



# KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

## Mühendislik Bilimleri Dergisi Journal of Engineering Sciences

2020

SAYI / NUMBER : 1  
CILT / VOLUME : 23



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



### Yazışma Adresi / Corresponding Address

**Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi**  
**Mühendislik Bilimleri Dergisi**  
**46050, Onikişubat/Kahramanmaraş**  
**TÜRKİYE**

### E - Posta

**jes@ksu.edu.tr**

### Web

**<http://jes.ksu.edu.tr/>**

**Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.**

**This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.**



### Sahibi / Owner

**Prof.Dr. Niyazi CAN**  
KSU Rector

### Baş Editör / Editor in Chief

**Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ**  
htemiz@ksu.edu.tr

### Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

**Assist. Prof. Dr. Zeynep Banu ÖZGER**  
zeynepozger@ksu.edu.tr

### Editörler / Editors

#### Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

Electrical and Electronics Eng.  
asyilmaz@ksu.edu.tr

#### Prof. Dr. Ahmet KAYA

Mechanical Eng.  
kaya38@ksu.edu.tr

#### Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM

Computer Eng.  
hbadem@ksu.edu.tr

#### Prof.Dr. Özlem TURGAY

Food Eng.  
ozlem@ksu.edu.tr

#### Prof. Dr. Ahmet ALKAN

Electrical and Electronics Eng.  
aalkan@ksu.edu.tr

#### Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK

Mechanical Eng.  
bozcelik@ksu.edu.tr

#### Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ

Environmental Eng.  
cuci@ksu.edu.tr

#### Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Landscape Arc.  
fmengelo@ksu.edu.tr

#### Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL

Civil Eng.

munsal@ksu.edu.tr

#### Assoc. Prof.Dr. Tamer RIZAOĞLU

Geological Eng.

tamer@ksu.edu.tr

#### Assoc.Prof.Dr. Suat ÇETİNER

Textile Eng.

suatcetiner@ksu.edu.tr

#### Research Assist. Fahriye GEMCİ

Technical Editor

fahriyegemci@ksu.edu.tr

### Danışma Kurulu / Advisory Board

#### Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng. Univ Of  
Cal. Santa Barbara. USA

[koc@cs.ucsb.edu](mailto:koc@cs.ucsb.edu)

#### Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.  
Sakarya Univ. Sakarya,  
TURKEY

[aozdemir@sakarya.edu.tr](mailto:aozdemir@sakarya.edu.tr)

#### Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng. ÇU Univ.  
Adana, TURKEY

[hakilli@cu.edu.tr](mailto:hakilli@cu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng. İTU  
Univ. İstanbul. TURKEY

[korurek@itu.edu.tr](mailto:korurek@itu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.  
KSU Univ. TURKEY

[yorkmaz@ksu.edu.tr](mailto:yorkmaz@ksu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.  
Alanya Alaaddin Keykubat  
Univ. Antalya, TURKEY

[apinarbasi@alanya.edu.tr](mailto:apinarbasi@alanya.edu.tr)

#### Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.  
İTU Univ. İstanbul. TURKEY

[sekers@itu.edu.tr](mailto:sekers@itu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.  
YBU Univ. Ankara, TURKEY

[serel@ybu.edu.tr](mailto:serel@ybu.edu.tr)

#### Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng. Marmara  
Univ. İstanbul. TURKEY

[monat@marmara.edu.tr](mailto:monat@marmara.edu.tr)

#### Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.  
Yıldız Technical Univ. İstanbul.  
TURKEY

[debik@yildiz.edu.tr](mailto:debik@yildiz.edu.tr)

#### Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.  
Brunel Univ.Uxbridge,UK

[mizi.fan@brunel.ac.uk](mailto:mizi.fan@brunel.ac.uk)

#### Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.  
Marmara Univ. İst., TURKEY

[fbaba@marmara.edu.tr](mailto:fbaba@marmara.edu.tr)

#### Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics Panjab  
Univ, Chandigarh, India

[amit\\_chaudhry01@yahoo.com](mailto:amit_chaudhry01@yahoo.com)

#### Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.  
Marmara Univ. İstanbul,  
TURKEY

[nekren@marmara.edu.tr](mailto:nekren@marmara.edu.tr)

#### Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education. KSU  
Univ. K.Maras. TURKEY

[yazici@ksu.edu.tr](mailto:yazici@ksu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.  
YTU Univ. İstanbul. TURKEY

[selimay@yildiz.edu.tr](mailto:selimay@yildiz.edu.tr)

#### Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics KSU Univ.  
K.Maras, TURKEY

[gogebakan@ksu.edu.tr](mailto:gogebakan@ksu.edu.tr)

#### Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng. Adiyaman Univ.  
Adiyaman. TURKEY

[pala@adiyaman.edu.tr](mailto:pala@adiyaman.edu.tr)

#### Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng  
KSU Univ. K.Maras. TURKEY

[iokumus@ksu.edu.tr](mailto:iokumus@ksu.edu.tr)



## İÇİNDEKİLER

### **ARAŞTIRMA MAKALESİ – RESEARCH ARTICLE**

- Anahtarlama Frekansı ile THD<sub>i</sub> Arasındaki Analitik İfadeinin Solar Sistemde SPSS İstatistik Programı Yöntemi ile Bulunması  
**Obtaining The Analytical Expression Between THD<sub>i</sub> And Switching Frequency In Solar System By SPSS Statistics Program Method** 1-8  
Süleyman ADAK, Hasan CANGİ
- P25 Metodu ile Kahramanmaraş Yapı Stoğunun İncelenmesi  
**Investigation of Kahramanmaras Building Stock by P25 Rapid Evaluation Method** 9-21  
Ö. Alper ERŞAHAN, Mehmet Metin KÖSE, Sıla AVĞIN
- Zeolit Mineralli Filtrelerin Derin Kuyu Sularındaki Radyoaktivite Seviyesine Etkisinin Araştırılması  
**Investigation On The Effect Of Zeolite Minerals Filters On The Level Of Radioactivily In Deep Wells** 22-36  
Erdal KÜÇÜKÖNDER, Nergiz Başa ÇETİN
- Diyarbakır İlinde Farklı Sektörlerden Kaynaklanan Karbondioksit Salınımının Hesaplanması  
**Calculation Of Carbon Dioxide Release From Different Sectors In Diyarbakir Province** 37-47  
Gülşad Uslu ŞENEL, Teknur ATABEY
- Elektrikli Bir Aracın Aerodinamik Performansının Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi  
**Experimental And Numerical Analysis Of The Aerodynamix Performance Of An Electric Vehicle** 48-59  
Fahrettin GENCER, Yalın YAMAÇ, Muhammet İbrahim AŞÇI, Rahmi GÜNDEŞLİ



