilavesi yapılmıştır. Bu amaçla 4 zamanlı, buji ateşlemeli ve tek silindirli bir benzin motoru kullanılmıştır. Deneyler 2000-4000 min-1 motor hızlarında ve tam gaz kelebek açıklığında yapılmıştır. Kurşunsuz benzine %10 ve %20 oranlarında (hacimsel) tereventin ilave edilerek motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alternatif yakıt, Tereventin, Motor performansı, Emisyon ölçümü.*

THE EFFECT OF USING TURBENTINE ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A GASOLINE ENGINE

ABSTRACT

As the use of energy is increasing by each day, the limited energy resources are being replaced with eco-friendly fuels that can be acquired from renewable, agricultural and non-petroleum (ethanol, methanol, canola, safflower etc.) resources. On the other hand, works continue to increase the efficiency and reduce emissions of motors and to find and develop alternative motor fuels that have characteristics conforming to motors. In this study, turpentine in different ratios has been added to gasoline to increase the performance and efficiency and improve exhaust emissions of internal combustion engines. For this purpose, a spark ignited single cylinder 4-stroke petrol engine has been used. Trials have been conducted at 2000-4000 min-1 motor speeds and at full throttle opening. Motor torque, motor power, specific fuel consumption and exhaust emissions have been empirically analysed by adding 10% and 20% turpentine (in volume) to unleaded fuel.

Keywords: *Alternative fuel, Turpentine, Engine performance, Emission.*

1. Giriş

Günümüz dünyasında enerji kullanımına olan talep arttıkça, oldukça kısıtlı olan enerji kaynakları kendilerini sürdürülebilir, tarımsal ve petrole dayalı olmayan (methanol, etanol, soya, kanola vb.) kaynaklardan elde edilebilen yakıt türlerine bırakılmaktadır. Diğer taraftan motorlar için daha iyi

* e-posta: ybasogul@adiyaman.edu.tr

özelliklere sahip alternatif motor yakıtlarının bulunması, motorların verimlerinin yükseltilmesi ve geliştirilmesi, egzoz emisyonlarının düşürülmesi için çalışmalar sürdürülmektedir [1].

Terebentin geçmişte herhangi bir modifikasyon olmadan motorlarda kullanılmış ancak petrol kökenli yakıtların bolluğu nedeniyle kullanımı terk edilmiştir. Son yıllarda petrol kökenli yakıt kaynaklarının azalması ve maliyetlerinin artması nedeniyle alternatif yakıt arayışları sırasında terebentin kullanımı tekrar gündeme gelmiştir.

Hamdan ve Al-Subaih (2002) gerçekleştirdikleri çalışmada benzine MTBE (Metil Tersiyer Bütil Eter) ilavesinin oktan sayısına ve motor performansına etkisini incelemiştir. Çalışmada MTBE benzine hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ilave edilmiştir. Oluşturulan karışımların oktan sayısı karışımdaki MTBE miktarına bağlı olarak lineer bir şekilde artış göstermiştir. Karışımların motor gücüne etkisi benzinle karşılaştırıldığında en yüksek artış %10 MTBE içeren karışımla elde edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi ve en yüksek termik verim yine aynı karışımda görülmüştür. Oksijen içeren bir bileşik olan MTBE, CO (Karbonmonoksit) ve HC (Hidrokarbon) emisyonlarının azalmasında etkili olduğu görülmüştür. En düşük kirletici emisyonlar MTBE10 kullanımında elde edilmiştir [2].

He vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada deneylerde kurşunsuz benzin ve %10 etanol ve %30 etanol içeren etanol-benzin karışımları kullanmışlardır. Etanol kullanımı sonucunda motor çıkışındaki CO ve NO_x (Azotoksitler (ppm)) emisyon değerlerinde küçük bir azalma elde edilirken, HC emisyonlarındaki azalmanın oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Birçok çalışma şartlarında egzoz çıkışındaki CO, HC ve NO_x emisyonlarının daha az olduğu görülmüştür. Egzoz çıkışındaki emisyonlar motor çıkışındaki katalitik konvertör verimine, emisyon miktarına, motor hızına, motor yüküne, yakıt/hava eşdeğerlik oranına ve karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Etanolün düşük ısı değere sahip olmasından dolayı fren özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Bununla birlikte fren özgül yakıt tüketimi etanol içeren karışımlarda azalma göstermiştir [3].

Topgül vd. (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, E 10 ve E 20 yakıtları kullanılarak motor performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Motor momentinde en yüksek artış 2000 min-1 motor devrinde E10 yakıtında %0,5 (SO(Sıkıştırma Oranı): 11/1), E20 yakıtında %1,3 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ortalama E10 için %5,5, E20 için %8,8 artış görülmüştür. 3500 min-1 motor devrinde motor momentinde E10 yakıtında maksimum %1,3 (SO: 8/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 8/1) ve FÖYT (Fren Özgül Yakıt Tüketimi) ortalama E10 yakıtında %4,4, E20 için %8,4 artış görülmüştür. Motor momentinde 5000 min-1 motor devrinde E10 yakıtında en fazla %0,3 (SO: 9/1), E20 yakıtında %1,7 (SO: 10/1) ve özgül yakıt tüketiminde ise; ortalama E10 için %3,6, E20 için %8,7 artış elde edilmiştir [4].

Acaroğlu vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada çeşitli araçlarda biyoetanol ve benzin kullanılarak oluşan emisyon değerlerinin aynı zamanda lisanslı yazılım programı GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems) kullanılarak bir karşılaştırılması yapılmıştır. Etanolün CO ve NO_x değerlerinde sırasıyla %60- 65 ve %45'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir [5].

Yüksel ve Yüksel (2004), yapmış oldukları çalışmada benzinli bir motorda etanol-benzin kullanımının motor verimi ve emisyon değerleri üzerine etkisini incelemiştir. Benzin-alkol karışımının yakıt olarak kullanımındaki en ciddi sorunun yakıtı homojen sıvı fazda tutabilme olduğu ifade edilmiştir. Bu problemi çözmek için özel bir karbüratör tasarımı yapılmıştır. Deneyler farklı yük ve devir sayılarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların neticesinde, etanol-benzin karışımı kullanımı ile motorun çıkış gücünde kısmi artış görülmüş, Kullanılan etanolün yanma performansını iyileştirmesi sonucu CO ve HC emisyon miktarında kayda değer bir azalma, CO₂ (Karbon dioksit) emisyon miktarında ise artış görülmüştür [6].

Choi vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada tek silindri, farklı sıkıştırma oranlarına sahip bir motor geliştirmişler ve motorun performans ve emisyon özelliklerini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Farklı tip yakıtla (LPG+hidrojen) çalışmanın termik verim, performans ve egzoz

emisyonları üzerindeki etkisi üzerine çalışılmıştır. Farklı tip yakıtla çalışmada hidrojen oranının artışıyla termik verimde önce düşme sonrasında bir artış olduğu görülmüştür [7].

Metil tersiyer-bütül eter (MTBE) içeren benzin karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelendiği çeşitli çalışmalarda özellikle yüksek motor yüklerinde egzoz emisyonlarında belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Düşük yüklerde ve soğuk ilk hareket koşullarında yakıttaki MTBE oranının artması ile HC ve CO emisyonlarında artış gözlenmiştir. En iyi motor performansı ve minimum egzoz emisyonu %10'luk MTBE-benzin karışımında elde edilirken ağırlık oranı olarak %8-11 MTBE içeren yakıtların kullanımı sonucunda katalitik konvertör çıkışında da MTBE maddesi belirlenmiştir [2,8].

Yumrutaş vd. (2008), buji ile ateşlemeli dört silindri bir motorda sülfat terebentin ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemiş, motor gücü, termal verim, ortalama basınç ve özgül yakıt tüketiminde olumlu etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. NOx, HC emisyonları ve egzoz sıcaklığı artarken CO konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir [9].

Butkus vd. (2007), %5 terebentin içeren dizel yakıt karışımı kullanmış ve motor performans ve egzoz emisyonlarında terebentinin olumlu etkilerini gözlemiş, karışımında taneciklerin dizel yakıtına göre daha hızlı buharlaşması ve yanmasıyla özgül yakıt tüketiminde bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Kaplan vd. (2011), % 3 terebentin ve %97 dizel yakıtı oranındaki karışımla, dizel yakıtına yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Egzoz emisyonlarında önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir. Sülfat terebentinin viskozite değerinin dizel yakıtına yakın olmasına rağmen parlama noktasının daha düşük olması nedeniyle kış şartlarında ve direkt ateşleme ile kullanımında avantajlar sağladığını tespit etmişlerdir [11].

2. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Terebentin yenilenebilir biyo esaslı kaynak olması nedeniyle petrol yakıtlarına eklenen alternatif yakıtlardan olup buji ile ateşlemeli motorlarda petrol yakıtlarının tüketimini düşürme potansiyeli sağlayan bir biyo-yakıttır. Ormanlık bitkiler, tarımsal ve ormansal artıklar, kentsel katı atıklar ve endüstriyel atık çayların büyük bir bölümü olarak bol, yerli, selülozik biyo-kütle kaynaklarından üretilmektedir.

Ham reçine, çam sakızı ve terebentinin dünya üzerindeki üretimi Çizelge 1'de verilmiştir. Biyokütleden terebentin üretimi bazı ülkelerden ithal edilen ham petrolün tüketimini ve çevresel kirliliğini azaltmakta ve ayrıca ekonomik fayda sağlamaktadır.

Çizelge 1. Ham reçine, çamsakızı ve terebentinin dünya üretim(ton) kapasitesi [13].

Üretim (ton)	Yıl	Ham reçine	Çam sakızı	Türbentin
Toplam Dünya Üretimi		976 000	717 000	99 400
Çin	1993	570 000	430 000	50 000
Endonezya	1993	100 000	69 000	12 000
Rusya	1992	90 000	65 000	9 000
Brezilya	1993	65 000	45 000	8 000
Portekiz	1992	30 000	22 000	5 000
Hindistan	1994	30 000	21 000	4 000
Arjantin	1993	30 000	21 000	4 000
Meksika	1991	30 000	22 000	4 000

Honduras	1992	8 000	6 000	1 000
Venezuela	1993	7 000	5 000	800
Yunanistan	1993	6 000	4 000	600
Güney Afrika	1993	2 000	1 500	200
Vietnam	1990	2 000	1 500	200
Diğerleri	-	6 000	4 000	600

Terebentin benzine eklenerek buji ile ateşlemeli motorda kullanılabilen çevreye daha az zarar veren bir alternatif sıvı yakıttır. Modifikasyon dışında motorlarda kullanılır. Fakat ham petrolün bol olması içten yanmalı motorlarda terebentin kullanımını azaltmıştır. Bugün yaygın olarak petrol yakıtının fiyatının artması içten yanmalı motorlarda terebentinin kullanımını yeniden gündeme getirmektedir. %20 terebentin ve %80 dizel performans ve emisyon karakteristikleri açısından optimum karışım olduğunu bildirmiştir [12,13].

Yakıt katılmış olan terebentin kullanımının birçok avantajları vardır [14]:

- Yenilenebilir yakıt ve biomas kaynaklardan kolayca elde edilebilir,
- Oldukça çevresel ve dost bir potansiyele sahiptir,
- Kendiliğinden tutuşma ve kaynama sıcaklığı benzinden daha yüksektir,
- Benzine katılan bir yakıt olarak terebentin kullanımının çevre, ekonomiklik ve tüketici için birçok faydası vardır,
- Isıl değeri ve viskozitesi benzin ve biyo- yakıtların değerinden daha yüksektir.

Terebentin üretimi iğne yapraklı ağaçlardan sağlanmaktadır. Yanabilme özelliği olan ve endüstrinin farklı kollarında kimyasal solvent olarak kullanılmaktadır. Özütü %75-90 reçine ve %10-25 yağ içeren ağaçlardan elde edilir. Damıtıldığında kimyasal formülü (C₁₀H₁₆) olarak elde edilir [15].

Coğrafi konum, ağaç türleri ve damıtma işlemine temel alan yüzdede değışen terpenler ve gerekli yağların bir karışımıdır. Terebentin yağı, buharla damıtılmış terebentin, sülfat terebentin, sülfid terebentin ve destruktif damıtılmış ağaç terebentin gibi beş farklı tipi vardır. Farlı alanlarda kullanılma özelliğinden dolayı tercih edilen bir üründür. Çizelge 2’de terebentin ve benzinin kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Terebentin ve benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [16].

	Benzin	Terebentin
Kimyasal Formülü	C ₄ -H ₁₂	C ₁₀ H ₁₆
Molekül Ağırlığı	105	136
Bileşimi (% wt)	C 88 H 15	C88.2 H11.8
Yoğunluk (kg/m ³)	780	860-900
Özgül Ağırlığı	0,78	0,86-0,9
Akma Noktası (°C)	-40	-
Kaynama Noktası (°C)	30-220	150-180
Buhar Basıncı (kPa)	48-103	<1
Viskozite cSt (30 °C)	-	2,5
Buharlaşma Gizli Isısı (kJ/kg)	350	285
Parlama Noktası (°C)	-43	38
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43,890	44,400
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (°C)	300-450	305
Alevlenme Sınırı (% hacim)	1,4	0.8

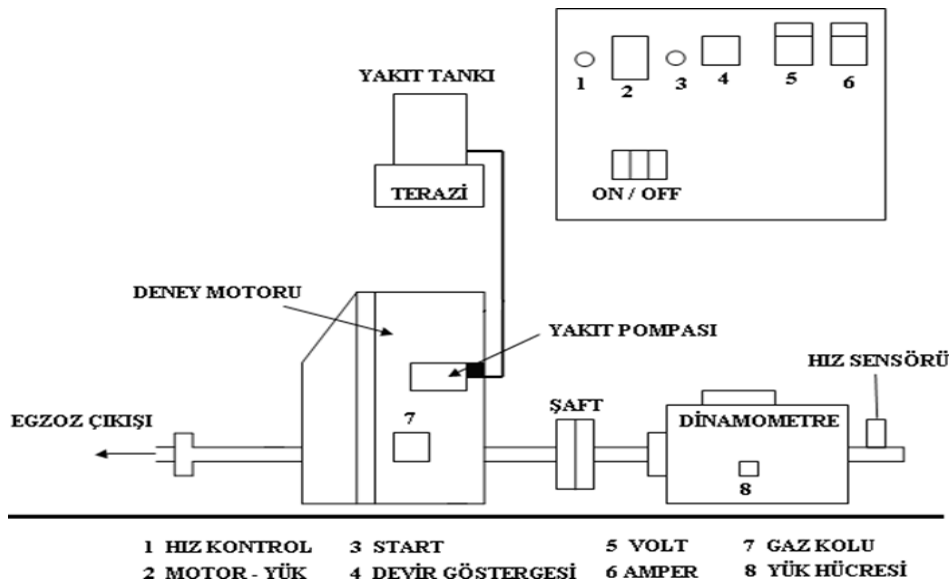
3. Deney Ekipmanları ve Yöntem

Deneyler tek silindirli benzinli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan motorunun teknik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Deney kullanılan motorun teknik özellikleri [1]

Motorun Markası ve Modeli	Honda GX 160
Motor Tipi	Hava soğutmalı, 4 stroklu, ateşleme avansı 25°
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	163 cm ³
Silindir Çapı	68 mm
Strok	45 mm
Sıkıştırma Oranı	8,5/1
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 rpm
Maksimum Motor Gücü	3,6 kW

Kullanılan benzin, T10 ve T20 yakıtlarında 2000-4000 min⁻¹ motor devirlerinde ve tam gaz kelebek açıklığında, 1.2-1,6 hava fazlalık katsayısında ön deneyler yapılmış olup motorun 1.6 değerinde daha uygun çalıştığı tespit edilerek deneyler 1.6 hava fazlalık katsayısında ve 25° avans değerinde deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan ekipman ölçüm öncesi kalibre edilmiştir. Her yakıt için motor rölanti devrinde çalışırken egzoz emisyonları ölçülmüş, sonra tam yük değişken devir testi yapılarak motor karakteristik değerleri elde edilmiştir. Motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra gaz kolu tam gaz konumunda iken motor dinamometresi ile yükleme yapılarak motor devri istenilen değere getirilmiştir. Test motoru ile 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 min⁻¹ devir aralığında ölçüm sonuçları alınmıştır. Deneylerde her üç yakıt için motor momentleri 2500 min⁻¹’da en yüksek seviyededir. Benzin ile yapılan ölçümler sonrasında %10 ve %20 terebentin-benzin karışımları ile motor performans ve egzoz emisyon (CO, CO₂, O₂, HC) değişimleri ölçülmüştür. Ölçümler üç defa tekrarlanarak değerlerin ortalaması esas alınmıştır. Ortam sıcaklığı 18 °C olduğu belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 1’de şematik olarak görülmektedir.

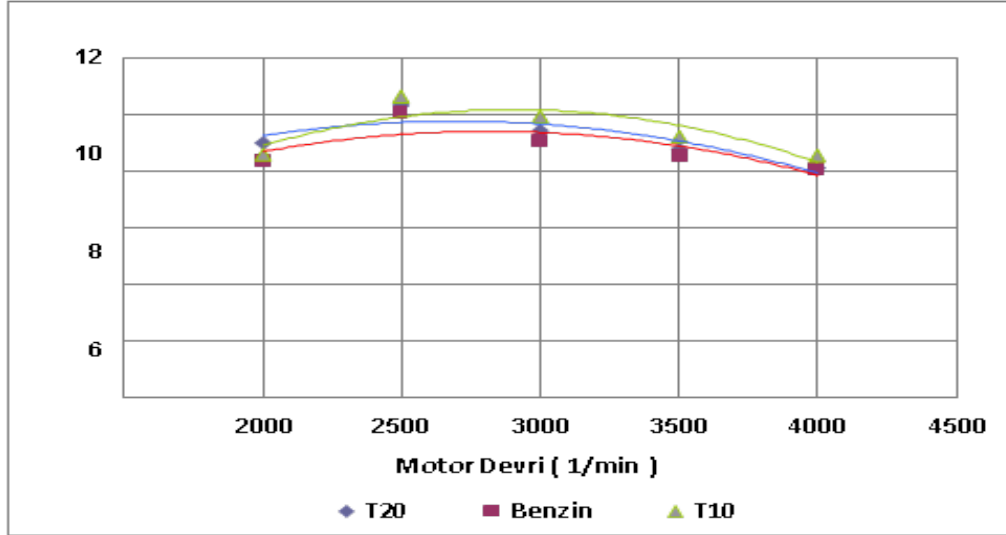


Şekil 1. Deney düzeneğinin genel şeması [1].

4. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

4.1. Benzin, T10 ve T20 Yakıtlarının Motor Momentine Etkileri

Şekil 2’de 2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtının motor momentini değişimleri görölmektedir.