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :24.07.2019  
Kabul Tarihi :02.03.2020

Received Date : 24.07.2019  
Accepted Date : 02.03.2020

### ANAHTARLAMA FREKANSI İLE THD<sub>1</sub> ARASINDAKİ ANALİTİK İFADENİN SOLAR SİSTEMDE SPSS İSTATİSTİK PROGRAMI YÖNTEMİ İLE BULUNMASI

### OBTAINING THE ANALYTICAL EXPRESSION BETWEEN THD<sub>1</sub> AND SWITCHING FREQUENCY IN SOLAR SYSTEM BY SPSS STATISTICS PROGRAM METHOD

*Süleyman ADAK<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0003-1436-2830)*

*Hasan CANGİ<sup>2\*</sup> (ORCID: 0000-0001-6954-7299)*

<sup>1</sup> Mardin Artuklu Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Mardin, Türkiye

<sup>2</sup> HasCan Mühendislik, Mardin, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hasan CANGİ, cangihasan@gmail.com

#### ÖZET

Bu çalışma, şebekeden bağımsız fotovoltaik (PV) güç sisteminde anahtarlama frekansına bağlı olarak, inverter çıkış akımı toplam harmonik bozunumunun (THD<sub>1</sub>) ölçülmesi, modellenmesi, analizi ve simülasyonu ile ilgilidir. Önerilen güneş enerjisi sistemi, DC-DC dönüştürücü, DC-AC solar inverter üç fazlı kontrolsüz doğrultucu ile R-L endüktif yükten oluşmaktadır. Bu makalede, anahtarlama frekansı ile THD<sub>1</sub> arasındaki ilişki SPSS istatistik programı yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Darbe genlik modülasyonu (PWM) anahtarlama frekansının değeri arttıkça THD<sub>1</sub> değerinin azaldığı gözlenmektedir. Bu topolojinin tasarımı, modellenmesi ve simülasyonu, 500 ila 50 KHz anahtarlama frekansı için Matlab/Simulink programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anahtarlama frekansı ile THD<sub>1</sub> arasındaki analitik ifade SPSS istatistik yazılım programı kullanılarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** doğrusal olmayan yük, harmonik bileşen, toplam harmonik bozunumu, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem, anahtarlama frekansı

#### ABSTRACT

This paper deals with the design, modeling, analysis and simulation of inverter output current total harmonics distortion (THD<sub>1</sub>) depending on switching frequency in off-grid photovoltaic (PV) power system. The proposed solar system is a combination of a boost DC/DC converter, DC/AC solar inverter three-phase uncontrolled rectifier and R-L inductive load. The relationship between switching frequency and THD<sub>1</sub> is examined with SPSS statistical program on this article. It is observed that THD<sub>1</sub> value decreases as value of switching frequency increases. The design, modeling and simulation of this topology are performed using Matlab/Simulink program for range of 500 to 50 KHz switching frequency. The analytical expression between the switching frequency and THD<sub>1</sub> was obtained using the SPSS statistical software program.

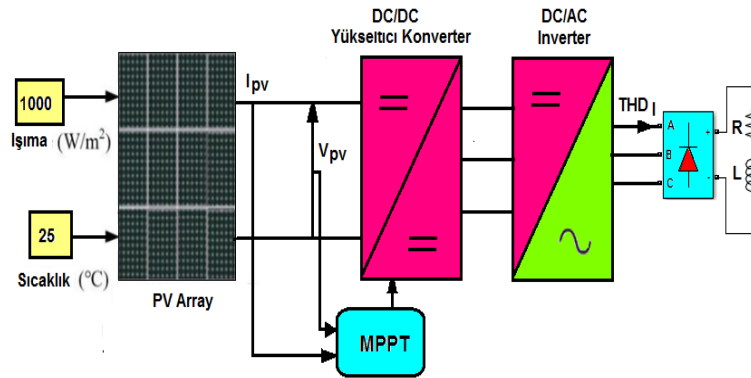
**Keywords:** non-linear Load, harmonic component, total harmonic distortion, off-grid photovoltaic system, switching frequency

#### GİRİŞ

Fosil yakıtlar hidrokarbon ile yüksek oranlarda karbon içeren kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar yenilenemez enerji kaynakları olup bunların kullanılması sonucunda hava, su ve çevre kirliliği gibi birçok

problem ortaya çıkar. Yenilenebilir enerji kaynakları; fotovoltaik (PV) enerjisi, hidrolik enerjisi rüzgar enerjisi vb. enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların en önemlisi güneş enerjisidir. Dünyaya gelen güneş ışınlarının solar paneller yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin çevre üzerinde negatif bir etkisi yoktur [1], [2].

Panelde kirlenme, ışınların değişik açılarla gelmesi, panel üzerinde gölgelerin oluşması, ortam sıcaklığının aşırı soğuk veya sıcak olması PV panel verimini etkiler. Sanılanın aksine çok sıcak havalarda panel verimi düşüktür. Ortam sıcaklığının çok sıcak olduğu durumda panelin ürettiği akım değerinde bir artış oluşurken gerilimdeki azalış akıma nazaran daha fazladır. Sonuçta çok sıcak havalarda panelin ürettiği güç değerinde azalmalar oluşur. Şekil 1’de şebekeden bağımsız (Off-grid) PV sistem tarafından beslenen lineer olmayan yükün giriş akımı ait toplam harmonik bozunumu (THD<sub>i</sub>) ölçümüne ilişkin prensip şeması verilmiştir [3]-[4].



Şekil 1. Şebekeden bağımsız PV güç sistemi ait prensip şeması.