Şekil 2. Terebentin benzin karışımları kullanımıyla motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

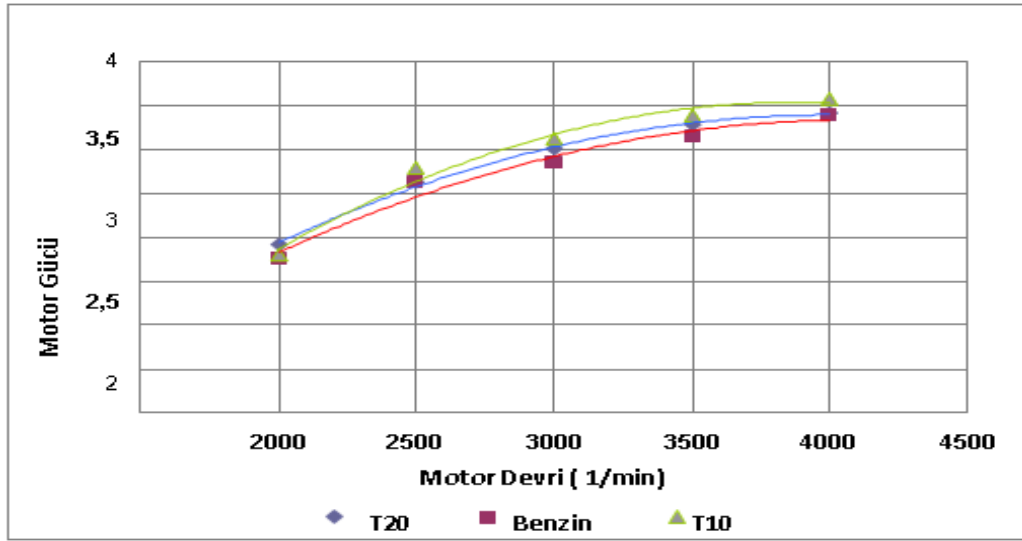
Benzin, T10 ve T20 kullanılarak yapılan deneylerde, en düşük devir olan 2000 min⁻¹’da, motor momentini kurşunsuz benzin yakıtı için 8,372Nm, T10 yakıtı için 8,60Nm ve T20 yakıtı için 9Nm olarak ölçölmüştür. Maksimum motor momentini her üç yakıt için 2500 min⁻¹ de ölçölmüştür. Bu devirden sonra moment de bir azalma eğilimi başlamıştır. Maksimum momentin elde edildiği 2500 min⁻¹’da benzine göre T10 yakıtının motor moment değerinde %5,67’lik bir artış ve T20 yakıtında %2,76’lık bir artış gözlenmektedir.

Hız artışına bağlı olarak karışım iyileşmekte gaz kaçakları ve ısı kayıplarında azalma gözlenmektedir. Bunun yanı sıra motor pompalama kayıplarının artması motor momentinde düşmeye neden olmaktadır. Moment değerlerinin en yüksek elde edildiği 2500 min⁻¹ de silindir içersine maksimum seviye de yakıt alınmış böylelikle motor momentini bu devirde maksimum değerine ulaşmıştır.

Motor devrinin artması ile birlikte volümetrik verim de değişmekte ve yüksek devirlerde silindir içersinde alınan hava-yakıt miktarında belirgin bir azalma görölmektedir. Bunun nedeni bir taraftan silindir içersine alınan hava-yakıt miktarı için yeterli zamanın olmaması diğer taraftan da sıcaklığın yüksek olması gibi bir çok neden sayılabilir. Hava yakıt miktarından ki bu değişim motor gücü ve tork’unu olumsuz yönde etkilemektedir.

4.2. Benzin, T10 ve T20 Yakıtlarının Motor Gücüne Etkisi

Şekil 3’de 2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtının motor gücü değişimleri görölmektedir.



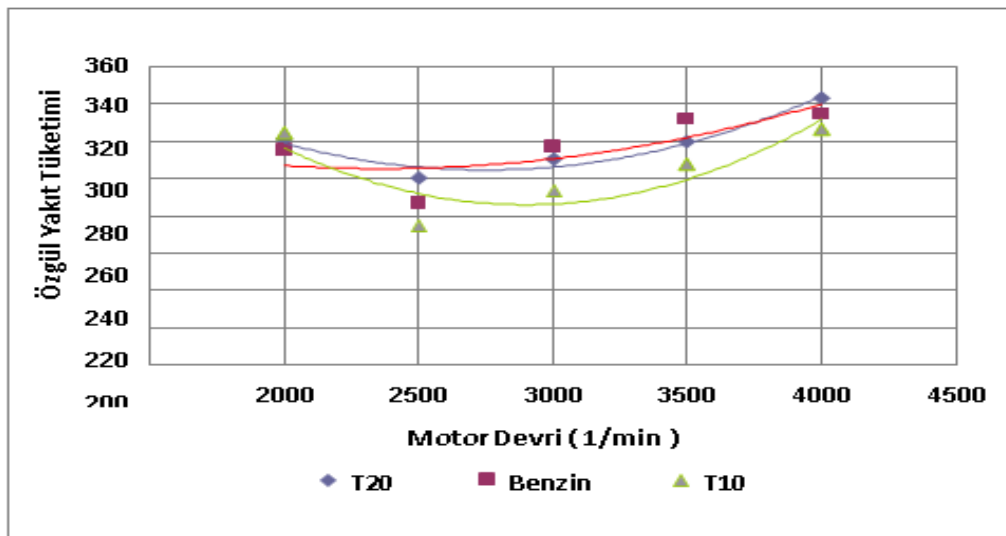
Şekil 3. Farklı yakıt kullanımıyla motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Motor gücü, deney yapılan üç yakıt için de motor devrine bağlı olarak artış göstermektedir (Şekil 3). En düşük devirde benzin yakıtı için güç değeri 1,753 kW, T10 yakıtı için 1,801 kW ve T20 yakıtı için de 1,920 kW olarak ölçülmüştür. En yüksek güç değeri kurşunsuz benzin, T10 ve T20 için 4000 min^{-1} 'de sırasıyla 3,387kW, 3,582kW ve 3,411kW olarak ölçülmüştür. Bu devirde benzine göre T10 yakıtında %5,91'lik bir artış ve T20 yakıtında ise %0,91'lik bir artış gözlenmiştir.

Motor gücü, motor devri, momentini, volümetrik verim gibi birçok faktöre bağlıdır. Deney motoru tek silindirli olup diğer benzinli motorlarda olduğu gibi yüksek devirlere çıkıldıkça düşük devirlere oranla motor gücündeki artış göreceli olarak azalmaktadır. Maksimum gücün elde edildiği devir değerlerinde birim zamanda en fazla karışım silindirlere alınmaktadır.

4.3. Benzin, T10 ve T20 Yakıtları Kullanımının Özgöl Yakıt Tüketimine Etkisi

Şekil 4'te 2000-4000 min^{-1} aralığında 500 min^{-1} aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor özgöl yakıt tüketimlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4. Farklı yakıt kullanımıyla özgöl yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

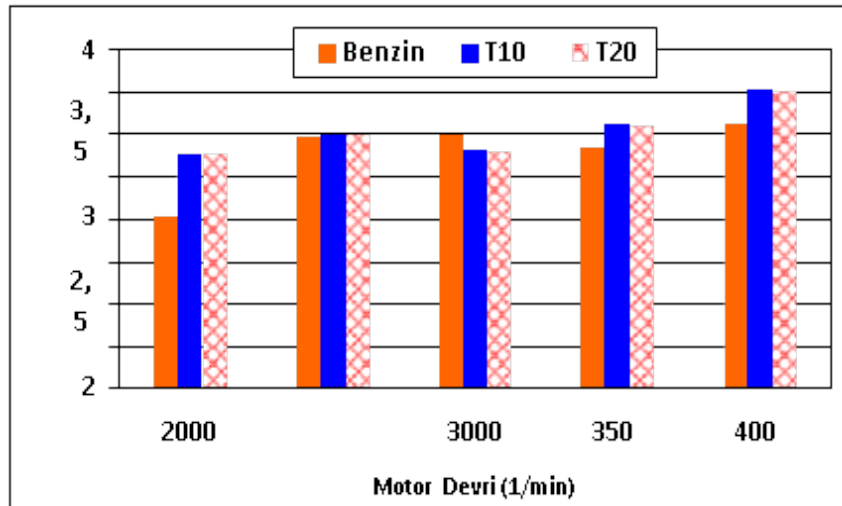
En düşük motor devrinde benzin yakıtı için ÖYT (Özgül Yakıt Tüketimi) değeri 315,124 g/kWh, T10 için 324,283 g/kWh ve T20 için ise 321,294 g/kWh olarak ölçülmüştür. Bütün yakıtlar için 2500 min-1 'da ÖYT en yüksek azalma gözlemiştir. Bu devirden sonra yakıtların ÖYT' de bir artış eğilimine girdiği gözlenmektedir. Özgül yakıt tüketiminin en az olduğu 2500 min-1' da benzin yakıtına göre T10 yakıtında %4,6'lık bir azalma ve T20 yakıtında ise %4.55'lik bir artış gözlenmiştir. Düşük devirlerdeki ÖYT deki artışın sebebi, kötü doldurma işlemi ve artık gazların silindir içerisindeki katsayılarının yüksek olması ve düşük devirlerde mekanik verimin düşük olması sonucunda ÖYT de artış göstermektedir. Devir artışına bağlı olarak motor gücü artmış yakıt tüketimi azalmıştır.

Benzinin alt ısı değeri 43890 kJ/kg terebentininin ise bu değere çok yakın olan 44400 kJ/kg olduğu Çizelge 2' de görülmektedir. Aynı zamanda benzin ve terebentin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirlerine oldukça yakın olmaları nedeniyle özgül yakıt tüketiminde fazla bir değişikliğin olmadığı ifade edilebilir. Buna karşın silindire alınan yakıt-hava karışımı, volümetrik verim, silindir içi türbülans vb faktörlere bağlı olarak Şekil 4 de ki gibi terebentin ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde azalma görülebilmektedir.

4.4. Farklı Yakıt Kullanımının Egzoz Gazı Emisyon Değerlerine Etkisi

Şekil 5'te 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimi görülmektedir. CO emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min-1'da benzin yakıtı için %2,03, T10 yakıtı için %2,77 ve T20 yakıtı içinde %2,77 olarak gözlenmiştir.

Düşük devirlerde yanma kalitesinin düşük olması, yakıt içerisinde karbonun tamamının yanmadığı durumlarda CO emisyonu artmaktadır. Ancak bunun yanında da düşük motor devirlerinde zengin karışıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden karışım zenginleştikçe silindir içerisine alınan yakıtın bünyesindeki karbon atomları tamamen yanarak CO₂ emisyonu oluşturacak O₂ (Oksijen) bulamaz ve CO emisyonu oluşturur. 2500 min-1 değerine kadar yani yanma iyileşinceye kadar CO emisyonu azalmış ancak devrin artmasına bağlı olarak yanma hızının artması ve silindir içerisine alınan karışımın homojenliğini kaybetmesinden dolayı karbon atomları yeterli oksijen bulamamış ve CO emisyonun da üç yakıt içinde artış gözlenmiştir. Ortalama CO değerlerine bakıldığında benzine göre T10 ve T20 yakıtlarında %8,6'lık artış olduğu gözlenmiştir.

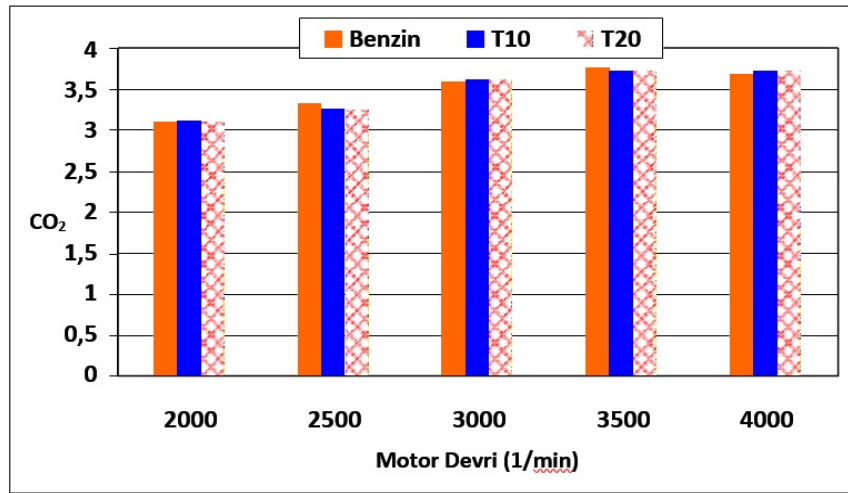


Şekil 5. Farklı yakıt kullanımıyla, CO emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi

Şekil 6'te 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak CO₂ emisyonu değişimi görülmektedir. CO₂ emisyon değeri en düşük devir olan

2000 min-1'da benzin yakıtı için %3,096, T10 yakıtı için %3,098 ve T20 yakıtı içinde %3,098 olarak gözlenmiştir.

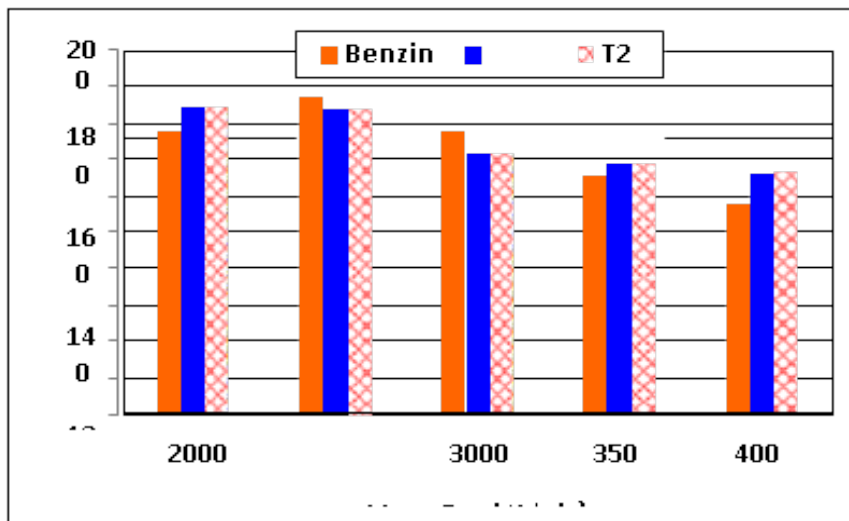
Düşük motor devirlerinde yanmanın kötü olması nedeniyle egzoz emisyonları daha çok zehirli gazlardan oluşmaktadır. Bu yüzden CO₂ değeri düşüktür. Ancak motor devri artmaya başladığında daha homojen bir karışım elde edilmektedir. Bu nedenle egzoz da görülen zararlı gazlar azalmakta onun yerine CO₂ emisyonu artmaktadır. Ortalama CO₂ değerlerine bakıldığında da benzin yakıtına göre T10 ve T20 yakıtlarında %0,3'lük azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6. Farklı yakıt kullanımıyla, CO₂ emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi

Şekil 7'de 2000-4000 min-1 aralığında 500 min-1 aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak HC emisyonu değişimi görülmektedir. HC emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min-1'da benzin yakıtı için 155,812 ppm, T10 yakıtı için 169,2 ppm ve T20 yakıtı içinde 169,2 ppm olarak gözlenmiştir.

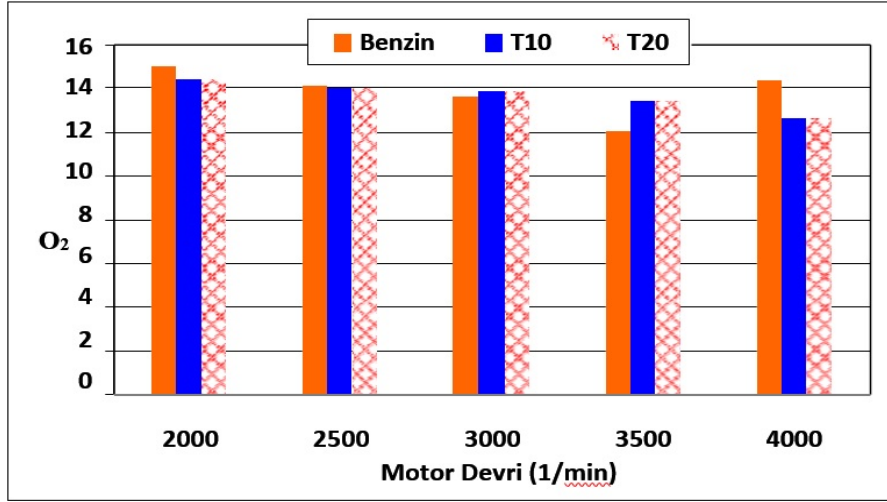
Düşük devirlerde yakıt tam olarak yakılamadığından HC oranı yüksektir. Devir arttıkça yanma odasına yeterli miktarda oksijen alındığından dolayı HC emisyonun da azalma görülmektedir. Ortalama HC değerlerine bakıldığında benzine göre T10 ve T20 yakıtlarında %2,21'lik artış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7. Farklı yakıt kullanımıyla, HC emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi.

Şekil 8’de 2000-2000-4000 min⁻¹ aralığında 500 min⁻¹ aralıkla benzin, T10 ve T20 yakıtlarının motor devrine bağlı olarak O₂ emisyonu değişimi görölmektedir. O₂ emisyon değeri en düşük devir olan 2000 min⁻¹’da benzin yakıtı için 15,038 ppm, T10 yakıtı için 14,455 ppm ve T20 yakıtı içinde 14,455 ppm olarak gözlenmiştir.

Motor devrinin periyodik olarak düzenli aralıklarla artışına bağlı olarak oksijen emisyonunun da sıra dıőı bir değişim gözlenmemiştir. Egzoz emisyonunun da oksijenin görölmemesinin nedeni içeri alınan havanın bir kısmının yanma olayına karışmadan egzozdan dıőarı atılmasıdır. Ortalama O₂ değerlerine bakıldığında Benzin yakıtına göre T10 ve T20 yakıtlarında %1,22’lik azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8. Farklı yakıt kullanımıyla, O₂ emisyonunun Motor devrine bağlı değişimi.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda benzin, T10 ve T20 katkılı yakıtların kullanılması sonucu 2000-4000 min-1 motor devir aralığında; motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimleri ve egzoz gazı emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Yakıt olarak benzin kullanılmasına göre terebentin karışımlarının moment değerleri daha yüksektir. Terebentinin benzinin ısı değerini ve oktan sayısını artırması da motor performansını arttırmaktadır. Motor gücü ise her üç yakıt için 4000 min-1’de en yüksek değerlere ulaşmıştır. Benzinli yakıtta göre terebentini yakıtlarda bir güç artışı görölmüştür. Motorun gücü, motor devri ve motor momentine bağlıdır. Sürtünme kayıplarının devre bağlı olarak artmasıyla momentin düşmesine ve aynı zamanda motor gücünde artış eğiliminin azalmasına neden olmuştur. ÖYT ise 2500 min-1’da en düşük çıkmıştır. Artan devre göre ÖYT yükselmiştir. Düşük devirlerde artışın sebebi kötü doldurma ve artık gazların silindir içerisindeki oranının yüksek ve düşük devirlerde mekanik verimin düşük olması sonucunda ÖYT artışı olmaktadır. Devir artışı ile bunların ortadan kalkmasının yanında motor gücü artmış ve ÖYT azalmıştır.

Egzoz emisyonları incelendiğinde yapılan çalışmada CO emisyonu benzinli çalışmaya göre 2000, 3500 ve 4000 min-1’larda yüksek, fakat 2500 ve 3000 min-1’larda düşük çıkmıştır. Düşük devirlerde yanma kalitesinin düşük olması ve yüksek devirlerde yanma odasında yetersiz oksijen olması nedeniyle CO miktarı artmıştır. Terebentinin çevrim sıcaklığının benzininkinden düşük olması ile yanma iyileştirilmektedir. Her üç yakıtta motor devri arttıkça HC değerleri düşmektedir. Supap bindirmesi, zengin karışımdan alevin yanma odası duvarlarına ulaşmadan sönmeye gibi nedenlerden dolayı düşük motor devirlerde HC miktarı artmaktadır.