PV inverterler, panellerde üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren güç elektroniği tabanlı dönüştürücülerdir. Bu inverterlerden çıkış harmonik bileşenlerin standartlarca ifade edilen limit değerlerin altında ile istenilen genlik ve frekansta alternatif güç sağlamaları istenir. PV inverterlerin güç sisteminde gürültüsüz çalışmaları ile birlikte yüksek verimlilikte olmalarına dikkat edilmelidir. Toplam harmonik bozunumunun (THD) standartlarca belirlenen limitleri aşmaması gerekir. Düşük ve orta güçlü uygulamalarda PV inverter çıkış dalga formlarının kare dalgaya yakın olması kabul edilirken, büyük güçlerde düşük THD'li harmoniklerden arınmış sinüzoidal dalga formunda olması istenir.

Şebekeden bağımsız (Off-grid) solar sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik panel enerji kaynağı olarak kullanılır. Gece süresince veya bulutlu havalarda ihtiyaç duyulan enerji güneşli havada şarj edilen akümülatörler üzerinden sağlanır. Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT) akülerin aşırı şarj ve deşarj durumlarında zarar görmesini engeller. PV güç sisteminin maksimum güçte çalışmasını sağlar.

## ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ (OFF-GRID) GÜÇ SİSTEM HARMONİKLERİ

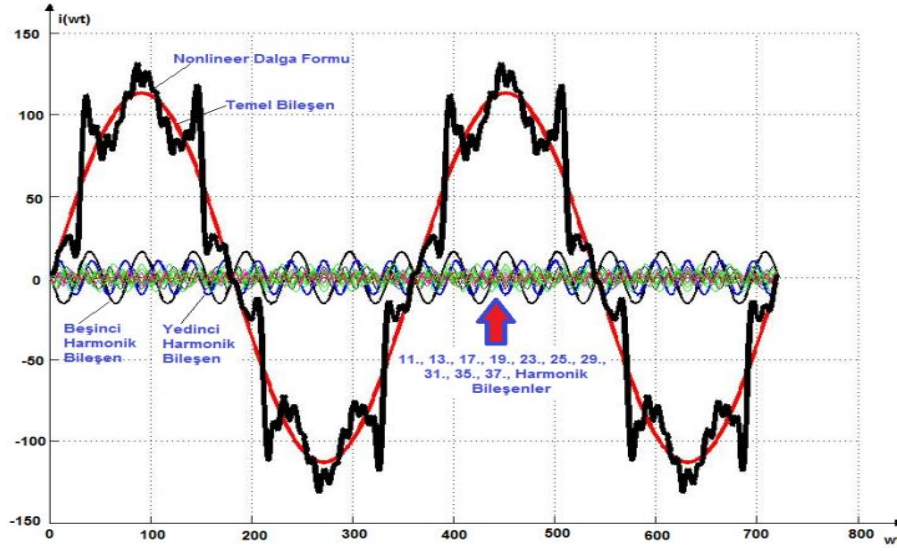
Günümüzde gittikçe artan miktardaki doğrusal olmayan yüklerin PV güç sistemine bağlanması ile non-sinüzoidal büyüklüklerin ortaya çıkmakta ve bu büyüklükler harmonik bileşenleri doğurmaktadır. Non-lineer dalga formunda temel dalga bileşeni dışındaki sinüzoidal dalgalara harmonik denir. Harmonikler, bir elektrik sisteminde temel frekansın tam katlarında ortaya çıkarlar.

PV sistemlerde kullanılan güç elektroniği tabanlı doğru akım kıyıcılar, inverterler birer harmonik kaynağıdır. Bunların çalışma karakteristiğinden dolayı sinüzoidal dalga formunda sapmalar oluşur. Sinüs formunda oluşan sapmalar harmonik bileşenlerin ortaya çıkmasına neden olur [5]-[7]. Gittikçe artan miktardaki doğrusal olmayan karakteristikle elemanların solar enerji sistemine bağlanması ile sinüzoidal olmayan büyüklükler ortaya çıkmakta ve bu büyüklükler harmonik bileşenleri doğurmaktadır. Temel bileşen dışındaki sinüzoidal dalgalara harmonik bileşen denir. Harmonik bileşen içeren üç fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu akım dalga formu aşağıda verildiği gibidir.

$$i(wt) = 113 \sin(wt - 1.51) + 22.9 \sin(5wt + 171.9) + 15.89 \sin(7wt + 170.6) + 10.43 \sin(11wt - 16.19) +$$

$$8.43 \sin(19wt + 152.2) + 5.033 \sin(23wt - 34.05) + 4.16 \sin(25wt + 4.153) + 3.964 \sin(29wt + 139.8) + 3.279 \sin(31wt + 137.1) + 3.285 \sin(35wt - 49.36) \quad (1)$$

Üç fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucuda üç ve üç' ün katı harmonik bileşenler bulunmamaktadır. Denklem (1)' e ilişkin non-linear dalga formu ile harmonik bileşenleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kontrolsüz doğrultucu giriş akımı ile harmonik bileşenleri.

PV güç sistemlerde bulunan dönüştürücülerde (DC/DC, DC/AC) kullanılan MOSFET, IGBT ve BJT gibi anahtarlama elemanları non-linear karakteristiğe sahiptirler. Bundan dolayı PV güç sistemlerinde kullanılan dönüştürücüler birer harmonik kaynağıdır [8], [9]. Bu dönüştürücüler şebekeden bağımsız PV güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin oluşmasına neden olmakta ve şebekeden bağımsız PV sistemlerde üretilen enerjinin kalitesini düşürmektedirler. PV güç sisteminde harmonikler aşağıdaki hasarlara neden olurlar:

- Solar enerjisi kablolarında, dönüştürücülerde, akülerde aşırı ısınma.
- Maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmasının yanlış çalışması.
- DC/DC dönüştürücü ve solar inverterlerde enerji kayıpları.
- Güç elektroniği cihazlarında (MOSFET, IGBT)'lerde yanlış tetiklemeler.
- Gerilim, akım ve güç ölçmelerinde hatalı ölçmeler.
- PV güç sisteminde gerilim düşümleri.
- PV güç sisteminin güç faktöründe düşüşler oluşmaktadır.

PV güç sisteminde non-linear yüklerdeki artış dikkate alındığında, harmonik bileşenlerin gelecekte PV güç sistemlerini negatif bir şekilde etkileyeceklerdir. Kaliteli bir enerji için standartlarca akım ve gerilim için verilen THD' ye ilişkin limit değerler aşılmamalıdır. Daha iyi bir işletme için PV güç sistemlerinde harmonikler konusunda bize bir ölçüt veren THD' nin azaltılması gerekmektedir. Bu büyüklükler harmonikli dalganın sinüsten uzaklaşmasının bir göstergesidir. Toplam harmonik bozunumunu efektif akım cinsinden karşılığı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\%THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{eff}}{I_{1eff}}\right)^2} - 1 \quad (2)$$

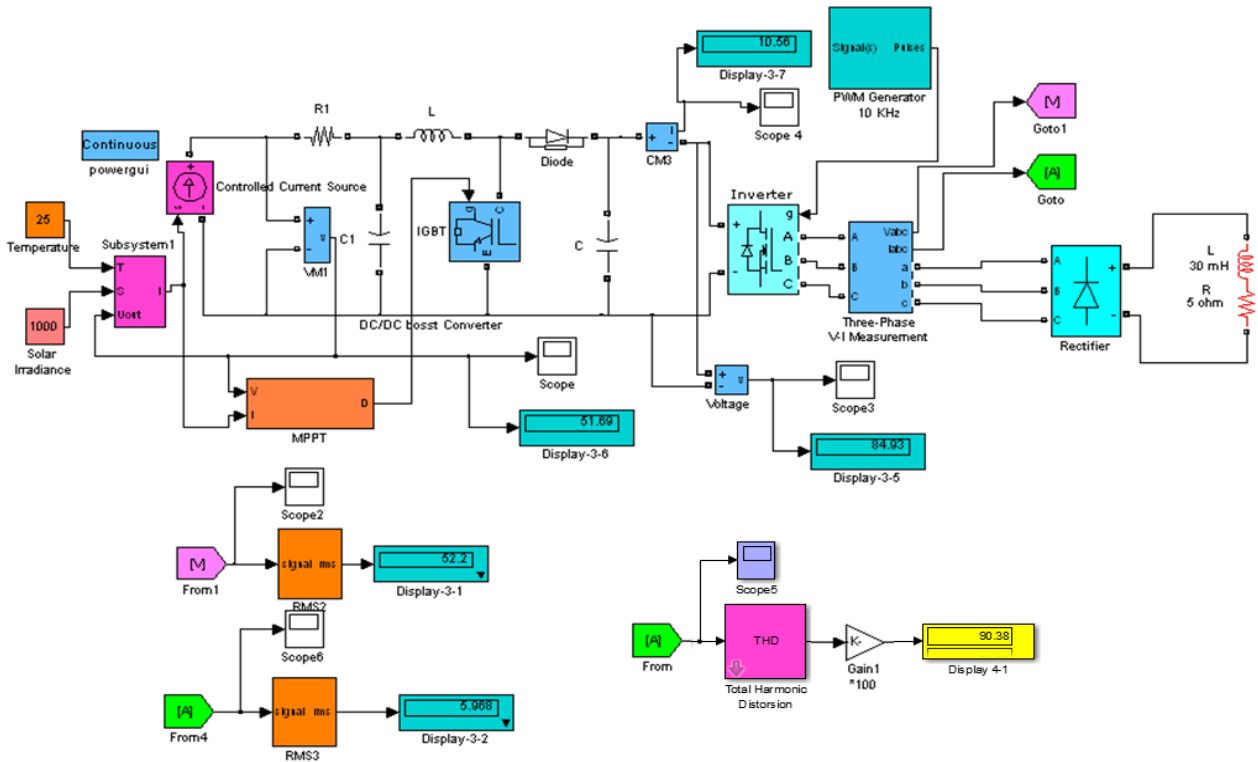
Harmoniklerin solar güç sistemlerinde teknik ve ekonomik olumsuzluklarının giderilmesi için aktif veya pasif filtrelerin kullanılması gerekir. THD<sub>I</sub> parametresi PV güç sisteminde akım dalgalarının sinusoidal formdan ne kadar uzaklaştıkları hakkında bize bilgi verir. Diğer bir deyişle bozulmanın derecesini belirtir. Enerji kalitesi ile ilgili bir parametredir. Değeri ne kadar küçük olursa PV güç sisteminde o oranda kaliteli bir enerji üretilmiş demektir. PV güç

sisteminde akım ve gerilimin dalga formu tam sinüs formunda ise bu temel büyüklüklere ilişkin THD değeri sıfır olur [10]-[12].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine olan yöneliş sürekli artmaktadır. Daha güvenilir bir işletme ve kaliteli bir enerji için, PV güç sistemlerinde yılda birkaç kez THD<sub>i</sub> ölçümü yapılmalıdır. Enerji tesislerinin yıllık harmonik yük eğrileri çıkarılmalı ve bu tesislerde pasif veya aktif filtreler kullanılarak harmonik bileşenlerin düşük seviyede tutulmaları sağlanmalıdır. Akım veya gerilim dalgalarında harmonikli bileşenlerin bulunması sinüs şeklindeki dalga formlarının bozulmasına neden olur. Bozulan dalgalar sinüzoidal olmayan dalgalar olarak adlandırılır. Sinüzoidal gerilim dalga şeklinin bozulmasının en önemli nedeni, lineer olmayan yükler ile sinüzoidal olmayan kaynaklardır. Doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonik bileşenler devredeki devre elemanları üzerinden tamamlayarak non-linear gerilimlerin oluşmasına neden olurlar [13]-[15].

### ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ (OFF-GRID) NON-LINEER YÜKLÜ PV SİSTEMLER

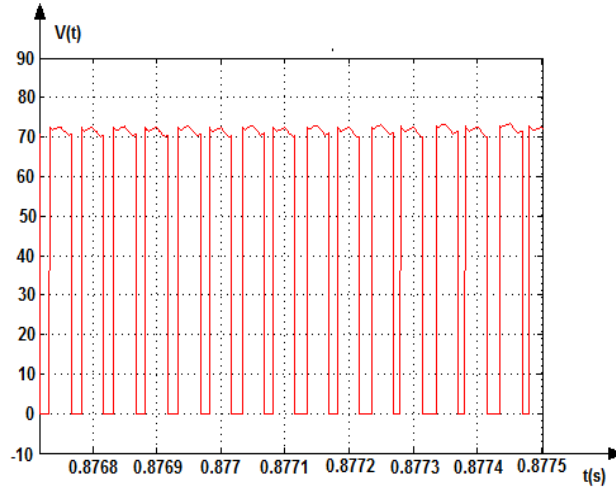
Bu çalışmada non-linear yüklü üç fazlı bir inverterin çıkış akımı toplam harmonik distorsiyonun anahtarlama frekansına bağlı analitik ifadesi SPSS istatistik programı yardımı ile bulunmuştur. Off-grid PV güç sistemi, DC/DC yükseltici dönüştürücü, solar inverter, üç fazlı kontrolsüz doğrultucu ve R-L endüktif yükü modelleri ve denetimlerine ait simülasyonlar MATLAB/Simulink programı içinde alan Power System Toolbox programı kullanılarak tasarlanmıştır. Simulink modelde R=5 ohm, L=30 mH olarak seçilmiştir. Şekil 3'te güç sisteminin Simulink eşdeğeri verilmiştir.