Teşekkür

Bu makale, “Benzinli bir Motorda Terebentin Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi” adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir, Mevcut çalışmada laboratuvar imkânlarından faydalandığımız Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölüm başkanlığına ve tüm çalışanlarına vermiş oldukları emekten dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Başoğul, Y., 2008, “Benzinli bir Motorda Terebentin Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [2] Hamdan, M, A. and Al-Subaih, T. A., 2002, “Improvement of Locally Produced Gasoline and Studying its Effects on both the Performance of the Engine and the Environment”, *Energy Conversion and Management*, 43 (14), 1811-1820.
- [3] He, B., Wang, J., Hao, J., Yan, X. and Xiao, J., 2003, “A Study on Emission Characteristics of an EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels”, *Atmospheric Environment*, 37 (7), 949-957.
- [4] Topgöl, T., Yücesu, S., Çınar, C., 2004, “Etanol Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, 345, Ankara.
- [5] Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünaldı, M., 2004, “Türkiye için Alternatif Bir Yakıt: Biyoetanol, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri”, *Biyoenerji Sempozyumu*, İzmir.
- [6] Yüksel, F., ve Yüksel, B., 2004, “The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in a SI Engine”, *Renewable Energy*, 29, 1181-1191.
- [7] Choi, G., Chung, Y., Han, S., 2005, “Performance and Emissions Characteristics of a Hydrogen Enriched LPG Internal Combustion Engine at 1400 rpm”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 77-82.
- [8] Pouloupoulos S., Philippopoulos C., Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions, *Atmospheric Environment*, 28, 34, 4781-4786, 2000.
- [9] Yumrutas R., Alma M. H., Özcan H., Kaşka Ö., Investigation of purified sulfate turpentine on engine performance and exhaust emission, *Fuel*, 87, 252–259, 2008.
- [10] Butkus, A., Pukalskas, S., Bogdanovicus, Z., The influence of turpentine additive on the ecological parameters of diesel engines, *Transport*, Vol. 22, No 2, pp. 80–82, 2007.
- [11] Kaplan, C., Alma, M.H., Tutuş, A., Çetinkaya M., Karaosmanoğlu, F., Engine Performance and Exhaust Emission Tests of Sulfate Turpentine and No:2 Diesel Fuel Blend, *Petroleum Science and Technology*, Vol.23 pp. 1333-1339, 2005.
- [12] Karthikeyan R, Mahalakshmi NV., 2005, “Internal Combustion Engine”, Division of ASME. 1 Technical Conference, ICEF2005, Ottawa, Canada.
- [13] Karthikeyana, R., Mahalakshmi, N.V., 2007, “Performance and Emission Characteristics of a Turpentine–Diesel Dual Fuel Engine”, *Energy* 32(7), 1202–1209.
- [14] Demirbas A., 2007, “Progress and Recent Trends in Biofuels”, *Prog Energy Combust Science*, 33, 1–18.
- [15] ACGIH, 1986, “Industrial Ventilation—a Manual of Recommended Practice”, Cincinnati (OH): American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

REACTIVE RED 195 BOYARMADDESİNİN TIO₂/UV-C PROSESİ KULLANILARAK FOTOKATALİTİK RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Veyis SELEN^{1*}, Arzu TANYILDIZI², Gülbeyi DURSUN²

¹ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü, 23279-Elazığ, Turkey

² Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 23279-Elazığ, Turkey

Geliş tarihi: 01.02.2018 Kabul tarihi: 13.02.2018

ÖZET

Bu çalışmada, mono-azo bir boyarmadde olan C.I. Reactive Red 195 (RR195) boyarmaddesinin sulu çözeltilerinden giderimi, kesikli olarak işletilen hava beslemeli fotokatalitik reaktörde titanyum (IV) oksit (TiO₂) fotokatalizörü ve UV-C (254 nm) lamba varlığında araştırılmıştır. RR195 boyarmaddesinin renk giderimi üzerine TiO₂ konsantrasyonu (0-4 g/L), UV-C lamba gücü (0-90 W), hava besleme hızı (0-6 L/dk), başlangıç RR195 boyarmadde konsantrasyonu (50-150 mg/L), başlangıç RR195 çözeltisi pH'ı (4-8) ve karıştırma hızı (500-1500 rpm) gibi önemli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Optimum şartlarda (100 mg/L RR195, 3 g/L TiO₂, 90 W UV-C lamba gücü, 4 L/dk hava besleme hızı, pH_b 5.2 ve 1000 rpm karıştırma hızı) 210. dakikada % 83.6'lık bir renk giderim verimine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlardan RR195 boyarmaddesi renk gideriminin reaksiyon süresinden, fotokatalizör konsantrasyonundan, UV-C lamba gücünden, hava besleme hızından, başlangıç boyarmadde konsantrasyonundan ve karıştırma hızından etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Fotokatalizör konsantrasyonun ortamda daha fazla artışı ile UV-C ışık kaynağından gelen ışınların geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak daha iç bölgelerdeki fotokatalizörle buluşamaması sonucunda OH• radikallerinin azaldığı bu sebeple de renk giderim veriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonundaki artış ile renk gideriminin düştüğü, UV-C lamba gücü, hava besleme hızı ve karıştırma hızının (1000 rpm'e kadar) artışıyla da renk gideriminin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: C.I. Reactive Red 195, Fotokatalitik Reaktör, Heterojen Fotokatalitik Degradasyon, TiO₂, UV-C.

INVESTIGATION OF PHOTOCATALYTIC COLOR REMOVAL OF REACTIVE RED 195 USING TIO₂/UV-C PROCESS

ABSTRACT

In this study, photo degradation of mono-azo Reactive Red 195 was studied using TiO₂ catalyst with the UV-C (200-280 nm) irradiation in the air feed batch photocatalytic reactor. The effect of catalyst loading (0-4 g/L), UV-C lamp power (0-90 W), air feed rate (0-6 L/min), pH of solution, mixing rate and concentration of initial dye (50-150 mg/L) was studied and determined the values of optimum color removal yield. The optimum conditions for the degradation of the RR 195 dye in order to remove 83.4% color in the duration of 210 minutes was the concentration 100 mg/L dye, catalyst concentration 3 g/L, UV-C lamp power 90 W, air feed rate 6 L/min and the mixing rate 1000 rpm. The results show that the decolorization of dye was affected by the parameters of catalyst loading, initial dye concentration, UV-C light irradiation time, air feed rate, mixing rate and reaction time. The further increase of catalyst loading was presumably decrease light penetration, which decrease OH• radical generation decreasing color removal. It has been determined that the increase in initial dye concentration to

* e-posta: vselen@firat.edu.tr

decrease of color removal, UV-C lamp power, air feed rate and mixing speed have also been found increase by increasing color removal.

Keywords: C.I. Reactive Red 195, Heterogeneous Photocatalytic Degradation, Photocatalytic Reactor, TiO₂, UV-C.

1. Giriş

Son yıllarda, endüstrileşmenin bir sonucu olarak giderek artan çevre kirliliği, günümüzde artık sosyal bir sorun olmaktan çıkmış insan ve canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyen ciddi bir sorun haline gelmiştir [1]. Özellikle sentetik orjinli organik boyarmaddeler, atık sulardaki en büyük kirlenici unsurlarından birini oluşturmaktadır ve atık sulardaki bu boyarmaddelerin çoğu, çeşitli boyama ve apre prosesleri için geniş bir yardımcı kimyasal madde grubu ile birlikte kullanılan tekstil endüstrilerinden kaynaklanmaktadır [2]. Boyama amaçlı kullanılan 10,000 farklı boyarmadde ve pigment arasında azo boyarmaddeleri, tekstil endüstrisinde kullanılan tüm boyarmaddelerin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Azo boyarmaddeleri azot-azot çift bağları (-N=N-) içermekte ve bu özellik uygulanan kumaşa yüksek oranda fotolitik kararlılık kazandırmaktadır. Ancak, boyama verimi %60 ile %90 arasında değiştiği için, boyama işleminden sonra kullanılan boyarmaddelerin kalan miktarı boyama banyosu içerisinde kalmaktadır [3]. Tekstil endüstrisinin en büyük sorunlarından birisi olan boyama banyosu içerisinde kalan atık boyarmaddelerin yaklaşık %15'lik kısmının alıcı ortamlara verildiği bilinmektedir [4]. Doğal su kaynaklarının sabit olması, organik esaslı atıkların olumsuz etkileri ve doğadaki bozunum süreçlerinin çok uzun olması sebebiyle çeşitli faaliyetler neticesinde açığa çıkan atıkların bertarafı ve zararsız bileşenlere dönüştürülmesi önemlidir [5]. Boyarmadde içeren atık suların arıtılmasında koagülasyon [6], adsorpsiyon [7] ve membran filtrasyonu [8] işlemleri gibi prosesler bulunmaktadır. Bu işlemler atık sulardaki kirliliğe neden olan organik esaslı bileşikler ortadan kaldırmak yerine atık sulardaki kirlenici unsurları bir fazdan başka bir faza aktarımını sağlayarak arıtma çamurunun içerisinde daha konsantre bir hale getirebilir [9]. Bu nedenle alternatif arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, İleri Oksidasyon Prosesleri'nden bir tanesi olan Heterojen Fotokatalitik Degradasyon Yöntemi (HFDY) sulu ortamda organik kirlenicilerin bozundurulması için umut verici bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. HFDY'nde ultraviyole (UV) ışığına maruz bırakıldığında uyarılan ve hidroksil radikalleri (OH•) üreten yarı iletken fotokatalizörler (titanium dioksit (TiO₂), çinko oksit (ZnO) gibi) kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı, çok çeşitli toksik organik bileşiklerin kolaylıkla degradasyonuna uygun oluşundan kaynaklanmaktadır. OH• radikalleri, herhangi bir organik kirleniciye özgü olmaksızın suda çözünebilen organik kirlenicilerin oksidasyonunu gerçekleştirerek CO₂ ve H₂O gibi zararsız bileşenlere dönüşümünü sağlamaktadır [10].

TiO₂, yüksek fotokatalitik etkinlik, çözünmezlik, pH kararlılığı, yüksek fotokimyasal ve kimyasal kararlılık ve redoks etkinliği gibi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması yanında, biyolojik ve kimyasal açıdan inert, ekonomik, çevre dostu ve güneş veya yapay ışıkla kolayca etkinleştirilebilir oluşu nedeniyle de fotokatalizör olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [11]. Ayrıca geniş band enerjisi (3.2 eV) sayesinde 385 nm'ye kadar dalga boylu UV ışını ile kolaylıkla etkinleştirilebilmektedir [12]. Yarı iletken metal oksit fotokatalizörler, elektronlarla dolu olan valans bandı (VB) ve boş enerji seviyelerini içeren iletkenlik bandından (CB) meydana gelmektedir. Bu bağlamda, TiO₂ parçacıkları uygun bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında bozunma reaksiyonlarını başlatabilecek olan elektron-boşluk çiftleri oluşmaktadır [13]. Valans bandı boşlukları oksitleyici, iletkenlik bandı elektronları ise indirgeyici olarak etki göstermektedir [14].

Bu çalışmada, tekstil endüstrisi kaynaklı atık sulara yaygın olarak bulunan C.I. Reactive Red 195 boyarmaddesinin sulu çözeltilerinden fotokatalitik degradasyon ile giderimi TiO₂/UV-C prosesi kullanılarak incelenmiştir. Fotokatalitik degradasyon verimi üzerine, fotokatalizör konsantrasyonu, UV-C lamba gücü, başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, hava besleme hızı, pH ve karıştırma hızı gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

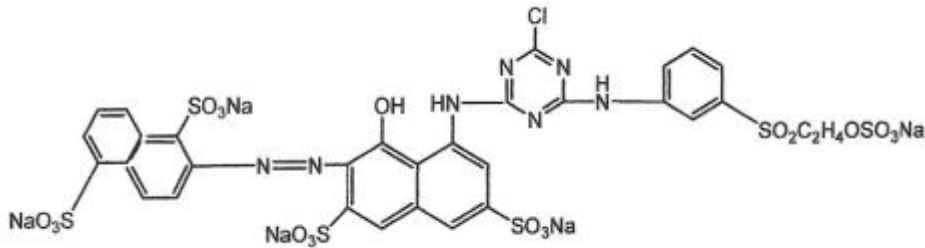
TiO₂ (titanium (IV) oksit; Cas. No: 13463-67-7) (Tablo 1) Merck (Almanya)'den ve C.I. Reactive Red 195 (RR195) (Tablo 2, Şekil 1) Pisa Tekstil A.Ş.'den temin edilmiştir ve saflaştırma yapılmaksızın gerçekleştirilen deneylerde kullanılmıştır. RR195 boyarmadde çözeltileri distile su ile hazırlanan stok çözeltiden (1000 mg/L) uygun seyreltmeler yapılarak hazırlanmıştır.

Çizelge 1. TiO₂ fotokatalizörünün fiziksel özellikleri.

Safılık, %	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Yüzey Alanı (m ² /g)
> 99	79.9	850	10.7

Çizelge 2. C.I. Reactive Red 195 (RR195) boyarmaddesinin özellikleri.

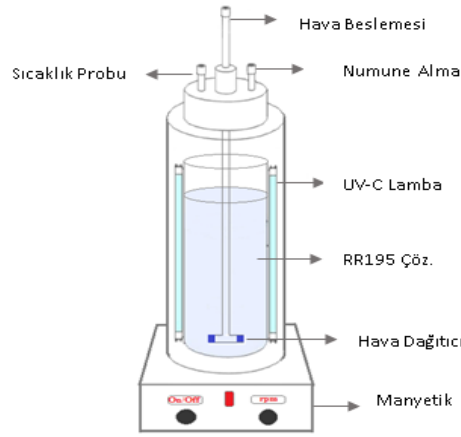
Boyarmadde	Kimyasal Formül	Molekül Ağırlığı (g/mol)	λ_{max} .
C.I. Reactive Red 195	C ₃₁ H ₁₉ ClN ₇ Na ₅ O ₁₉ S ₆	1136.3	540



Şekil 1. RR195 boyarmaddesinin kimyasal yapısı [15].

2.2. Fotokatalitik Reaktör

Fotokatalitik degradasyon deneyleri için fotokatalitik reaktör sistemi olarak boyu 55 cm (çalışma hacmi yüksekliği 45 cm ve çalışma hacmi 1.5 L) ve iç çapı 4.6 cm olan kuvars cam malzemeden yapılan kolon kullanılmıştır. Kolon etrafına UV ışık kaynağı olarak 6 adet UV-C lamba (254 nm, Philips, 15 W) yerleştirilmiştir. Hava, sisteme akış ölçer aracılığıyla akış hızı ayarlanarak bir gaz dağıtıcısı yardımıyla verilmekte ve fotokatalitik reaktör içerisindeki sıcaklık değişimi fotokatalitik reaktörün üst kısmından çözelti içerisine daldırılan bir ısı çift yardımıyla gözlenmiştir. Ayrıca fotokatalitik reaktörün üst kısmında belirli aralıklarla numune almak için bir numune alma portu bulunmaktadır. Çalışmalar sırasında fotokatalitik reaktör sıcaklığını sabit tutmak için, fotokatalitik reaktör etrafına yerleştirilen fanlar ve dış ceket etrafına sarılan soğutma serpantini kullanılmıştır. Fotokatalitik reaktör sistemi manyetik karıştırıcı (Pyro-Magnestir) üzerine yerleştirilmiştir ve 30x6 mm ölçülerinde teflon kaplı manyetik balık ile karıştırılarak sürekli bir karıştırma sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan fotoreaktör sistemi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Fotokatalitik reaktörün şematik gösterimi.

2.3. Deneysel Çalışma

RR195 boyarmaddesinin renk giderim verimine, TiO₂ konsantrasyonu (0-4 g/L), UV-C lamba gücü (0-90 W), başlangıç boyarmadde konsantrasyonu (50-150 mg/L), hava akış hızı (0-6 L/dk), çözelti başlangıç pH (4-8)'ı ve karıştırma hızı (500-1500 rpm)'nin etkileri araştırılmıştır. Fotokatalitik renk giderimi sırasında belirli zaman aralıklarında alınan numunelerde, TiO₂ fotokatalizörü 14800 rpm'de 5 dk süre ile santrifüjleme (Thermo CL21) sonunda ayrıldıktan sonra sıvı kısımda kalan RR195 boyarmaddesinin konsantrasyonu spektrofotometrik (Shimadzu UV/vis 1800) olarak 540 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Optimum şartlar altında 210. dk'daki ve başlangıçtaki numunelerin toplam organik karbon içeriği Shimadzu TOC-L cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Herhangi bir andaki boyarmadde konsantrasyonu ve degradasyon verimi sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_t = \frac{\text{Absorbans}_{(OD540)}}{0.0129} \times \text{Seyreltme Oranı} \quad (1)$$

$$\text{Renk Giderim Verimi, \%} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

Bu eşitliklerde; C₀, başlangıç RR195 konsantrasyonunu (mg/L); C_t, herhangi bir t anındaki RR195 konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

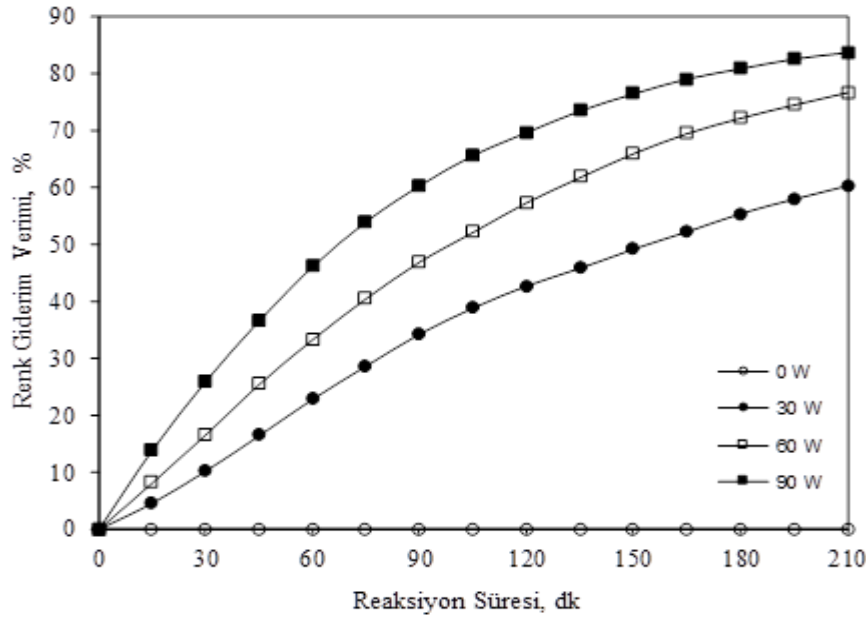
3.1. TiO₂ Konsantrasyonunun Etkisi

Heterojen fotokatalitik degradasyon ile RR195 boyarmaddesinin sulu çözeltilerinden renk giderim verimi üzerine TiO₂ konsantrasyonunun etkisi, farklı TiO₂ konsantrasyonlarında (0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 g/L), 100 mg/L konsantrasyonundaki ve doğal çözelti pH (pH_b=5.2)'ndeki RR195 çözeltilerinin 210 dakika süre ile 90 W gücünde UV-C lamba altında, 6 L/dk hava besleme hızında, 1000 rpm sabit karıştırma hızında ve 20 oC sabit sıcaklıkta işletilen fotokatalitik reaktörde incelenmiştir. Ortamdaki TiO₂ konsantrasyonunun artışına paralel olarak renk giderim verimi 3.0 g/L TiO₂ konsantrasyonuna kadar artmış ve daha yüksek TiO₂ konsantrasyonlarında ise kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Ortamda TiO₂ bulunmadığı durum için herhangi bir renk giderimi

gözlenmemiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Optimum fotokatalizör konsantrasyonuna kadar katalizör miktarındaki küçük bir artış bile boyarmaddenin degradasyon veriminde belirgin bir artışa sebep olmaktadır. Bu durum, süspansiyona nüfuz eden UV ışınının fotokatalizör yüzeyindeki aktif bölgelere absorplanan fotonlarının artışıyla birlikte üretilen OH• radikallerinin miktarındaki artış ile açıklanabilir. Dolayısıyla fotokatalizör konsantrasyonu arttıkça toplam aktif yüzey alanı ve degradasyon verimi de artacaktır. Ancak, optimum fotokatalizör konsantrasyonunun üstündeki değerlerde süspansiyonda daha yoğun olan fotokatalizör partiküllerinin sebep olduğu türbidite sonucu UV ışın geçirgenliği azalacak ve bunun sonucu olarak degradasyon veriminde bir düşüş gözlemlenecektir [16-18].

3.2. UV-C Lamba Gücünün Etkisi

RR195 boyarmaddesinin TiO₂/UV-C heterojen fotokatalitik degradasyon prosesi ile renk giderim verimi üzerine UV-C lamba gücünün etkisi, 100 mg/L konsantrasyonundaki ve doğal çözelti başlangıç pH (pH₀=5.2)'ndaki RR195 boyarmadde çözeltilerinin, 3 g/L TiO₂ konsantrasyonunda, 6 L/dk hava besleme hızında, 1000 rpm sabit karıştırma hızında ve 20 °C sabit sıcaklıktaki reaksiyon şartlarında 0.0, 30, 60 ve 90 W arasında değişen UV-C lamba gücü 210 dakika süre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. UV-C lamba gücünün fotokatalitik renk giderim verimi üzerine oldukça etkin olduğu Şekil 4'ten görülmektedir. UV-C ışık yoğunluğu artışına paralel olarak renk giderim verimi artmaktadır. Bunun sebebi olarak literatürde yapılan çalışmalarda, ışık yoğunluğunun artmasıyla birlikte fotokatalizör tarafından absorbe edilen foton miktarının da artacağı ve bunun sonucu olarak elektron boşluk çiftlerinin üretimini kolaylaştırarak fotokatalitik reaktörde OH• radikallerinin artışına sebep olmasıyla daha etkin bir giderim verimine ulaşılabileceği belirtilmektedir [19-22].

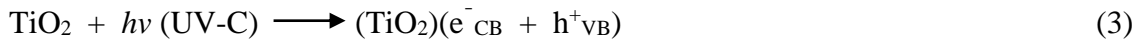


Şekil 4. UV-C lamba gücünün RR195 boyarmaddesinin fotokatalitik renk giderim verimine etkisi (Şartlar: 1500 ml 100 mg/L RR195; TiO₂ Konsantrasyonu: 3 g/L; Hava Besleme Hızı: 6 L/dk; Karıştırma Hızı: 1000 rpm; pH₀: 5.2; Sıcaklık: 20 °C).

3.3. Hava Besleme Hızının Etkisi

Hava besleme hızının renk giderim verimine etkisi, 0.0, 2.0, 4.0 ve 6.0 L/dk hava besleme hızlarında 100 mg/L konsantrasyonunda RR195 ve doğal çözelti başlangıç pH (pH₀=5.2)'nda RR195

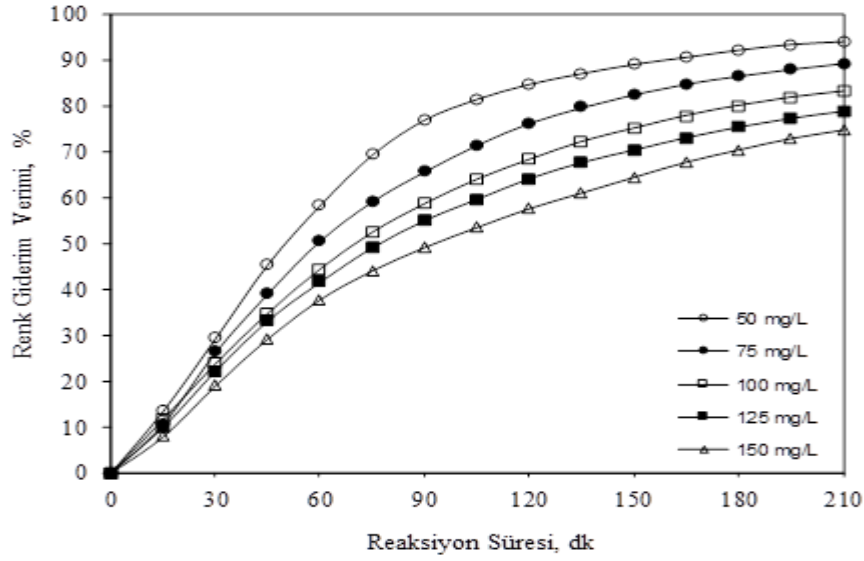
çözeltisi, 3 g/L konsantrasyonunda TiO₂, 90 W UV-C lamba gücünde, 1000 rpm karıştırma hızında ve 20 oC'de işletilen fotokatalitik reaktörde incelenmiştir. Fotokatalitik degradasyon ile renk gideriminde hava beslemesinin bulunmadığı durumda renk giderim veriminin hava besleme yapılan diğer durumlara nazaran daha düşük olduğu ve fotokatalitik reaktöre yapılan hava besleme hızındaki artışa paralel olarak renk giderim veriminin arttığı Şekil 5'ten görülmektedir. Bu aşamadan sonra gerçekleştirilen deneylerde hava besleme hızı 4 L/dk olarak alınmıştır. Fotokatalitik reaktöre yapılan hava beslemesinin renk giderim verimi üzerine etkisini üç şekilde açıklamak mümkündür. Birincisi, fotokatalitik reaktöre beslenen hava, UV-C fotonlarının boyarmadde çözeltisi içerisindeki geçirgenliğini ve TiO₂ ile olan etkileşimini arttırmaktadır. İkincisi, hava beslemesi heterojen bir formda olan fotokatalitik reaktör içerisindeki ortamın homojenliği arttırarak karıştırma verimliliğini yükseltmektedir. Üçüncüsü, beslenen hava miktarındaki artış fotokatalitik reaktör içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttırmaktadır [3, 23]. Bu durum, fotokatalizör ile UV-C fotonlarının etkileşimi sonucu oluşan elektron boşluk çiftlerinin tekrar birleşmesinin önüne geçerek OH• radikallerinin dolayısıyla da renk gideriminin artışına neden olmaktadır. Fotokatalitik reaktörde gerçekleşen reaksiyon mekanizmasının aşağıdaki eşitliklere göre olduğu varsayılmaktadır [24, 25].



Burada verilen reaksiyon mekanizmalarından, OH• radikallerinin üretimine oksijenin etkisi görülmektedir.

3.4. Başlangıç RR195 Konsantrasyonunun Etkisi

Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu fotokatalitik reaktörde renk giderim verimini etkileyen faktörlerden biridir. RR195 boyarmaddesinin konsantrasyonunun renk giderim verimine etkisi, 50, 75, 100, 125 ve 150 mg/L konsantrasyonlarında ve doğal çözelti başlangıç pH (pH_b=5.2)'nda boyarmadde çözeltileri kullanılarak, 3 g/L konsantrasyonunda TiO₂, 90 W UV-C lamba gücünde, 4 L/dk hava besleme hızında, 1000 rpm karıştırma hızında ve 20 °C'de işletilen fotokatalitik reaktörde incelenmiştir. Her boyarmadde konsantrasyonu için zamana bağlı renk giderim verimleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi boyarmadde konsantrasyonu artışına ters orantılı olarak zamana bağlı renk giderim verimi azalmıştır. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu arttıkça UV-C ışık kaynağından çıkan fotonların TiO₂ yüzeyinden daha ziyade boyarmadde molekülleri tarafından absorplanması katalitik verimin düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 6. Başlangıç RR195 boyarmadde konsantrasyonunun fotokatalitik renk giderim verimine etkisi (Şartlar: 1500 ml RR195; TiO₂ Konsantrasyonu: 3 g/L; UV-C Lamba Gücü: 90 W; Hava Besleme Hızı: 4 L/dk; Karıştırma Hızı: 1000 rpm; pH_b: 5.2; Sıcaklık: 20 °C).

Sonuç olarak, az sayıda fotonun TiO₂ yüzeyine ulaşarak absorplanmasıyla, fotokatalitik reaktörde hidroksil radikalleri üretimi azalmakta ve renk giderim veriminin düşmesine neden olmaktadır [26, 27].

3.5. Başlangıç pH'nın Etkisi

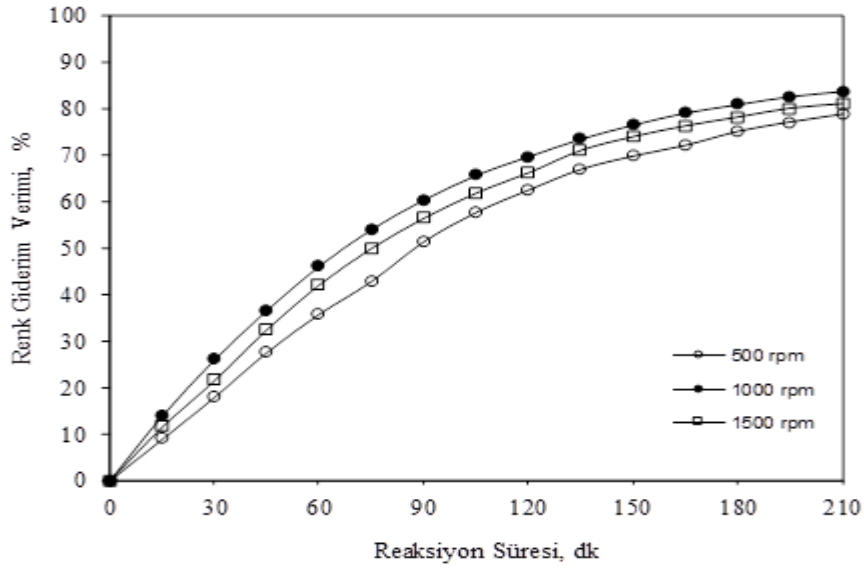
RR195 boyarmaddesinin TiO₂/UV-C prosesi kullanılarak renk giderim verimi üzerine başlangıç çözelti pH'sının etkisi, farklı başlangıç pH'larındaki (4.0, 5.2, 6.0 ve 8.0) 100 mg/L RR195 boyarmadde çözeltileri kullanılarak, 3 g/L konsantrasyonunda TiO₂, 90 W UV-C lamba gücünde, 4 L/dk hava besleme hızında, 1000 rpm karıştırma hızında ve 20 oC'de işletilen fotokatalitik reaktörde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'den de görüldüğü gibi başlangıç pH değeri 4.0 olduğu durumda RR195 boyarmaddesinin katalizör yüzeyine azda olsa adsorplandığından bahsedilebilir. Bu durum renk giderim verimini arttıracakı düşünülse de TiO₂ yüzeyindeki aktif bölgelerin boyarmadde molekülleri ile kaplanması sonucu UV-C ışık kaynağından gelen fotonların fotokatalizör ile buluşmasını önlediğinden daha yüksek pH değerlerinde (5.2, 6.0 ve 8.0) fotokatalizör yüzeyine RR195 boyarmadde adsorpsiyonu olmamasına rağmen zamanla renk giderim verimlerinde bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyum içerisindedir [28, 29].

3.6. Karıştırma Hızının Etkisi

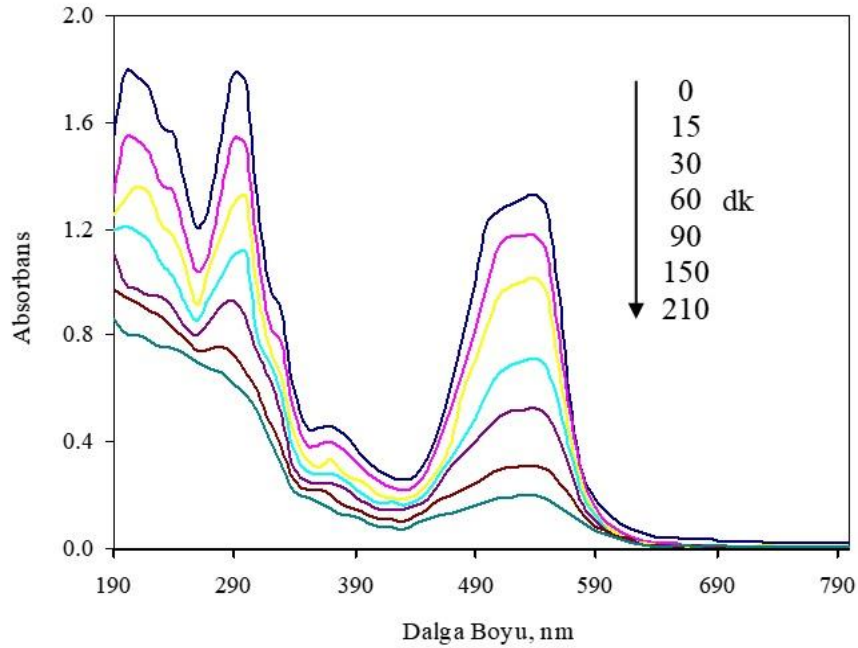
Fotokatalitik reaktör içerisindeki heterojen yapıdaki fotokatalizör ve boyarmadde çözeltisi süspansiyonunun karıştırma etkinliğinin renk giderim verimine etkisi, 3 farklı karıştırma hızında (500, 1000 ve 1500 rpm), 100 mg/L konsantrasyonunda (pH_b: 5.2) RR195 çözeltisi, 3 g/L konsantrasyonunda TiO₂, 90 W UV-C lamba gücünde, 4 L/dk hava besleme hızında ve 20 oC'de işletilen fotokatalitik reaktörde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Düşük karıştırma hızı olan 500 rpm değerinde fotokatalizörün boyarmadde çözeltisi içerisinde yeteri kadar dağıtılamadığı, buna karşın daha yüksek karıştırma hızı olan 1500 rpm değerinde ise fotokatalitik reaktör içerisinde yüksek karıştırma hızı nedeniyle ölü bölgeler oluştuğu düşünüldüğünden, renk giderim veriminin 1000 rpm karıştırma hızındaki verimden daha düşük değerlerde olduğu gözlenmektedir.

RR195'in fotokatalitik reaktörde TiO₂ ve UV-C ışık kaynağı varlığında renk gideriminin incelendiği deneylerden elde edilen optimum reaksiyon koşullarında (100 mg/L RR195, 3 g/L TiO₂, 90

W UV-C lamba gücü, 4 L/dk hava besleme hızı ve 1000 rpm karıştırma hızı) deney başlangıcından 210. dakikaya kadar belirli zaman aralıklarında alınan numunelerin 190-800 nm aralığındaki dalga boyu taraması ile yapılan spektrofotometrik değerlendirmesi absorbands arasındaki ilişki Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Karıştırma hızının fotokatalitik renk giderim verimine etkisi (Şartlar: 1500 ml 100 mg/L RR195; TiO₂ Konsantrasyonu: 3 g/L; UV-C Lamba Gücü: 90 W; Hava Besleme Hızı: 4 L/dk; pH_b: 5.2; Sıcaklık: 20 °C).



Şekil 9. RR195'in fotokatalitik renk giderim veriminin incelendiği deneylerde farklı zaman aralıklarında alınan numunelerin spektrofotometrik olarak değerlendirilmesi (Şartlar: 1500 ml 100 mg/L RR195; TiO₂ Konsantrasyonu: 3 g/L; UV-C Lamba Gücü: 90 W; Hava Besleme Hızı: 4 L/dk; Karıştırma Hızı: 1000 rpm; pH_b: 5.2; Sıcaklık: 20 °C).

4. Sonuç

Bu çalışma sonucunda tasarımı tarafımız tarafından gerçekleştirilen fotokatalitik reaktörde TiO₂/UV-C prosesi ile RR195 boyarmaddesinin sulu çözeltilerinden renk giderim verimi üzerine çeşitli parametrelerin etkileri belirlenmiştir. RR195 boyarmaddesinin renk giderimi üzerine, TiO₂ konsantrasyonunun, UV-C lamba gücünün, fotokatalitik reaktöre yapılan hava besleme hızının, başlangıç RR195 konsantrasyonunun ve karıştırma hızının etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. pH'ın ise incelenen aralıkta renk giderim verimi üzerine etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Optimum TiO₂ konsantrasyonu 100 mg/L RR195 içeren fotokatalitik reaktörde 3 g/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca başlangıç boyarmadde miktarının artmasının renk giderim verimini düşürdüğü, UV-C lamba gücünün, hava besleme hızının ve karıştırma hızının artmasının renk giderim verimini arttığı ortaya konulmuştur. Optimum koşullarda 210. dakikada % 83.6'lık bir renk giderim verimine ve % 71.3'lük bir toplam organik karbon giderim verimine ulaşılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmanın, tekstil endüstrisinde büyük bir sorun olan renkli atık suların arıtılmasında uygulanacak olan heterojen fotokatalitik degradasyon yöntemleri için bir birikim oluşturacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MF.15.36 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Larbi T, Amara MA, Ouni B, Amlouk M. Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue dye under UV-sunlight irradiation by cesium doped chromium oxide thin films. *Materials Research Bulletin* 2017;95:152-162.
- [2] Liu YM, Hua L, Li SQ. Photocatalytic degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by TiO₂/UV process. *Desalination* 2010;258:48-53.
- [3] Tang C, Chen V. The photocatalytic degradation of Reactive Black 5 using TiO₂/UV in an annular photoreactor. *Water Research* 2004;38:2775-2781.
- [4] Garcia JC, Oliveira U, Silva AEC, Oliveira CC, Nozaki J, de Souza NE. Comparative study of the degradation of real textile effluents by photocatalytic reactions involving UV/TiO₂/H₂O₂ and UV/Fe²⁺/H₂O₂ systems. *Journal of Hazardous Materials* 2007;147:105-110.
- [5] Aksu Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: A review. *Process Biochemistry* 2005;40:997-1026.
- [6] Li HY, Liu SY, Zhao JH, Feng N. Removal of reactive dyes from wastewater assisted with kaolin clay by magnesium hydroxide coagulation process. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* 2016;494:222-227.
- [7] Fabryanty R, Valencia C, Soetaredjo FE, Putro JN, Santoso SP, Kurniawan A, Ju YH, Ismadji S. Removal of Crystal Violet dye by adsorption using bentonite - alginate composite. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2017;5:5677-5687.
- [8] Harruddin N, Othman N, Sin ALE, Sulaiman RNR. Selective removal and recovery of Black B reactive dye from simulated textile wastewater using the supported liquid membrane process. *Environmental Technology* 2015;36:271-280.
- [9] Moradi M, Ghanbari F, Manshouri M, Angali KA. Photocatalytic degradation of azo dye using nano-ZrO₂/UV/Persulfate: Response surface modeling and optimization. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2016;33:539-546.
- [10] Osarumwense JO, Amenaghawon NA, Aisien FA. Heterogeneous photocatalytic degradation of phenol in aqueous suspension of periwinkle shell ash catalyst in the presence of UV from sunlight. *Journal of Engineering Science and Technology* 2015;10:1525-1539.