Şekil 3. Şebekeden bağımsız PV güç sisteminin prensip şeması

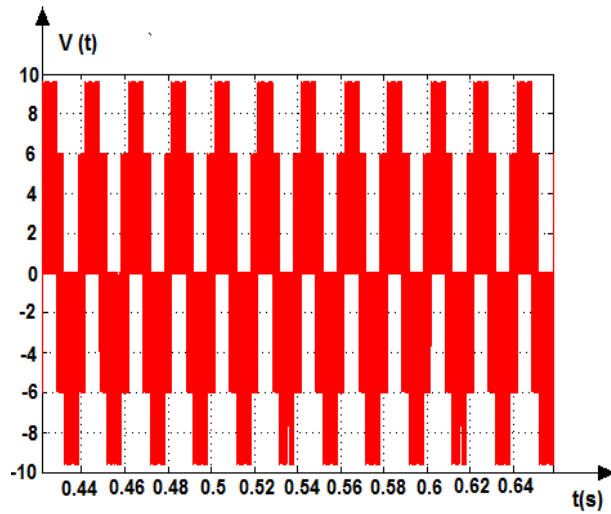
Solar inverterde anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. MOSFET'ler sürme devreleri IGBT' lere göre daha kolaydır. Bu transistörler yüksek anahtarlama hızıyla solar inverterin performans ve verimini arttırmaktadır. MOSFET'ler yüksek frekanslarda çalışabilirler. Sistemde darbe genlik modülasyonu (PWM) kontrol tekniğinin uygulanmasına olanak sağlar. Kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi dalga formu Şekil 4'te verildiği gibidir.





Şekil 4. Kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi dalga formu

PV güç sisteminde çok seviyeli inverterler klasik iki seviyeli inverterlere göre verim ve güç katsayısı göre daha iyi bir performans ve verime sahiptirler. Yüksek güçlü ve yüksek gerilimli solar uygulamalar için de elverişlidirler. Lineer olmayan yükler düşük güçlü olsalar bile solar tesislerde sinüzoidal akım ve gerilim dalga şeklini bozarlar. PV güç sisteminde bulunan DC/DC yükseltici konverter ile DC/AC solar inverterler birer harmonik kaynağıdır. Bu lineer olmayan konverterler güç sisteminde ek kayıplara ve THD<sub>1</sub> değerlerinin yükselmesine neden olurlar.



Şekil 5. Solar inverter çıkış akımı dalga formu

PV güç sistemi harmonik bileşenlerin zararlı etkilerinden korunmalıdır. THD düşük değerlerinin birçok faydaları bulunmaktadır. Bu faydalar; sessiz çalışma, daha az güç kaybı ve daha uzun kullanım ömrü gibi yararları vardır.

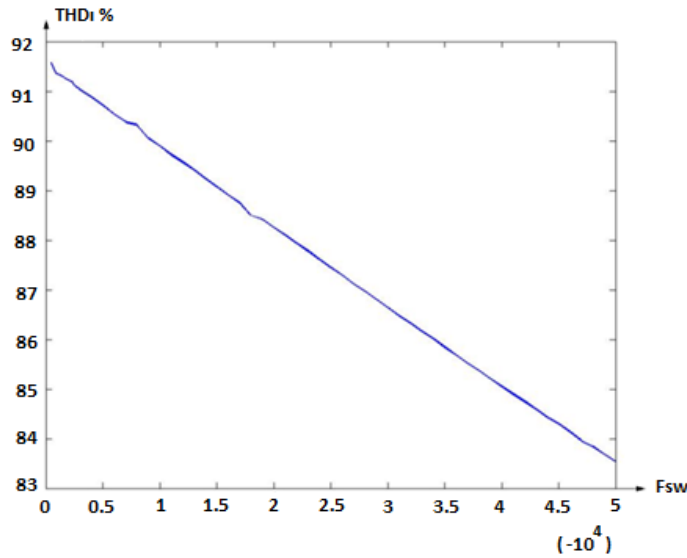
#### ANAHTARLAMA FREKANSI İLE THD<sub>1</sub> ARASINDAKİ ANALİTİK İFADENİN SPSS YÖNTEMİYLE BULUNMASI

Bu çalışmada, off-grid PV sisteminde PWM'nin anahtarlama frekansı ile kontrolsüz doğrultucu giriş akımı THD<sub>1</sub> arasındaki analitik ifade SPSS istatistik program ile bulunmuştur. PWM'nin anahtarlama frekansı ile THD<sub>1</sub> arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. PWM'nin taşıyıcı frekans değeri arttığında, THD<sub>1</sub> değeri azalmaktadır. PV güç sisteminin eşdeğeri Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur. İnverter anahtarlama elemanı olarak kullanılan MOSFET'in tetiklemesini sağlayan PWM'nin anahtarlama frekansı değerleri değiştirilerek buna karşılık gelen THD<sub>1</sub> değerleri Tablo 1'de gösterildiği gibidir.