- [11] Nikazar M, Gholivand K, Mahanpoor K. Photocatalytic degradation of azo dye Acid Red 114 in water with TiO₂ supported on clinoptilolite as a catalyst. *Desalination* 2008;219:293-300.
- [12] Rashidi S, Nikazar M, Yazdi AV, Fazaeli R. Optimized photocatalytic degradation of Reactive Blue 2 by TiO₂/UV process. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 2014;49:452-462.
- [13] Khataee AR, Pons MN, Zahraa O. Photocatalytic degradation of three azo dyes using immobilized TiO₂ nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure. *Journal of Hazardous Materials* 2009;168:451-457.
- [14] Turchi CS, Ollis DF. Photocatalytic degradation of organic-water contaminants - mechanisms involving hydroxyl radical attack. *Journal of Catalysis* 1990;122:178-192.
- [15] Dursun AY, Tepe O. Removal of Chemazol Reactive Red 195 from aqueous solution by dehydrated beet pulp carbon. *Journal of Hazardous Materials* 2011;194:303-311.
- [16] Karaoglu MH, Ugurlu M. Studies on UV/NaOCl/TiO₂/Sep photocatalysed degradation of Reactive Red 195. *Journal of Hazardous Materials* 2010;174:864-871.
- [17] Rauf MA, Meetani MA, Hisaindee S. An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO₂ doped with selective transition metals. *Desalination* 2011;276:13-27.
- [18] Kalantary RR, Shahamat YD, Farzadkia M, Esrafilı A, Asgharnia H. Photocatalytic degradation and mineralization of diazinon in aqueous solution using nano-TiO₂(Degussa, P25): kinetic and statistical analysis. *Desalination and Water Treatment* 2015;55:555-563.
- [19] Zhou SH, Ray AK. Kinetic studies for photocatalytic degradation of eosin B on a thin film of titanium dioxide. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2003;42:6020-6033.
- [20] Garcia JC, Takashima K. Photocatalytic degradation of imazaquin in an aqueous suspension of titanium dioxide. *Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry* 2003;155:215-222.
- [21] Jafarzadeh NK, Sharifnia S, Hosseini SN, Rahimpour F. Statistical optimization of process conditions for photocatalytic degradation of phenol with immobilization of nano TiO₂ on perlite granules. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2011;28:531-538.
- [22] Zhang WL, Li Y, Wang C, Wang PF. Kinetics of heterogeneous photocatalytic degradation of rhodamine B by TiO₂-coated activated carbon: Roles of TiO₂ content and light intensity. *Desalination* 2011;266:40-45.
- [23] Akosman C, Orhan R, Dursun G. Effects of liquid property on gas holdup and mass transfer in co-current downflow contacting column. *Chemical Engineering and Processing* 2004;43:503-509.
- [24] Habibi MH, Hassanzadeh A, Mahdavi S. The effect of operational parameters on the photocatalytic degradation of three textile azo dyes in aqueous TiO₂ suspensions. *Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry* 2005;172:89-96.
- [25] Behnajady MA, Modirshahla N, Hamzavi R. Kinetic study on photocatalytic degradation of CI Acid Yellow 23 by ZnO photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials* 2006;133:226-232.
- [26] Magdalane CM, Kaviyarasu K, Vijaya JJ, Siddhardha B, Jeyaraj B, Kennedy J, Maaza M. Evaluation on the heterostructured CeO₂/Y₂O₃ binary metal oxide nanocomposites for UV/Vis light induced photocatalytic degradation of Rhodamine - B dye for textile engineering application. *Journal of Alloys and Compounds* 2017;727:1324-1337.
- [27] Siahpoosh ZH, Soleimani M. Photocatalytic degradation of azo anionic dye (RR120) in ZnO-Ghezeljeh nanoclay composite catalyst/UV-C system: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Process Safety and Environmental Protection* 2017;111:180-193.
- [28] Karimi L, Zohoori S, Yazdanshenas ME. Photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solutions under UV irradiation using nano-strontium titanate as the nanophotocatalyst. *Journal of Saudi Chemical Society* 2014;18:581-588.
- [29] Rajamanickam D, Shanthi M. Photocatalytic degradation of an azo dye Sunset Yellow under UV-A light using TiO₂/CAC composite catalysts. *Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2014;128:100-108.

AYRILABİLİR GÖVDELİ, ŞAŞIRTMALI KANAT DİZİLİMİNE SAHİP ÇİFT EMİŞLİ POMPA TASARIMI VE İMALİ

Hıdır Yankı KILIÇGEDİK^{1*}, Mustafa Turhan ÇOBAN¹, Ahmet Özden ERTÖZ²

¹Department of Mechanical Engineering, Ege University, Izmir, Turkey

²Vansan Water Technologies, Izmir, Turkey

Geliş tarihi: 02.01.2018 Kabul tarihi: 14.05.2018

ÖZET

Bir santrifüj pompanın çalışma ömrü, radyal kuvvetlerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu kuvvetler, çark ve salyangozun karmaşık etkileşiminin bir sonucu olan basınç dalgalanmalarına bağlıdır. Çift salyangozlu yapılar, radyal kuvvetlerin azaltılması amacıyla yıllarca başarıyla kullanılmıştır. Ancak, bu yöntem ciddi üretim problemlerini ve verim kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada çift emişli bir pompada radyal kuvvetlerin azaltılması için şaşırtmalı kanat dizilimi adı verilen yeni bir yaklaşımın etkinliğinin kullanılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla basınç, hız ve reaksiyon kuvvetleri gibi birkaç temel parametrenin karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modelinin doğruluğu pompa performans testleriyle de doğrulanmıştır. Çalışma neticesinde, şaşırtmalı kanat tasarımının, çift salyangozlu yapıya gerek duymadan bir santrifüj pompada radyal kuvvetleri azaltmak için etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Santrifüj pompa; şaşırtmalı kanat; hesaplamalı akışkanlar dinamiği; radial kuvvet; basınç dalgası.

A STUDY ON THE UNSTEADY PRESSURE CHARACTERISTICS IN A DOUBLE SUCTION CENTRIFUGAL PUMP WITH STAGGERED BLADE ARRANGEMENT

ABSTRACT

The operating life of a centrifugal pump is effected by the magnitude of the radial forces. Fundamentally, these forces are due to pressure variations around the impeller periphery which is a result of the complex interaction of two main components; impeller and volute. There are several approaches in the literature for load reduction. Double volute pumps have been successfully used for years. However, this method involves serious manufacturing problems and efficiency losses. This paper aims at using the effectiveness of a new approach called staggered blade arrangement for the reduction of radial forces in a double suction pump. A comparative analysis is performed by judging several key parameters such as pressure, velocity and reaction forces. The accuracy of the developed Computational Fluid Dynamics model was also verified with the pump performance tests. The outcomes of the study revealed that staggered blade arrangement can be used as an effective tool for reducing the radial forces in a centrifugal pump without needing to double volute design.

Keywords: Centrifugal pump, staggered blade, computational fluid dynamics, radial force, pressure pulsation.

* e-posta: yonque@gmail.com

1. Introduction

Pressure pulsations are unsteady fluctuations caused by impeller-volute interaction. They are usually induced by the swirling flow inside the centrifugal pump and they can have a significant effect on stable operation of a pump [1]. Even when the geometry of the impeller matches well with the geometry of the volute, pressure pulsations may still be present [2]. Since all centrifugal pumps operate with pulsations, it is necessary to reduce them to a minimum level with an optimum design. Many studies have been performed on pressure pulsation characteristics of centrifugal pumps and most of them emphasized the effects of geometrical parameters [3-7]. Essentially, the main purpose of this study is to explore the main transient effects of pressure fluctuations and open up a possibility of modeling the intensive interaction between each component.

The most practical method of reducing radial force while still maintaining hydraulic requirements is considered to be the double volute configuration. However, studies have shown that although double volute configuration greatly reduces the radial forces, there still exists some unbalanced force [8]. Additionally, sacrificing efficiency and ease of manufacturing due to the dividing rib [9, 10] is inevitable. Guelich [11] was among the first to realize the potential importance of the reaction forces in centrifugal pumps. His experimental investigation was focused on the characteristics of the wake flow at the impeller outlet. He conducted several tests to measure the pressure pulsation levels using piezoelectric pressure transmitters and gathered the results together as a statistical data for industrial pump testing. These pressure pulses were assumed to be the strongest source of pump vibration and so cause majority of the pump failures. Zhang et al [12] conducted a similar study, this time with a closed-loop test system to ensure the measurement accuracy. Although there are several relevant studies in literature, most of them have mainly been limited with investigations on the geometrical parameters. Zhou et al [13] however, paid special attention to the interaction of hydraulic excitation forces between impeller and volute which is the main source of the unsteady pressure pulsations according to Alemi et al. [14]. Importantly, they noted that low vibration signals are mostly caused by pressure pulsations and that is critical for stable operation of the pump. In another study, Zhang et al [15], investigated the consequences of use of staggered blade configuration on a double suction pump using CFD (Computational Fluid Dynamics). Not surprisingly, they have found that static pressure distribution of the symmetrical sides of the impeller are identical. Also, they found that staggered impeller arrangements result in lower pressure fluctuations than the non-staggered one. One important aspect of the flow that was neglected in the numerical model of Zhang et al [15] was that of velocity and pressure distributions of the core flow. The flow through a pump will inevitably be effected by the phase angle due to unsteadiness.

In present study, transient reaction forces in an axially split double suction pump was investigated. The suction and discharge flanges of the pump in on the lower casing, so the fluid is directed from the lower casing. Thanks to the double-entry impeller, axial forces are mostly compensated. However, since there is an uneven pressure distribution at impeller outlet, it's area weighted average around the periphery results in a static force as well as dynamic excitation forces [9]. Detailed analysis of the hydraulic excitation effects was performed and special caution was taken to reduce the effects of pressure peaks at vane passing frequency. Finally, in order to ensure a reliable and trouble-free operation, reaction force characteristics were investigated for various flow rates.

2. Model description

The hydraulic components consist of an impeller, a volute and a suction case. A 3D view of the structure is presented in Fig. 1. The rated capacity of the pump is 500 l/s. at 90 meters' water column. The impeller type is double suction; therefore, the specific speed is approximately 1326. In order for two parts to be staggered from each other in the circumferential direction, the whole blade was divided

into two sections by a rib and one half of the blades were arranged with a 30° phase angle. Also, the original non-staggered form of the impeller was investigated in order to describe the effects of staggered blades.

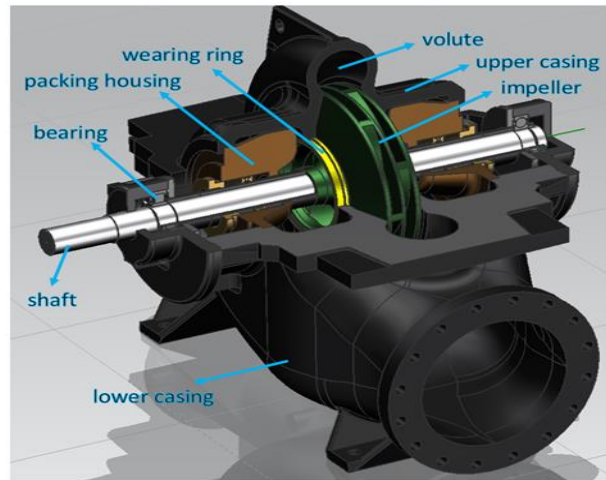


Figure 1. Three-dimensional view of the pump

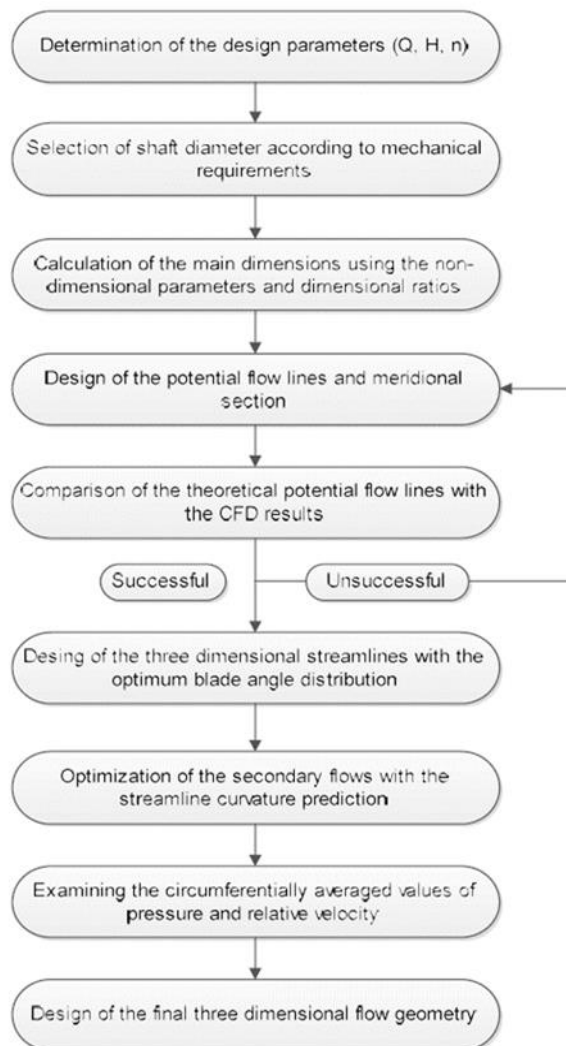


Figure 2. Flowchart of the pump design procedure

2.1. Details of the hydraulic design

2.1.1. Design of the meridional profile

Usually, a preliminary design is conducted on the basis of the data obtained from literature, and then as design progresses, this preliminary design is constantly revised and necessary corrections are made. Flowchart of the overall design procedure is given in Fig. 2. The first step in designing the impeller is to create the impeller meridional section. The meridional cross-section which meets the hydraulic requirements of the pump was designed to obtain a uniform flow inside the impeller. Basic dimensions are shown in Fig. 3 where “i” indicates the inner streamline, “o” indicates the outer streamline and “m” indicates the meridian streamline and related dimensions. On the other hand, 1 and 2 indices indicate inlet and outlet dimensions respectively.

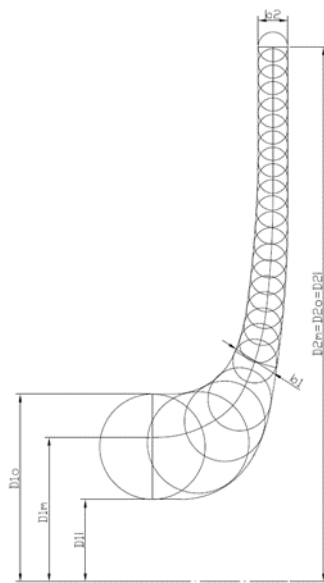


Figure 3. Basic dimensions of the meridional section

2.1.2. Blade design

There are different methods in the literature for blade design. In this study, the point-by-point blade design technique was used. With a few exceptions, most of the pump designs are still based on infinite blade and blade concurrent flow assumption. Although the results obtained with this method can often be used in turbines without significant corrections, this does not apply to pumps [9]. Since a pump designed with this method will have a very small specific blade energy, i.e. a lower net head than expected, it is not possible to achieve the desired net head. The presence of a gap between the blade surfaces makes a significant difference. Due to this finite gap, the flow between the blades does not resemble the assumed blade-concurrent flow. The direction of the relative velocity does not coincide with the calculated blade angle. Therefore, experimental and empirical data were used because it is not possible to investigate the three-dimensional flow inside the pump by simple methods. A correction factor called “slip factor” was used to predict the slip.

The equation proposed by Busemann in 1928 was a generally applicable prediction for slip factor until 1967. Later, Weisner performed a comprehensive review of various expressions and he was able to achieve a standard deviation of about 4% in the slip factor by the Eq. (1).

$$\gamma = f_1 \left(1 - \frac{\sqrt{\sin \beta_2}}{z^{0.70}} \right) \quad (1)$$

Here, β_2 is the blade angle at the trailing edge, z is the number of blades and f_1 is represents a factor that Weisner uses for different specific speeds. Useful reviews of the slip factor can be found in some other studies, for example, in the study of Li [16], Qui et al. [17], Caridad and Kenyery [18], Qui et al. [19] and Chen et al. [20]. Since the calculated blade outlet velocities will be somewhat less due to the slip effect, the correction presented in Eq. (1) was used in order to achieve the desired head value. Blade angle distributions on each streamline was specified accordingly so that the pressure differential neutralizes. 3-dimensional geometry of the final impeller design can be seen in Fig. 4 for staggered and non-staggered blade arrangements



Figure 4. Three-dimensional geometry of staggered (a) and non-staggered (b) impeller

Volutes have a diffusion channel formed by gradually expanding sections surrounding the impeller, which converts some of the kinetic energy of the fluid into potential energy. Suction case, on the other hand, directs the flow to the impeller inlet. Design of the suction case and volute are fairly straightforward. Detailed information about the design procedure can be found in [9]. Final design of the pump, together with all components, is shown in Fig. 5.

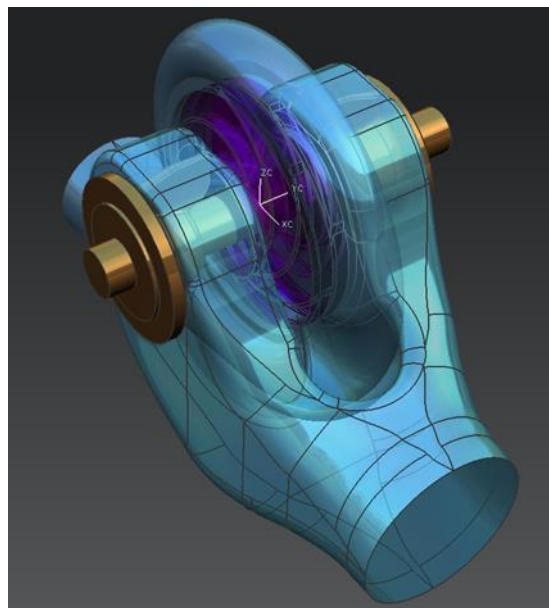


Figure 5. Final geometry of the pump assembly

2.2. Numerical model setup

The flow domain is made up of a suction case, an impeller and a volute. Reliable solution of turbulent flows stand in need of an accurate mesh generation. Considering the strong interaction between the mean flow and turbulence, turbulent flows are likely to be more sensitive to mesh characteristic than laminar flows [21]. Ansys meshing module was used to generate the mesh structure for the parts. Mesh generation was performed using unstructured elements. The maximum value of skewness among the domain was 0.88 and the total number of elements was approximately 3 million. The mesh structure of the model is shown in Fig. 6. CFD setup consists of one pressure outlet, one mass flow inlet and a lot wall boundary conditions. Mass flow rate was specified as 500 l/s in order to match the operating point. It's a common practice to specify a positive outlet pressure and let the pressure field to adjust itself by adapting the inlet pressure. Also, specification of the wall surface roughness is necessary as sometimes wall roughness effects may be significant in wall-bounded flows [22].

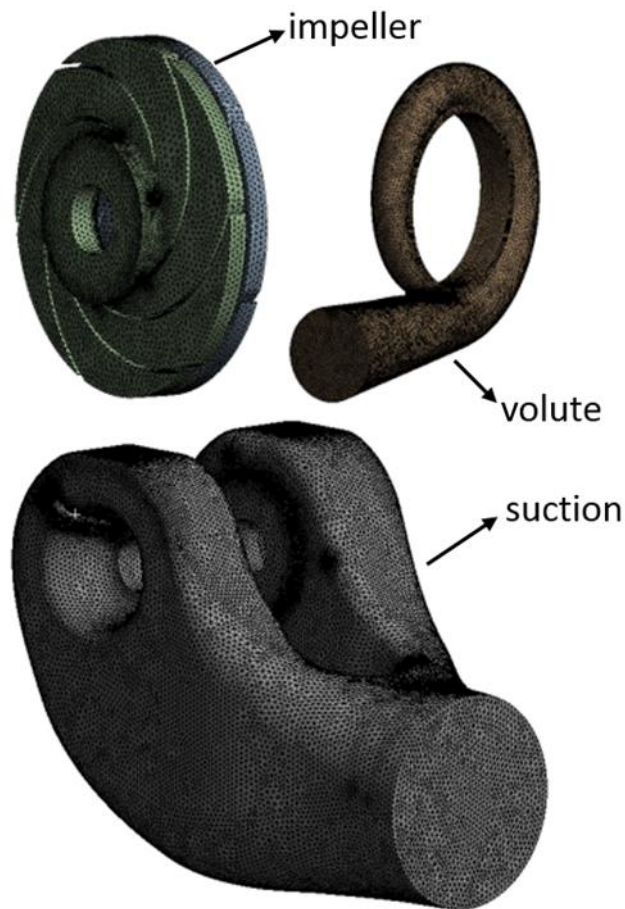


Figure 6. Mesh structure of the pump components

In this study, both generation and extension of pressure waves are computed by solving 3D Navier Stokes equations. Fluent software was utilized for the time-accurate solutions of the flow domain variables like pressure and velocity. K- ω SST model was used to determine the transported variables in terms of known quantities. As many authors often pointed out [23-25], k- ω SST turbulence model behaves reasonably well for problems involving adverse pressure gradients and flow separation. Second Order Implicit formulation was used in order to improve the accuracy.

Since the case involves multiple zones i.e. moving and stationary parts, the model has to be broken up into multiple cell zones. Hence, equations of Moving Reference Frame (MRF) were used for the

solution of the zones with moving components. On the other hand, stationary zones were solved using the stationary equations. As discussed in [26] this approach can be used in turbomachinery problems where the interaction between the stationary and rotating components is rather weak.

3. Results and Discussion

3.1. CFD results

Initially, flow inside the staggered and the non-staggered impellers were investigated. Fig. 7 shows the 3D velocity vectors for both types of impeller arrangements. It was observed that the vectors are tangent to the blade surfaces and there is no secondary flow in the core flow for both types of arrangements. The vector lines are uniform from leading edge to the trailing edge, indicating a proper blade angle distribution and suitably designed meridional section. Likewise, as shown in Fig. 8, total pressure distribution for both types of impellers are practically same and quite uniform. Pressure gradually increases from leading edge to trailing edge and stagnation occurs on the middle of the leading edge (Fig. 9).

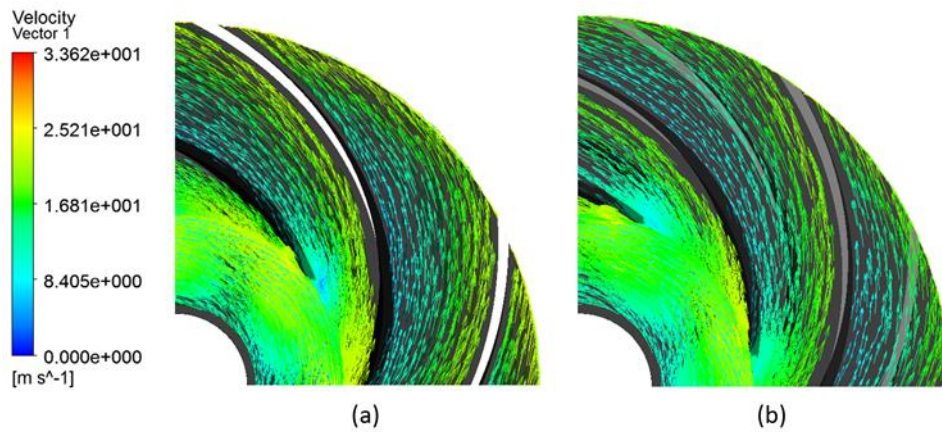


Figure 7. Velocity vectors for non-staggered (a) and staggered (b) impeller

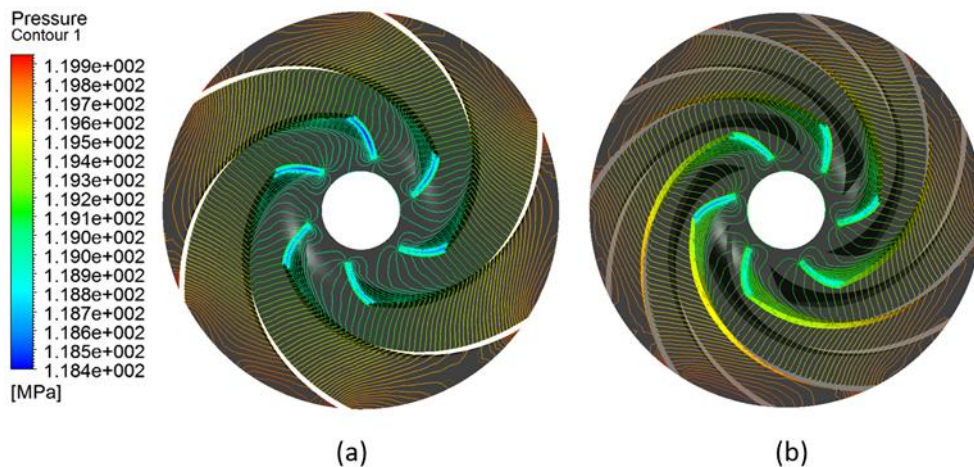


Figure 8. Total pressure contour lines for non-staggered (a) and staggered (b) impeller

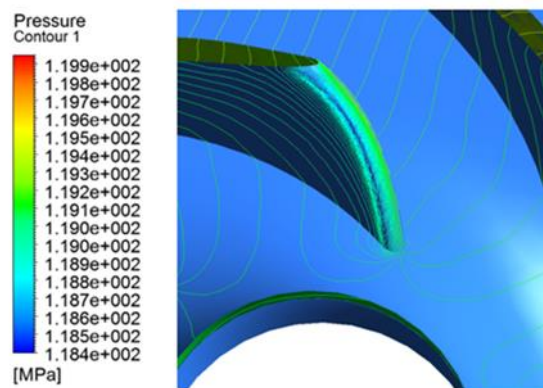


Figure 9. Pressure contours around the stagnation points of non-staggered impeller

In addition to this, the flow inside the volute must also be examined for both cases. Stagnations or sudden expansions that may occur inside the volute can cause kinetic energy losses and reduce the efficiency of the pump significantly. Results showed that, a fairly uniform flow and an optimal static pressure distribution is achieved by both staggered and non-staggered impellers.

The efficiency and head curves for both types of impellers are shown in Fig. 10. Due to the effect of the mixed loss over the impeller circumference, efficiency is slightly lower in case of the staggered blade configuration. The maximum efficiency points are approximately at the same flow rate. However, head and efficiency curves of the staggered impeller are slightly below than that of the non-staggered one.

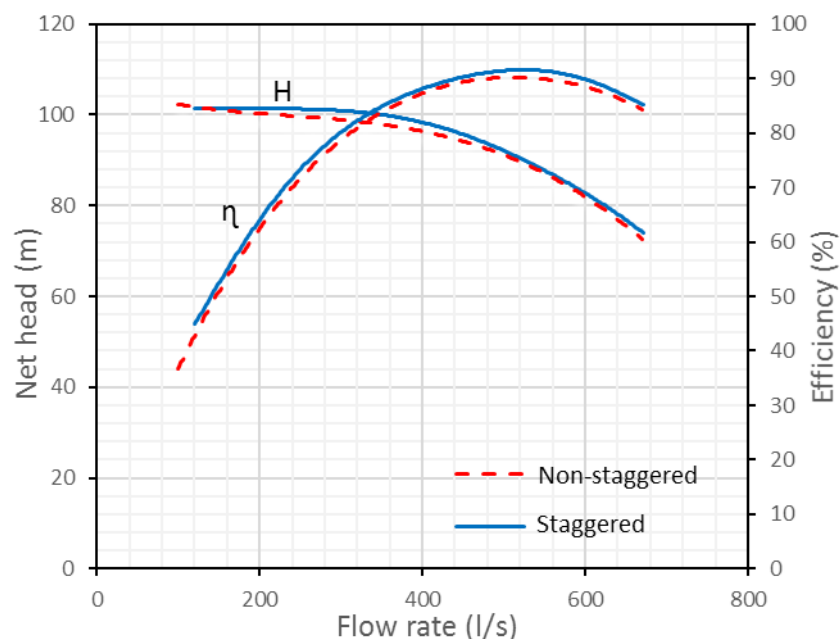


Figure 10. Comparison of the performance curves of both pumps

When radial forces exceed the marginal values, shaft deflection may become critical thus, leading to failure during the operation of the pump. Basically, radial forces are formed due to uneven distribution of total. By looking at the pressure distribution at the outlet of the impeller (Fig. 11), it can be observed that non-staggered arrangement has overlapping frequencies resulting a considerably bigger amplitude of the pressure pulsation. This is because non-staggered blades are passing the throat with the entire width all at once. These pulsations are initiated by each blade when passing the volute throat. This effect

is similar to sudden closure of a valve. On the other hand, in the case of staggered blade arrangement, the width of the blade tips that passes the volute throat is smaller.

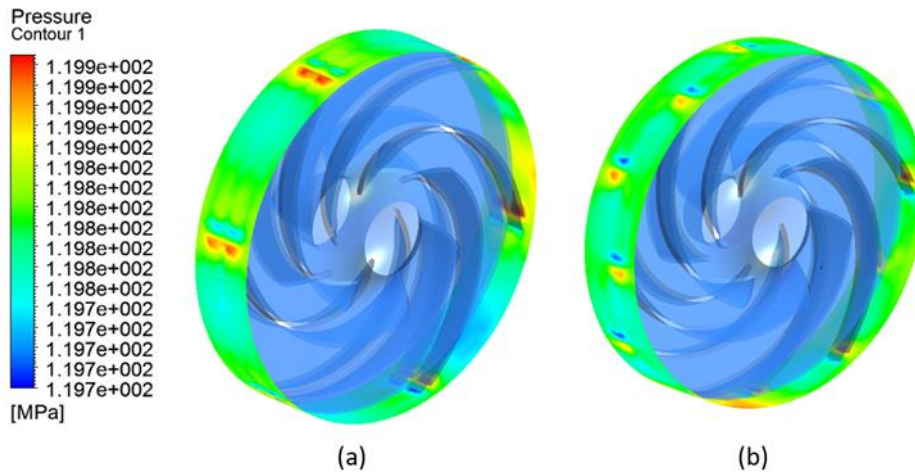


Figure 11. Total pressure distribution around the impeller outlet for non-staggered (a) and staggered (b) impeller

The differences in radial forces are shown in Fig. 12 for varying flow rates. In this case, magnitude of the force is obtained by the surface integrals. Force values are the vector addition of the forces in the direction of three principal axes. It is clear from the figure that magnitudes of the forces tend to decrease when the staggered blade arrangement is used. The slope of the force curve for both impellers have the same tendency. However, the difference between the force magnitudes are more pronounced at the rated flow rate. Although the impeller with staggered blades has the same number of blades, due to eccentricity which results from the unusual arrangements of the blade, it has a higher vane frequency. Therefore, it is an advantage to use staggered arrangement to effectively dampen the pressure pulsations.

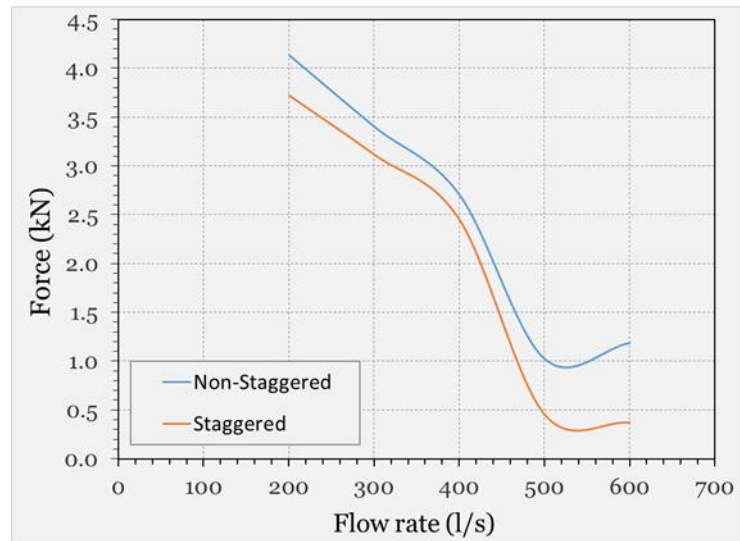


Figure 12. Influence of the staggered blade arrangement on radial force

3.2. Test results

To further discuss the impact of the staggered blades on the hydraulic characteristics of the pump, two axially split case, double suction centrifugal pumps, one with the standard blade configuration and

the other with the staggered blade arrangement, were manufactured. Photographical view of the manufacturing process and the experimental setup can be seen in Fig. 13. Pressure and flow rate measurements for various operating conditions were carried out using pressure gages and flowmeters at the test laboratory according to ISO 9906. Upon completion of the performance tests for two pumps, performance curves were obtained and compared with the CFD results. As shown in Fig. 14, there are minimal differences between them.

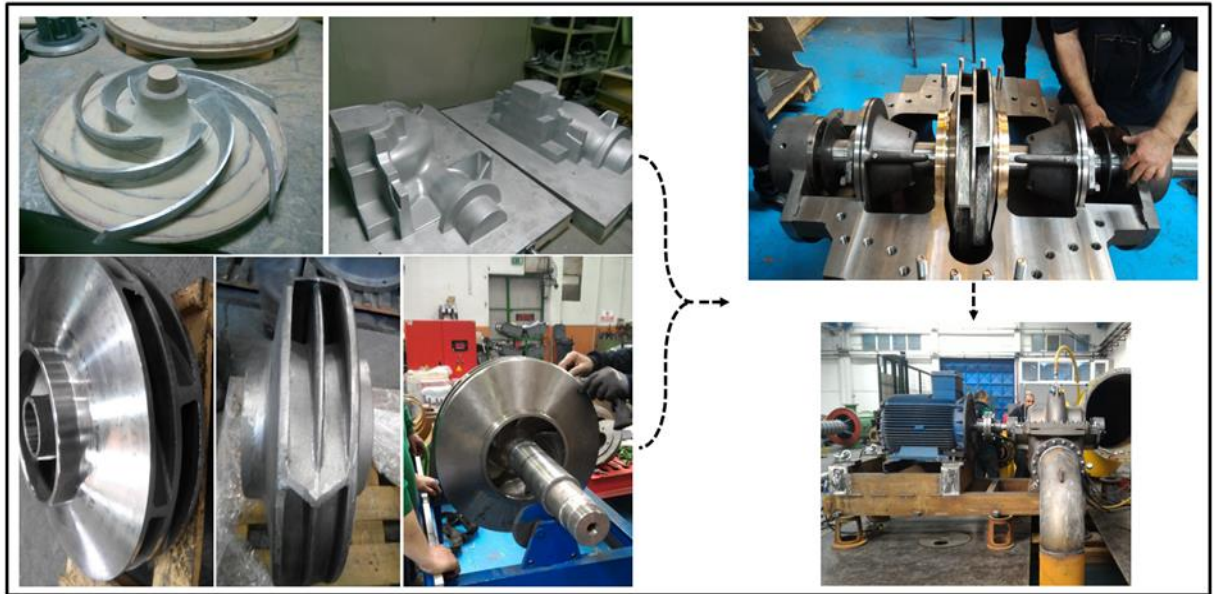


Figure 13. Details of the production process and experimental setup

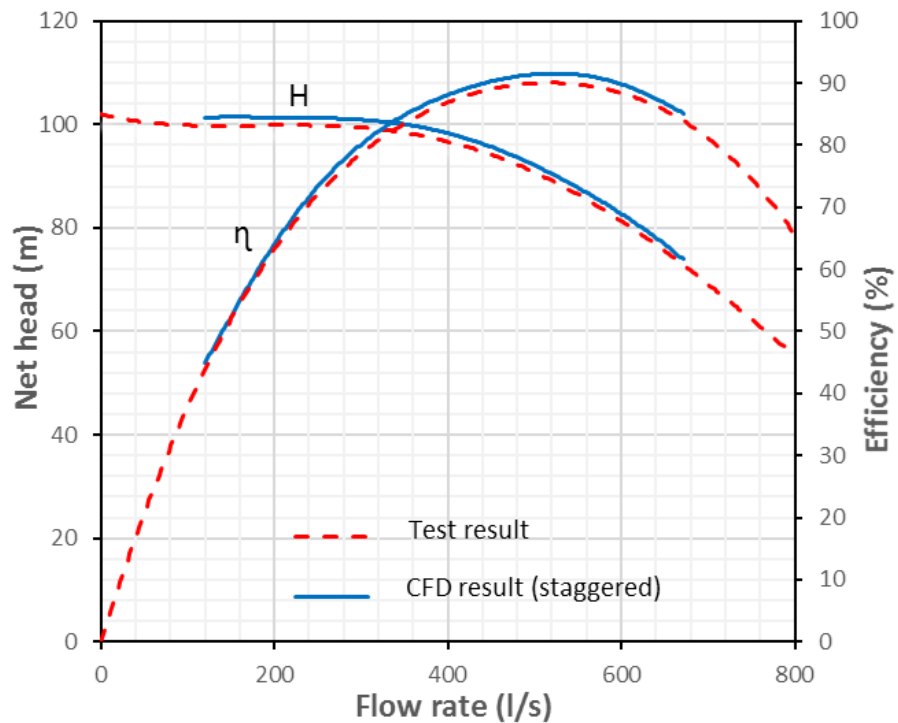


Figure 14. Comparison of the test results with CFD

4. Conclusions

A numerical and experimental study on the transient characteristics of the reaction forces of an axially split, double suction centrifugal pump was presented. The study was focused on the unsteady reaction forces around the impeller outlet circumference caused by the non-uniform pressure distribution. Reaction forces obtained from the transient flow simulations for varying flow rates were analyzed by simple means. The following conclusions can be drawn:

- Hydraulic spectrum characteristics on the hub and blade surfaces, both pressure and velocity distributions, are pretty much same for both types of impeller. However, total pressure contours indicate considerable differences. Although amplitude of the pressure pulsation of a single blade width is same for both impellers, since the staggered arrangement has half the vane passing frequency of the non-staggered one, considerably bigger pressure pulsations occur.