**Tablo 1.** Anahtarlama frekansı ile THD<sub>I</sub> değerleri

Anahtarlama frekansı (F <sub>sw</sub> )	Yük akımı THD <sub>I</sub>	Anahtarlama frekansı (F <sub>sw</sub> )	Yük akımı THD <sub>I</sub>
500	91.57	23000	87.78
700	91.47	24000	87.61
900	91.36	25000	87.45
1100	91.35	26000	87.29
1300	91.32	28000	87.12
1700	91.25	29000	86.97
2300	91.20	30000	86.80
2500	91.12	31000	86.64
3000	91.03	32000	86.48
4000	90.88	33000	86.32
6000	90.54	34000	86.16
7000	90.38	35000	86.01
8000	90.32	36000	85.84
9000	90.05	37000	85.52
10000	89.89	38000	85.37
11000	89.72	39000	85.21
12000	89.57	40000	85.08
13000	89.41	41000	85.05
14000	89.23	42000	84.90
15000	89.07	43000	84.75
16000	88.91	44000	84.59
17000	88.75	45000	84.43
18000	88.50	46000	84.29
19000	88.42	47000	84.14
20000	88.25	48000	83.96
21000	88.10	49000	83.84
22000	87.94	50000	83.68

Anahtarlama frekansı ile THD<sub>I</sub> arasındaki değişim Şekil 6'de verildiği gibidir.

**Şekil 6.** Anahtarlama frekansı ile THD<sub>I</sub> arasındaki değişim

Şekil 6'daki eğrinin analitik denklemini bulmak için SPSS istatistik programı kullanılmıştır. THD<sub>I</sub> =y ve F<sub>sw</sub> =x rotasyonu kullanılacak olursa. Şekil 6'daki grafiğin aşağıdaki denkleme göre değiştiğini düşünülürse,

$$y = A * x^B \quad (3)$$

Bu verileri sağlayan polinomların katsayılarını SPSS istatistik program kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın ana konusu, PWM' nin anahtarlama frekansı ile THD<sub>1</sub> arasındaki analitik ifadeyi bulmaktır. SPSS istatistik programı yöntemi ile A ve B sabitleri Tablo 1'deki değerler kullanılarak bulunur. A=107,113 ve B=-0.021 olarak bulunmuştur. Anahtarlama frekansına bağlı THD<sub>1</sub> değişimi aşağıdaki formülle elde edilir.

$$THD_1 = 107,113 * F_{sw}^{-0,021} \quad (4)$$

Solar sistemlerinde harmonik bileşenlerin oluşmasının başlıca nedeni, bu tesislerde kullanılan non-lineer karakteristikli kaynak veya nonlineer yüklerdir. Bu elemanların gerilimi ile akımı arasındaki analitik bağıntının lineer olmaması elektrik tesislerinde harmonik bileşenler oluşmasına sebep olmaktadır. Harmonikler PV güç tesislerindeki kirliliktir. Harmonik bileşenlerin değeri mutlak surette standartlarca belirlenen değerlerin altına çekilmesi gerekmektedir. PV sistemlerde kullanılan inverterlerin çok seviyeli seçilmesi harmonik bileşenlerin elimine edilmesini sağlar. Çok seviyeli inverterlerin iki seviyeli inverterlere olan üstünlükleri:

- Aynı anahtarlama frekansında çok seviyeli inverterlerin THD, klasik iki seviyeli invertere göre çok daha düşüktür.
- Çok seviyeli inverterler yüksek güçlerde transformatörsüz olarak kullanılabilirler.
- Çok seviyeli inverterlerde gerilimin değişim hızı (dv/dt) iki seviyeli invertere göre çok daha düşüktür.

PV güç sistemlerinde bulunan non-lineer devre elemanları harmonik kirlilik oluşturmaktadır. Bu kirlilik enerjinin kalitesinde düşmelere sebep olur. PV güç sistemlerinin kararlı çalışmasını sağlamak için, tasarım ve tesis aşamasında doğrusal olmayan elemanların oluşturduğu harmonik bileşenlerin analizi gerçekleştirilip, harmonik bileşenleri süzecek filtre devreler tasarlanmalıdır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PV güç sistemlerinde tesisin yapısına uygun bir harmonik giderme yöntemi mutlaka kullanılmalıdır. Harmoniklerin zararları konusunda tüketiciler bilinçlendirilerek, THD<sub>1</sub> oranının düşürülmesi gerekmektedir. Daha kaliteli daha güvenli ve daha ekonomik bir enerjinin elde edilmesi için THD<sub>1</sub> standartlarca ifade edilen değerlerin altına çekilmelidir. Solar invertere ait PWM anahtarlama frekansları 500 Hz' den 50 KHz' e kadar değiştirilerek bu değerlere ait THD<sub>1</sub> değerleri ölçülmüştür. Tablo 1'de ifade edilen bu değerlerden yararlanarak SPSS istatistik program ile (4) denklemi bulunmuştur. Bu denklem anahtarlama frekansı ile THD<sub>1</sub> arasındaki analitik ifadedir. Yüksek anahtarlama frekanslarında kontrolsüz doğrultucu THD<sub>1</sub> değerleri düşmektedir. Yalnız bu düşme değeri yeterli değildir. Kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerini süzecek aktif veya pasif filtreler mutlak surette tesis edilmeleri gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Adak, S., & Cangı, H. (2016). Bitlis Eren Univ J Sci & Technol. *Analysis and Simulation Total Harmonic Distortion of Output Voltage Three Level Diode Clamped Inverter in Photovoltaic System*, 5(2), 242-253.

Arifoğlu, U. (2016). *Matlab 9.1-Simulink ve Mühendislik Uygulamaları*, Alfa Yayıncılık, İstanbul.

Badawy, M.O., Yilmaz, A.S., Sozer, Y., & Husein, I. (2014). IEEE T Ind Appl. *Parallel power processing topology for solar PV applications*, 50, 1245-1255.