- It was found that reaction forces inside the pump is much smaller in the case of staggered blade arrangement.

- Finally, a fine agreement between numerical and experimental results was achieved.

We expect that the technique described in this work will contribute for a better understanding of the transient pressure characteristics of centrifugal pumps. In order to better understand the pressure characteristics, further experimental studies are needed.

References

- [1] Fujun CGW. Numerical investigation of unsteady pressure fluctuations near volute in a double-suction centrifugal pump. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 6:015, 2008.
- [2] Guo P, Luo X, Lu J, Zheng X. Numerical investigation on impeller-volute interaction in a low specific speed centrifugal pump with tongue profile variation. *Fluid Machinery and Fluid Mechanics*, Springer-Heidelberg, pp 310-315, 2009.
- [3] Spence R, Aaral-Teixeira J. A cfd parametric study of geometrical variations on the pressure pulsations and performance characteristics of a centrifugal pump. *Computational Fluids*, 38(6), pp. 1243–1257, 2009.
- [4] Yao Z, Wang F, Qu L, Xiao R, He C, Wang M. Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump. *Journal of Fluids Engineering*, 133(10), 101303, 2011.
- [5] Spence R, Amaral-Teixeira J. Investigation into pressure pulsations in a centrifugal pump using numerical methods supported by industrial tests. *Computers and Fluids*, 37(6), 690-704, 2008.
- [6] Barrio R, Parrondo J, Blanco E. Numerical analysis of the unsteady flow in the near-tongue region in a volute-type centrifugal pump for different operating points. *Computers and Fluids*, 39(5), 859-870, 2010.
- [7] Zhongyong YSNYP, Jianping YUAN. Unsteady turbulent simulation and pressure fluctuation analysis for centrifugal pumps. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 22(1), 2009.
- [8] Khalifa AE, Al-Qutub AM, Ben-Mansour R. Study of pressure fluctuations and induced vibration at blade-passing frequencies of a double volute pump. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 36(7), 1333-1345, 2011.
- [9] Gülich JF. *Centrifugal pumps*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 996p, 2010.
- [10] Fujun YMMSW. Numerical simulation of pressure fluctuation and radial force in a double volute pump. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 11:020, 2009.
- [11] Gülich JF, Bolleter U. Pressure pulsations in centrifugal pumps. *Journal of Vibration and Acoustics*, 114(2), 272-279, 1992.

- [12] Zhang N, Yang M, Gao B, Li Z, Ni D. Experimental investigation on unsteady pressure pulsation in a centrifugal pump with special slope volute. *Journal of Fluids Engineering*, 137(6), 2015.
- [13] Zhou FM, Wang XF. Effects of staggered blades on the hydraulic characteristics of a 1400-mw canned nuclear coolant pump. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(8), 2016.
- [14] Alemi H, Nourbakhsh S.A, Raisee M, Najafi AF. Effect of the volute tongue profile on the performance of a low specific speed centrifugal pump. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 229(2), 210-220, 2015.
- [15] Zhang ZC, Wang FJ, Yao ZF, Leng HF, Zhou PJ. Investigation on impeller radial force for double-suction centrifugal pump with staggered blade arrangement. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 52, No. 3, p. 032009, 2013.
- [16] Li WG. Effects of flow rate and viscosity on slip factor of centrifugal pump handling viscous oils. *International Journal of Rotating Machinery*, 2013.
- [17] Qiu X, Japikse D, Zhao J, Anderson MR. Analysis and validation of a unified slip factor model for impellers at design and off-design conditions. *Journal of Turbomachinery*, 133(4), 041018, 2011.
- [18] Caridad JA, Kenyery F. Slip factor for centrifugal impellers under single and two-phase flow conditions. *Journal of Fluids Engineering*, 127(2) 317-321, 2005.
- [19] Qui X, Mallikarachchi C, Anderson M. A new slip factor model for axial and radial impellers. *Proceedings of ASME Turbo Expo*, 2007.
- [20] Chen SY, Pang L, Qu YP, Li WF, Song XQ. Modification of the slip factor of a centrifugal pump considering boundary layer clogging. *Journal of Shandong University (Engineering Science)*, 2:012, 2009.
- [21] Li H, Rong L, Zhang G. Reliability of turbulence models and mesh types for cfd simulations of a mechanically ventilated pig house containing animals. *Biosystems Engineering*, 161:37-52, 2017.
- [22] Limbach P, Müller T, Blume M, Skoda R. Numerical and experimental investigation of the cavitating flow in a low specific speed centrifugal pump with different surface roughness. *Journal of Fluids Engineering*, 139(10), 101201, 2017.
- [23] A Wilcox DC. Formulation of the k-x turbulence model revisited. *AIAA J*, 46(11), 2823-2838, 2008.
- [24] Versteeg HK, Malalasekera W. *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson Education, 2007.
- [25] Murugesan C, Rudramoorthy R. Numerical and experimental study of single stage and multistage centrifugal mixed flow submersible borewell pumps. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 9(2), 107-118, 2016.
- [26] Remaki L, Ramezani A, Blanco JM, Garcia I. New simplified algorithm for the multiple rotating frame approach in computational fluid dynamics. *Journal of Fluids Engineering*, 139(8), 081104, 2017.

ZEYTİN KÜSPESİ ÇÖZELTİSİNİN DERİŞİME BAĞLI BİYOGAZ VE HİDROJEN POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Harun TÜRKMENLER^{1*}, Mustafa ASLAN², Mustafa GÜMÜŞ¹

¹ Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63100, Türkiye

Geliş tarihi: 03.04.2018 Kabul tarihi: 30.05.2018

ÖZET

Bu çalışmada zeytin küspesinden anaerobik fermantasyon yöntemi ile biyohidrojen ve biyogaz üretimi için en iyi substrat derişimleri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan substrat için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Uçucu Katı Madde (UKM), Toplam Askıda Katı Madde (TAKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP), Toplam Protein (TP), Toplam Karbonhidrat, pH ve alkalinite parametreleri hesaplanmıştır. Toplam biyogaz ve biyohidrojen analizleri gaz kromatografi cihazı (GC) ile ölçülmüştür. Zeytin küspesinden en yüksek toplam biyogaz üretimi 50 g/L substrat derişiminde 90,04 mL olarak ölçülmüştür. Zeytin küspesinden hidrojen üretimine bakıldığında ise en yüksek verimin 3,51 mL olduğu ve bu değerin elde edilmesi için en uygun derişimin 50 g/L substrat olduğu görülmüştür. Zeytin küspesinden hidrojen ve biyogaz üretilebilirliği görülmüş ve substrat derişimin artmasının üretim verimini de arttırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Biyohidrojen, Biyogaz, Zeytin Küspesi, Anaerobik Fermantasyon.*

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OLIVE CAKE CONCENTRATION ON THE BIOGAS AND BIOHYDROGEN POTENTIAL

ABSTRACT

In this study, the optimal substrate concentration for biohydrogen production has been investigated by using anaerobic fermentation method from olive cake. In the study, the following parameters for each substrate has been calculated: Chemical Oxygen Demand (COD), Volatile Suspended Solids (VSS), Total Suspended Solid Matter (TSSM), Total Nitrogen (TN), Total Phosphor (TP), Total Protein (TP), Total Carbohydrate (TC), pH and alcalinity. Total biogas and biohydrogen analyses were carried out by using a gas chromatography device. The highest total biogas production from olive cake was measured as 90.04 mL at a substrate concentration of 50 g/L. The highest yield was found as 3.51 mL and the most suitable concentration to achieve this value was found as 50 g/L substrate, based on the production of hydrogen from olive CAKE. Hydrogen and biogas producibility from the olive crust was observed and increasing the substrate concentration was shown to increase the production efficiency.

Keywords: *Biohydrogen, Biogas, Olive Cake, Anaerobic Fermentation.*

1. Giriş

Kentleşme ve küreselleşme ile birlikte özellikle gelişmekte olan ülkelerin ulaştırma, üretim, imalat ve konut sektörlerinde hızla artan enerji ihtiyaçları, dünya yakıt tüketimindeki talepleri de

* e-posta: hturkmenler@adiyaman.edu.tr

artırmaktadır. Bu da mevcut petrol ve doğalgaz rezervlerinin sömürülerek fosil yakıtların tükenme tehlikesini ortaya koymaktadır [1]. Fosil yakıtlar temel olarak karbon, hidrojen, kükürt ve azot gibi atomlarından oluşmaktadır. Bu yakıtların tüketimi ise karbon dioksit, sülfür dioksit ve karbon monoksit gibi gazlar üretmektedirler. Bu gazların uzun süreli doğaya salınımı küresel ısınma gibi çevreyi ve canlıları etkileyen olumsuz sonuçlar doğurmaktadır [2].

Yakıtlardaki CO₂ emisyonları öncelikle karbon içeriğine ve hidrojen-karbon oranına bağlıdır. Yakıttaki C/H oranı ne kadar küçük olursa, yakıtın enerji verimi de o kadar büyük olur ve yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonu da düşer [3].

Moleküler hidrojen yeryüzünde doğal olarak oluşmaz. Deneysel uygulamalar için moleküler hidrojen üretilmek zorundadır. Günümüzde dünyada hidrojenin yıllık üretim miktarı yaklaşık 368 trilyon metreküptür [4]. Hidrojen üretiminin %48'i metan gazından, %30'u petrol, rafinerilerdeki petrol, kimyasal endüstriyel atık gazlardan, %18'i kömürün gazlaştırılmasından, %3.9'u suyun elektrolizinden ve % 0.1'i diğer kaynaklardan sağlanmaktadır [5]. Bu değerler gösteriyor ki dünya hidrojen üretiminin yaklaşık %96'sı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Ayrıca bu yöntemler çevre dostu olmadığı gibi yüksek enerji verimliliği de sağlamamaktadır. Örneğin, metan buhar dönüşümü, kömürün gazlaştırılması ve metanın pirolizi ile mol başına üretilen CO₂ gazı üretimi sırası ile 0.25, 0.83 ve 0.05 mol CO₂/mol H₂ şeklindedir [6].

Fosil yakıtların yerini alacak alternatif enerji araştırmaları, biyodizel, metanol, etanol, butanol, dimetil eter, dietil eter, biyoetanol, sentetik doğal gaz (SNG) ve hidrojen gibi birçok seçenek ortaya koymaktadır. Araştırmalar çevre sağlığının devamlılığı ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından hidrojen enerjisini alternatif bir enerji kaynağı olarak göstermektedir. Hidrojen üretim teknolojisinin geliştirilmesi için geniş bir altyapı ve alternatif üretim teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hidrojen üretimi için doğrudan ve dolaylı üretim yöntemleri bulunmaktadır [7]. Biyolojik hidrojen üretimi, makromoleküler maddelerin maya, bakteri veya enzim gibi mikroorganizmalar tarafından düşük basınç altında geniş bir sıcaklık aralığında enzimatik olarak parçalanmasını içerir [8].

Anaerobik bakteriler tarafından fermentatif hidrojen üretimi, bu organizmaların biyokütle ve organik atıkları biyolojik hidrojene dönüştürme kabiliyetleri nedeniyle önemli bir biyolojik yöntem olarak kabul edilmektedir. Karanlık, kombine ardışık karanlık ve aydınlık, fotofermantasyon gibi çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerin her biri için çok sayıda mikroorganizma birçok çalışmada kullanılmıştır [8].

Çevresel zararları azaltma ve temiz enerji üretimi sağlama çabaları mayalanma ile hidrojen üretiminin önemini artırmaktadır. Biyokütle kaynakları karakteristik özelliklerine göre dört guruba ayrılabilir. Birinci grupta mısır unu, buğday unu, patates, yulaf gibi karbonhidratça zengin biyokütle kaynakları yer almaktadır. İkinci grupta proteince zengin olan soya atıkları, tavuk eti, balık kalıntıları, restoran atıkları gibi biyokütle kalıntıları bulunmaktadır. Üçüncü grupta meyve, sebze atıkları, mısır koçanı, meyve kabukları gibi atıkların yer aldığı tarımsal endüstriyel atıklar yer almaktadır. Son grupta ise mısır, pirinç, saman, kamış gibi bitki sap ve yapraklarının yer aldığı tarımsal atıklar yer almaktadır [9].

En yaygın organik katı atıklar yiyecek atıkları ve lignoselülozik biyokütle kaynaklarıdır. Birçok ülkede gıda atıkları, belediye katı atıklarının önemli bir bölümünü oluşturmakta ve yeraltı sularının kirlenmesi, koku ve toksik gaz emisyonu gibi önemli sorunlara neden olmaktadır [10], [11]. Bunlara mutfak atıkları, belediye atıkları ve gıda sanayi atıkları da dâhildir. Yemek atıkları zengin karbonhidrat içeriği ve kolay hidroliz edilebilirlikleri nedeniyle fermentatif hidrojen üretimi için uygun bir substrattır. Yapılan çalışmalara göre yemek atıklarından elde edilen hidrojen miktarları 50 ile 194 ml H₂/g UKM aralığında değişmektedir [12], [13].

Bu çalışmada Adıyaman organize sanayi bölgesinde yer alan Ünal zeytinyağı üretim tesislerinden alınmış zeytin küspesinden biyogaz ve hidrojen üretimi amaçlanmıştır. Zeytin küspesinin genel özellikleri belirlenmiş, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, çalışmada kullanılacak aşı çamurun özellikleri, gaz basıncı analizi sonuçları ve sistemin davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda

substrat olarak kullanılan zeytin küspesinin farklı derişimlerdeki biyogaz ve biyohidrojen verimleri ölçülerek derişimin gaz verimi üzerine etkisi tartışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Biyokütle Kaynağına Uygulanan Ön İşlemler

Çalışmada kullanılan zeytin küspesi mikrobiyal etkiyi artırmak ve hammaddelerdeki hücre duvarının yapısını parçalayarak hidrojen üretimi için gerekli lignoselülözük yapıya ulaşabilmek için fiziksel bir işlem olan öğütme ile hammaddelerin yüzey alanı artırılmıştır [14]. Öğütücüde öğütülmüş olan zeytin küspesi gözenek boyutu 0.25 mm olan elekten geçirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Zeytin küspesinin (a) ham hali (b) öğütülmüş ve 0.25 mm boyutlu elekten geçirilmiş hali

Öğütülmüş zeytin küspesinden tartılarak alınan örnekler 250 mL'lik balon jodelere konularak derişimleri 10 g/L, 20 g/L, 30 g/L, 40 g/L ve 50 g/L olan beş çözelti hazırlanmıştır [15].

2.2. Aşının hazırlanması

Deneylerde kullanılacak karışık kültür kaynağı için Pakmaya Maya Endüstrisi Düzce tesislerinin anaerobik arıtma tankından arıtma çamuru temin edilmiş, çamur 90 °C de 20 dakika süre ile ısıtma işlemine tabi tutularak metanojenik bakterilerin ve diğer mikroorganizmaların arıtımı sağlanmıştır [15], [16], [17], [18]. Bu yöntemle hidrojen üretecek asidojenik bakterilerin aşı çamurunda kalması amaçlanmıştır.

2.3. Besi maddesinin hazırlanması

Hidrojen üreten bakterileri aktif hale getirmek için kullanılan besi maddesi için 0,01 g $MnSO_4 \cdot H_2O$, 0,96 g NH_4Cl , 0,12 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,22 g KH_2PO_4 , 0,01 g $CaCl_2$, 0,043 g $FeCl_2$ katıları bir balon jodelere konulmuş ve saf su ile 1 litreye tamamlanmıştır [15], [19].

2.4. Fermantasyonun başlatılması

Hidrolize edilmiş zeytin küspesinden 10 g/L, 20 g/L, 30 g/L, 40 g/L ve 50 g/L derişimlerde çözeltiler hazırlamak için serum şişelerine 97,5 mL substrat çözeltisi 2'er ml aşı ve 0,5 mL besi maddesi

ilave edilmiş ve 100 mL'ye tamamlanmıştır. Şişelerden 1 dakika süre ile azot gazı geçirilerek şişedeki oksijen giderilmiş, şişeler hava geçirmez kauçuk kapakla kapatılmış ve fermentasyona hazır hale getirilmiştir. Toplam basınç, biyogaz ve toplam hidrojen gazı ölçümleri 24 saat ara ile günlük olarak oda koşullarında takip edilmiş ve hidrojen üretimi durana kadar deney takipleri yapılmıştır. (Şekil 2).



Şekil 2. Biyohidrojen üretimi için hazırlanmış farklı derişimlerdeki zeytin küspesi çözeltileri

2.5. Toplam biyogaz ve biyohidrojen ölçümleri

Toplam gaz ve hidrojen gazının hesaplanması için her bir numune kabının basınç sıcaklık değerleri günlük olarak takip edilmiş ve ölçülen değerler kaydedilmiştir. Basınç ölçümleri için HMG 01 basınçölçer cihazı, sıcaklık ve pH ölçümü için Hanna instruments HI-221 pH ve sıcaklık ölçer cihazı kullanılmıştır. Toplam biyogaz ve toplam hidrojen gazı miktarı için Shimadzu GC-2010 gaz kromatografisi (GC) kullanılmıştır.

GC'de Supel-Co 30mx0.32 mm kolon ve TCD dedektör kullanılmıştır. Dedektörde taşıyıcı gaz olarak helyum ve azot gazı kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 235 OC, kolon sıcaklığı 35 OC ve dedektör sıcaklığı 250 OC olarak ayarlanmıştır. Her bir numune şişesinden gaz sızdırmaz şırıngalarla 500 mikrolitre gaz alınarak GC cihazının TCD dedektöründen enjekte edilmiş ve açığa çıkan veriler bilgisayara kaydedilmiştir.