- Bandaraa, K., Sweetb, T., & Ekanayake, J. (2012). Science Direct. *Photovoltaic applications for off-grid electrification using novel multi-level inverter technology with energy storage*, 37(1), 82-88.
- Cangi, H. (2019). Natural and Applied Sciences, University of Kahramanmaraş Sutcu Imam. *Analysis and Elimination of Harmonics at Low Irradiation Level in PV Systems*, Ph.D. Thesis.
- İzgi, E., Öztopal, A., Durna, B., Kaymak, M.K., & Şahin, A.D. (2012). Solar Energy. *Short–mid-term solar power prediction by using artificial*, 86, 725-733.
- Jiang, Y.J.A., Qahouq, A., & Batarseh, I. (2010). Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst. *Improved solar PV cell MATLAB simulation model and comparison*, pp. 2770–2773.
- Kashif, I., & Zainal, S. (2011). Sol Energy. *An improved modelling method to determine the model parameters of photovoltaic (PV) modules using differential evolution (DE)*, 85, 2349-2359.
- Kılıc, B. (2011). International Journal Of Renewable Energy Research. *Evaluating of Renewable Energy Potential in Turkey*, 1(4), pp.259-264.
- Kocatepe, C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., & Arıkan, O. (2003). *Harmonics in Electrical Plants*. Birsen Publication, İstanbul.
- Krismadinataa, N., Pinga, R.H.W., & Selvaraja. J. (2013). Pro-cedia Environmental Sciences. *Photovoltaic module modelling using Simulink/MATLAB*, 17, 537- 546.
- Kulaksi, A.A. (2013). Turk J ElecEng & Comp. *ANFIS-based estimation of PV module equivalent parameters: application to a stand-alone PV system with MPPT controller*, 21, 2127-2140.
- Malla, S.G., & Bhende, C.N. (2014). EEPS: International Journal of Emerging Electric Power Systems. *Study of Stand-Alone Microgrid under Condition of Faults on Distribution Line*, 15(5), pp. 501-512.
- Ozdemir, A., & Ferikoglu, A. (2004). IEE Proceedings-Science Measurement And Technology. *Low cost mixed-signal microcontroller based power measurement technique*, - 151(4), 253-258.
- Pandiarajan, N., & Muthu, R. (2011). ICEES International Conference on Electrical Energy Systems. *Mathematical modelling of photovoltaic module with Simulink*, pp. 314-319.
- Sabir, R., Emrullah, O., Nuri, M.A., & Serhat, E.B. (2015). Bitlis Eren Univ J Sci & Technol. *Reducing the effects of harmonics on the electrical power systems with passive filters*, 5 (1), 1-10.
- Sekkeli, M., Acıkgöz, H., Gani, A., & Kececioğlu, O.F. (2015). International Refereed Journal of Engineering and Sciences. *Modeling and Analysis of Three Phase Space Vector Pulse Width Modulation Based Rectifiers Using Fuzzy PI Controller*, 2(3), 75–75.
- Uysal, U. (2004). *Mathematical and engineering applications with Matlab*, Beta Basım A.Ş., İstanbul.
- Villalva, M.G., Gazoli J.R., & Ernesto, R.F. (2009). IEEE T Power Electr. *Comprehensive approach to modelling and simulation of photovoltaic arrays*, 24, 1198-1208.



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 17.09.2019  
Kabul Tarihi : 29.01.2020

Received Date : 17.09.2019  
Accepted Date : 29.01.2020

### P25 METODU İLE KAHRAMANMARAŞ YAPI STOĞUNUN İNCELENMESİ

#### INVESTIGATION OF KAHRAMANMARAŞ BUILDING STOCK BY P25 RAPID EVALUATION METHOD

Ö. Alper ERŞAHAN<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0002-2934-2878)

Mehmet Metin KÖSE<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-7462-1577)

Sıla AVĞIN<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0003-4102-7747)

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet Metin KÖSE, mmkose@ksu.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada Kahramanmaraş ilindeki yapı stoğunun hızlı değerlendirme yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Kısa sürede birçok yapının deprem güvenliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapı stoğunun incelenmesi hızlı değerlendirme yöntemlerinden biri olan P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile yapılmıştır. Kahramanmaraş ilinde bulunan kamu binalarından ve özel binalardan ildeki bütün binaları temsil edecek şekilde 342 adet bina seçilmiştir. İncelemede binaların 100 üzerinden puanlamaya tabi tutularak 25 puanın altındaki binalar çok riskli gruba; 25 ila 35 puan arasındaki binalar, ayrıntılı inceleme bandında; 35 puandan yüksek binalar az riskli grupta değerlendirilmiştir. İncelenen 342 adet binadan 100 tanesi çok riskli grupta 121 tanesi ayrıntılı inceleme bandında 121 tanesi az riskli grupta çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kahramanmaraş yapı stoğu, hızlı değerlendirme, P25 metodu

#### ABSTRACT

In this study, it is aimed to examine the building stock in Kahramanmaraş province by rapid evaluation method. In order to have knowledge of the earthquake safety of many buildings in a short period of time, the building stock was inspected by P25 rapid evaluation method which is one of the rapid evaluation methods. 342 buildings are selected from public and private buildings in Kahramanmaraş province to represent all buildings in the city. In the survey, the buildings were scored over 100 points, buildings below 25 points entered a very risky group, buildings between 25 and 35 points buildings were assessed in the detailed examination band, above 35 points buildings were evaluated in the low risk group. Of the 342 buildings examined, 100 were in the high-risk group; 121 were in the detailed examination band and 121 were in the low-risk group.

**Keywords:** Kahramanmaraş building stock, rapid evaluation, P25 method

#### INTRODUCTION

Although conventional failure analysis methods are reliable, they are not economical and fast due to time-consuming calculations. In recent years, with the advantage of technological advances in the investigation of seismic movements, research on rapid evaluation methods has increased. The applicability of rapid evaluation methods has been tested in recent earthquakes and they have been used to evaluate the existing building stocks.

Several rapid evaluation methods have been developed nationally and internationally. The ATC-21 (Applied Technology Council) Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards is one of the first pioneers of the developed methods in earthquake engineering in US. The aim of this method is to have information about the earthquake safety of structures in a short time and to determine the structures which are not resistant to earthquake effect and can be damaged during earthquake. Thus, the existing building stock will be scanned quickly and it will be ensured that the buildings are safe enough to require secondary and detailed investigation (Tüysüz, 2007).

The Canadian seismic survey method is the first stage of a multi-stage investigation proposed in accordance with the guidelines published by the Canadian National Research Association. A numerical preliminary assessment of the earthquake risk of each building is determined. The success of this method, which takes many factors into account, is directly dependent on accurate and reliable data collection by qualified individuals. In case of uncertainties, conservative values should be chosen to remain on the safe side.