Toplam gaz ve toplam hidrojen verimleri için içindeki hidrojen hacimleri bilinen karışımlarla kalibrasyon elde edilmiştir. Elde edilen kalibrasyon grafiği ile numunelerden alınan gaz örnekleri cihaza enjekte edilmiş ve bu karışım içindeki hidrojen gazı miktarları tespit edilmiştir. Toplam biyogaz (H₂, CH₄, CO₂) miktarları ise ideal gaz denklemi kullanılarak artan basınç miktarı ile çıkan gaz miktarı hesaplanmıştır.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Hammade kompozisyonu

Bu çalışmada zeytin küspesi biyokütle kaynağı olarak kullanılmış ve zeytin küspesi için standart metodlara göre Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L), toplam uçucu katı madde (TUKM) (mg/L), toplam uçucu olmayan katı madde (TUOKM) (mg/L), toplam azot (TN) (mg/L), toplam fosfor (TP) (mg/L), pH, alkalinite (mg CaCO₃/L), toplam karbonhidrat (mg/L), toplam protein (mg/L) parametreleri

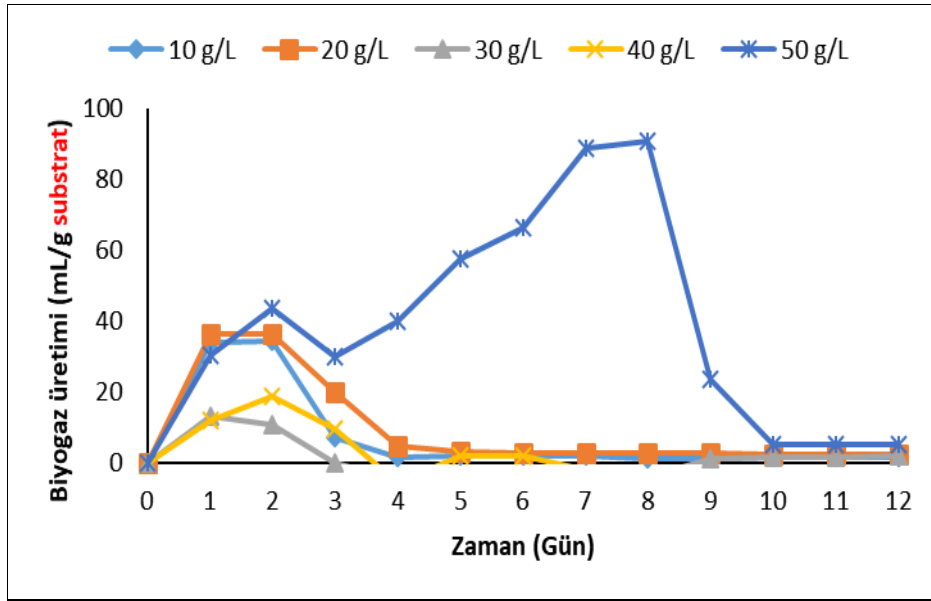
belirlenmiştir. Toplam biyogaz (ml/g substrat) ve hidrojen gazı (mL/g substrat) analizleri ise GC ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Farklı derişimlerde hazırlanmış zeytin küspesi çözeltilerinin bileşimleri

Derişim (g/L)	pH	KOI (mg/L)	TUOKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	Toplam-N (mg/L)	Toplam-P (mg/L)	Toplam Karbonhidrat (mg/L)	Toplam protein (mg/L)
10	6,99	1228,8	0,6	10,66	280	33	3,12	6,12	2,88
20	7,06	9830,4	0,81	12,29	300	70	4,21	4,48	3,08
30	6,85	11059,2	0,89	12,69	435	82	4,68	5,78	2,71
40	6,60	13137,6	1,92	22,37	580	95	4,94	5,95	2,2
50	6,50	18432,1	2,45	41,67	585	121	5,12	6,08	3,33

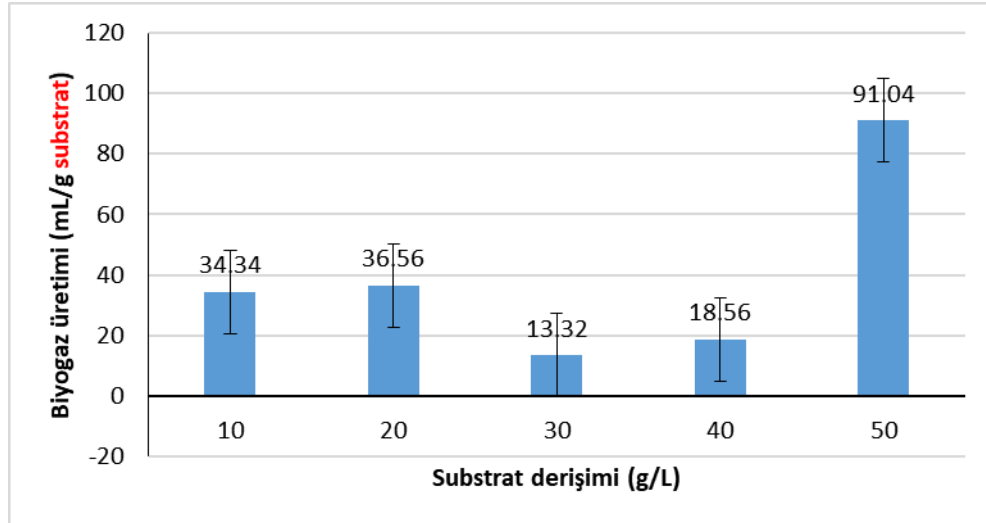
3.2. Substrat derişiminin zeytin küspesinden biyogaz ve hidrojen üretim verimi üzerine etkisi

Zeytin küspesinden elde edilen toplam gaz ve hidrojen gazı verimleri şekil 3 ve 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Farklı derişimlerdeki zeytin küspesi çözeltilerinin zamana bağlı biyogaz üretimi

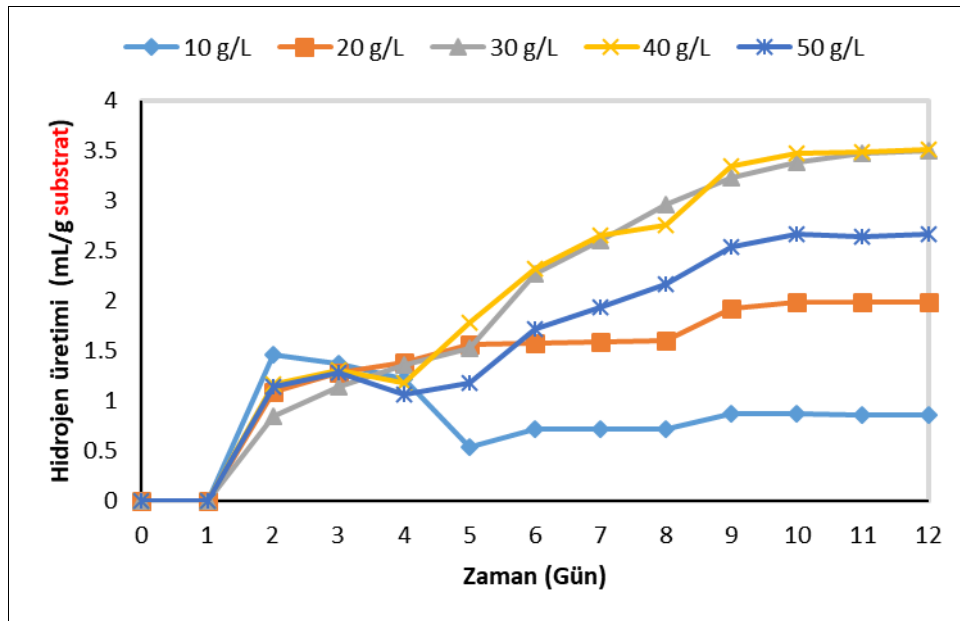
Grafiğe göre zamana bağlı olarak toplam gaz üretiminin arttığı ve 10. gün sonunda tüm şişelerde gaz üretiminin durduğu gözlenmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 50 g/L substrat derişimde ve 91,04 mL/g substrat olarak ölçülmüştür. 20 g/L substrat derişimli çözeltide ise en yüksek verim 36,56 mL/g substrat olarak ölçülmüştür. 10 g/L substrat derişimdeki biyogaz hacmi 34,34 mL/g substrat, 40 g/L substrat derişimde 18,65 mL/g substrat, 30 g/L substrat derişimde ise 13,32 mL/g substrat ile en düşük miktarda toplam gaz elde edilmiştir.



Şekil 4. Artan zeytin küspesi derişimine bağı olarak elde edilen biyogaz üretimi

Şekil 4'e göre substrat derişiminin artması gaz verimlerini farklı değerlerde etkilemiştir. En düşük gaz veriminin 30 g/L substrat derişiminde olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Düşük substrat derişimlerinde çok fazla farklılık olmamasına karşın 50 g/L substrat derişimde bu değer artış göstermiştir. Buna göre ideal gaz üretimi için substrat derişiminin 50 g/L substrat olduğu anlaşılmıştır.

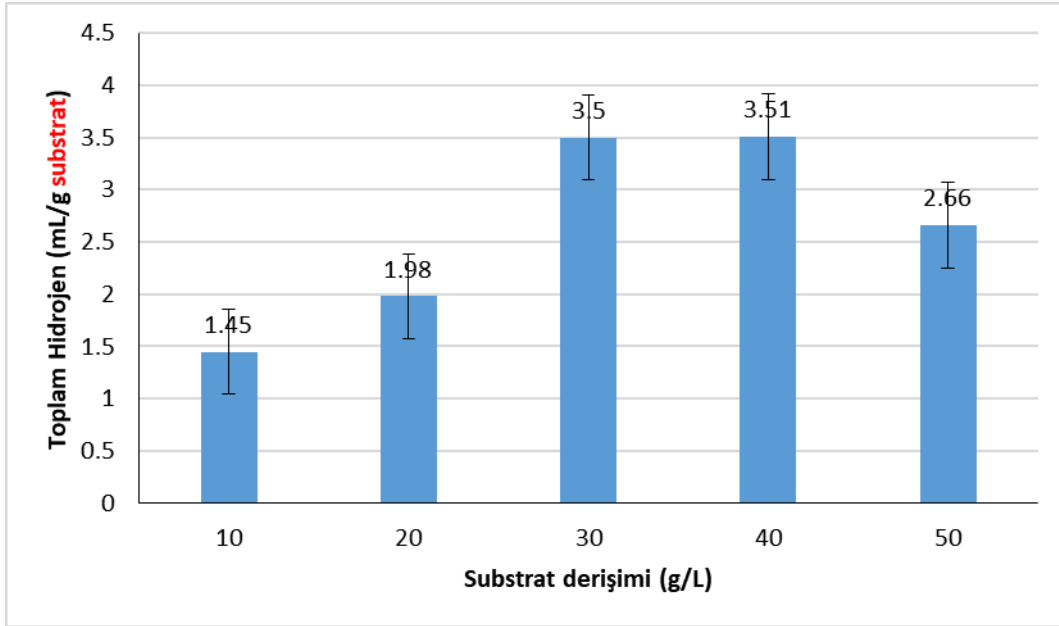
Xu ve Deshusses [20] su mercimeği ile yapmış oldukları çalışmada 4 farklı derişimde biyokütle yüklemesi yapmış ve toplam biyogaz verimlerini incelemişlerdir. En yüksek biyogaz verimine 5 g/L substrat derişiminde 186 mL/g substrat olarak hesaplamışlardır. Aslan'ın [15] yapmış olduğu çalışmada ise artan organik yükleme miktarıyla orantılı olarak toplam gaz verimlerinin de arttığını göstermiştir. Bu çalışmada en yüksek biyogaz verimi 40 g/L substrat derişimde 240 mL/g substrat olarak hesaplamıştır.



Şekil 5. Farklı derişimlerdeki zeytin küspesi çözeltilerinin zamana bağı hidrojen üretimi

Grafiğe göre zamana bağı olarak hidrojen gaz verimlerinin arttığı ve 10. gün sonunda tüm şişelerde gaz üretiminin durduğu gözlenmiştir. En yüksek hidrojen gazı veriminin zeytin küspesinin 40 g/L substrat derişimde ve 3,51 mL/g substrat hidrojen olarak ölçülmüştür. 30 g/L substrat derişimli

çözeltide ise en yüksek verim 3,50 mL/g substrat olarak ölçülmüştür. 50 g/L substrat derişiminde ölçülen hidrojen verimi 2,66 mL/g substrat, 20 g/L substrat derişiminde ölçülen hidrojen verimi 1,98 mL/g substrat, 10 g/L substrat derişiminde ise bu verim 1,45 mL/g substrat değerindedir.



Şekil 6. Artan zeytin küspesi derişimine bağı olarak elde edilen toplam hidrojen gazı hacimleri

Şekil 6'ya göre artan zeytin küspesi derişimine bağı olarak hidrojen üretim veriminin 40 g/L substrat derişime kadar arttığı görülmektedir. Ancak daha yüksek substrat derişiminde hidrojen üretim veriminin düştüğü görülmektedir. Buna göre zeytin küspesinden hidrojen üretiminde en ideal verimin 40 g/L substrat derişiminde olduğu anlaşılmaktadır.

Aslan [15] su mercimeği ile yapmış olduğu çalışmada farklı organik yükleme oranlarındaki toplam hidrojen verimlerini araştırmış ve artan organik yükleme oranlarına bağı olarak hidrojen verimlerinin de arttığını göstermiştir. En yüksek hidrojen verimini 40 g/L substrat derişimde 35 mL/g substrat olarak hesaplamıştır.

4. Sonuçlar

Literatürde biyolojik hidrojen üretimi için birçok madde substrat olarak kullanılmıştır. Kullanılan bu substratlarda farklı mikroorganizma kaynakları, farklı koşullar ve farklı metotlar uygulanarak hidrojen verimliliği araştırılmıştır. Bu metotlardan en uygun olanı biyolojik yollardan hidrojen üretimidir. Bu yolla hidrojen üretiminde daha düşük enerji gereksinimi, daha düşük maliyet, oda koşullarında çalışma imkânı bu yöntemin avantajlarındandır. Fermantasyon için anaerobik ortamda gaz üreten bakteriler kullanılarak hidrojen üretimi sağlanmıştır.

Bu çalışmada zeytin küspesinden biyogaz ve hidrojen üretimi verimi araştırılmıştır. Zeytin küspesi lignoselülozik yapıya sahip olup, bu yapı yüksek oranda karbon kaynağı içermektedir. Lignoselülozik yapıya sahip atıklar biyolojik hidrojen eldesi için uygun materyallerdir. Şeker pancarı, mısır, pirinç gibi birçok bitki yüksek oranda karbon kaynağı olmasına karşın besin kaynaklarının sınırlı olması bunların doğrudan kullanımını sınırlamaktadır. Bu sebeple yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak daha çok bitki atıkları tercih edilmektedir.

Zeytin küspesi çözeltisinden elde edilen biyogaz verimi 30 g/L substrat derişiminde 13,32 mL/g substrat olarak, en yüksek toplam biyogaz üretimi ise 50 g/L substrat derişiminde 90,04 mL/g substrat olarak ölçülmüştür. Daha düşük derişimlerde bu değerler değişken ve düşük olduğu belirlenmiştir.

Dolaysıyla oda koşullarında anaerobik ortamda zeytin küspesinden gaz üretiminde uygulanan beş farklı derişim içinde en uygun substrat derişiminin 50 g/L substrat olduğu görölmüştür.

Zeytin küspesinden hidrojen üretimine bakıldığında ise en düşük verimin yüksek verimin 3,51 mL/g substrat olduğu ve bu değerin elde edilmesi için en uygun derişimin 40 g/L substrat olduğu görölmüştür. Zeytin küspesin çözeltilisinden hidrojen üretiminde belirlenen derişimlere göre substrat derişimi arttıkça veriminin 40 g/L substrat derişimine kadar arttığı sonraki derişimde azaldığı da elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Elde edilen bir diğer sonuç ise biyogaz veriminin en düşük olduğu 30 g/L substrat derişiminde hidrojen veriminin yüksek olmasıdır. Bu durum hidrojen üreten bakterilerin aktif olduğu koşullarda biyogaz üreten bakterileri baskıladığını göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda daha yüksek substrat derişimlerinde, farklı mikrobiyal kültürler, farklı sıcaklık ve pH koşullarında deneysel araştırmalar yapılarak zeytin küspesi çözeltilisinden biyogaz ve biyohidrojen üretim verimleri araştırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2015-0010 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Haron, R., Mat, R., Abdullah, T. A. T., Rahman, R. A.. Overview on utilization of biodiesel by-product for biohydrogen production. *Journal of Cleaner Production* 2018;172, 314-324.
- [2] Ratnasingam, J., Ramasamy, G., Ioras, F., Parasuraman, N.. Assessment of the Carbon Footprint of Rubberwood Sawmilling in Peninsular Malaysia: Challenging the Green Label of the Material. *BioResources* 2017;12.2, 3490-3503.
- [3] Hoffert, M.I., Caldeira, K., Jain, A.K., Haites, E.F., Danny, L.D., Seth, H. Energy implications of future stabilization of atmospheric CO₂ content. *nature* 1998;39.5, 881-884.
- [4] Pandu, K., Joseph, S., Comparisons and limitations of biohydrogen production processes: A review. *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 2012;342-356.
- [5] Baghchehsaree, B., Nakhla, G., Karamanev, D., Argyrios, M. Fermentative hydrogen production by diverse Microflora. *Int. J. Hydrogen Energy* 2010;35, 5021-5027.
- [6] Abanades, A. The challenge of hydrogen production for the transition to a CO₂-free economy. *Agronomy Res. Biosystem. Eng.* 2016;1, 11-16.
- [7] Ahmed, A., Al-Amin, A. Q., Ambrose, A. F., Saidur, R. Hydrogen fuel and transport system: A sustainable and environmental future. *International journal of hydrogen energy* 2016;41(3), 1369-1380.
- [8] Korres, Nicholas E., Jason K. Norsworthy. Biohydrogen production from agricultural biomass and organic wastes. *Biohydrogen Production: Sustainability of Current Technology and Future Perspective.* Springer, New Delhi 2017; 49-67.
- [9] Guo, X. M., Trably, E., Latrille, E., Carrere, H., Steyer, J. P. Predictive and explicative models of fermentative hydrogen production from solid organic waste: role of butyrate and lactate pathways. *international journal of hydrogen energy* 2014;39(14), 7476-7485.
- [10] Kim, I.S., Hwang, M.H., Jang, N.J., Hyun, S.H., Lee, S.T. Effect of low pH on the activity of hydrogen utilizing methanogen in bio-hydrogen process. *Int. J. Hydrogen Energy* 2004;29, 1133-1140.

- [11] Yasin, N.H.M., Rahman, N.A., Man, H.C., Yusoff, M.Z.M., Hassan, M.A. Microbial characterization of hydrogen-producing bacteria in fermented food waste at different pH values. *Int. J. Hydrogen Energy* 2011;36, 9571–9580.
- [12] Dong, L., Zhenhong, Y., Yongming, S., Xiaoying, K., Yu, Z. Hydrogen production characteristics of the organic fraction of municipal solid wastes by anaerobic mixed culture fermentation. *Int. J. Hydrogen Energy* 2009;34, 812–820.
- [13] Li, M., Zhao, Y., Guo, Q., Qian, X., Niu, D. Biohydrogen production from food waste and sewage sludge in the presence of aged refuse excavated from refuse landfill. *Renew. Energy* 2008;33, 2573–2579.
- [14] Lin, Z.X., Huang, H., Zhang, H.M., Zhang, L., Yan, L.S. ve Chen, J.W. Ball milling pretreatment of corn stover for enhancing the efficiency of enzymatic hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2010;162, 1872–1880.
- [15] Aslan, M. Optimal operation conditions for bio-hydrogen production from duckweed. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2016;38(14), 2072-2078.
- [16] Karaosmanoğlu, F. Biohydrogen production from hydrolized waste wheat by continuous dark fermentation process containing novel support material. Yüksek Lisans Tezi. İzmir; Dokuz Eylül Üniversitesi, 2015.
- [17] Gökfiliz, P. Microbial support particle selection for hydrogen gas production in an immobilized reactor system by dark fermentation. Yüksek Lisans Tezi. İzmir; Dokuz Eylül Üniversitesi; 2014.
- [18] Kırılı, B. Continuous hydrogen production from waste materials in an up-flow packed bed reactor. Yüksek Lisans Tezi. İzmir; Dokuz Eylül Üniversitesi; 2014.
- [19] Park, J.H., Cheon, H.C., Yoon, J.J., Park, H.D., Kim, S.H. Optimization of batch dilute-acid hydrolysis for biohydrogen production from red algal biomass. *Int. J. Hydrogen Energy* 2013; 38:6130–6136.
- [20] Xu, J., Deshusses, M. A. Fermentation of swine wastewater-derived duckweed for biohydrogen production. *International journal of hydrogen energy* 2015; 40(22), 7028-7036.