The Japanese Seismic Index Method can be applied as a rapid evaluation method to reinforced concrete building type structures with structural system consisting of frame, shear wall-frame or shear walls only. It is used for the rapid estimation of earthquake reliability of reinforced concrete buildings. This method is not recommended for use in buildings over 30 years of age and buildings with severe physical defects, low material strength or unusual structural system (JBDPA, 1990). Earthquake Safety Screening Method (ESSM) was obtained by adapting the Japanese Seismic Index Method to the structures of different damage levels after the 1992 Erzincan, 1998 Adana-Ceyhan and 1999 Marmara and Düzce earthquakes according to ABBYHY'98. As a result of the studies, it was concluded that ESSM can be used in structures up to six floors (Boduroğlu, 2007).

In order to determine the earthquake safety of buildings, a study has been conducted on the comparison of the results of DURTES computer software developed by Istanbul University Civil Engineering Department (Öztorun, 2002, Öztorun, 2004). In this study, firstly the appropriate information required for the evaluation of the buildings was determined on a mathematical basis and a questionnaire containing this information was prepared. Required information in this questionnaire are filled on-site and then transferred to the computer software called DURTES. The characteristics such as the earthquake load to which the buildings will be exposed, the earthquake load they can carry and the strength are determined very easily.

In a study conducted by Hassan and Sözen, the data of 46 buildings damaged after the 1992 Erzincan Earthquake was used. At the end of the study, index boundaries were determined according to cross-sectional areas of the column and infill walls in order to classify the buildings as “total collapse”, “heavily damaged”, “moderately damaged” or “lightly damaged”. (Hassan 1997). In another study developed by Sucuoğlu, the building risk ranking can be made with the method called Screening Method from the Street with a small number of parameters that can be observed from outside without entering into 1-6 story reinforced concrete buildings (Sucuoğlu, 2007).

The earthquake risk evaluation for consulate buildings in some Eastern and Western European countries was made by Çelik et al. This method, which was prepared in accordance with the principles published by the Canadian National Research Association, differs from many other screening methods because it can be applied to structures with different type of structural systems. It is aimed to conduct a detailed analysis of buildings in terms of seismic risk according to the specifications using the seismic priority index (SPI) obtained by summing the structural index (SI) and the non-structural index (NSI). (Çelik, 2007)

In a study conducted by A. Yakut et al., masonry and reinforced concrete types buildings were taken into consideration because they are the most commonly used structural systems. (Ruby, 2012). The developed method involves the application of parameters obtained from outside observation or from inside of the buildings to 1-7 story reinforced concrete structures. These parameters can be listed as structural system, number of floors, building position, weak and soft floor, vertical and horizontal irregularities, heavy front hangers, adjacent building, short column, topography, soil type. Analytical studies were conducted on the method and the validity of the method was accepted. (Dogan, 2012).

P25 Rapid Evaluation Method is another methodology to evaluate seismic risk of the reinforced concrete buildings rapidly and reliably (Bal, 2007). Rather than determining damage levels of buildings, many parameters are considered in the method which aims to determine the buildings as “safe” or “unsafe” to prevent loss of life. The decision is made about the building according to the P-result score. If the result is below the limit value and the building is classified as “unsafe” if the result is above the limit value the building is classified as “safe”. Calibration of the method was carried out on 289 real buildings exposed to earthquakes and 22 new buildings designed according to 2007 Turkish Building Earthquake Code. The reliability of the method has been scientifically demonstrated by the fact that the result scores of 17 collapsed buildings are below the limit score. (Bal et al., 2007).

In this study, it is aimed to determine the status of the building stock of Kahramanmaraş by P25 Rapid Evaluation method. P25 Rapid Evaluation Method was applied to 42 official and 300 private buildings to determine failure risk of buildings during earthquakes.

### ***P25 rapid evaluation method***

Preliminary studies of this method was started with the research of Tezcan (Tezcan, 2005) with ‘Zero Life Loss’ project and developed with the support of TUBITAK. This method has been tested on 323 buildings damaged in earthquakes in Turkey at different times (Bal et al., 2008). Very successful results have been achieved by applying P25 Method on 23 undamaged, moderately damaged or collapsed buildings affected by previous earthquakes. 19 buildings exposed to Golcuk earthquake ( $M_w = 7.4$ ), 1 building exposed to Bingöl earthquake ( $M_s = 6.4$ ) and 3 buildings exposed to Adana earthquake ( $M_w = 6.3$ ) were used as examples. The results were also compared with the peak displacements, impact/capacity ratios of the sample buildings. Thus, It has been shown that buildings which were scored according to certain parameters can be divided into two groups with  $P = 35$  line and buildings that have a risk of collapse can be seperated from the others. (Gulay et al., 2008).

In the final version of the P25 method, seven different evaluation points representing the risk of seven different failures, primarily P1, P2, ..., P7, are calculated instead of a single collapse score. Then, the building result score “P” is calculated by taking into account the interaction of these seven different collapse points. In the application of the method, the importance of the building, the degree of seismicity of the region, live load coefficient and the topography of the land are corrected with a multiplier. P performance score range from 1 to 100 (from worst to best) is obtained and information about the collapse potential of the building is determined (Bal, 2012),(Kutaniş,Işık,2013). The procedures to be followed during the implementation of the P25 Rapid Evaluation Method are described in the following sections.

### ***Necessary investigations***

Each building should be represented by a suitable coding so that its information can be easily accessed at any time. For this purpose, the name of the building, open address, construction year and the number of floors are processed as an identification information. Static and architectural projects of the building should be examined in order to apply P25 Method. If buildings do not have a static and architectural projects or they cannot be found, the position and dimensions of the structural system and infill walls should be determined by performing an architectural survey. On-site inspections, especially the ground and/or basement floors, which are called as critical floors, should be observed and the suitability of the structural system to the project should be checked, as well as their dimensions and reinforcement conditions (reinforcement diameters, transverse reinforcement spacing and corrosion condition). (Gulay, 2008)

### ***Effective floor area and critical floor selection***

Since all calculations in the P25 method are based on the critical floor and the one above it, the critical floor should be determined. The critical floor is generally taken as the ground floor, but in some cases, the basement floor can be taken as a critical floor in a building with a basement floor. In order to select the basement as a critical floor, there should be no shear wall or low percentage of shear wall that basement floor cannot be considered as rigid. The infill walls should have at least one contact with one of the reinforced concrete columns or should fill the frame in the structural system. Since the windows in infill walls will create discontinuity, they are marked in the architectural plan depending on whether the window is in the middle or in the corner of the infill wall. (Bal, 2007).

The effective floor area is the smallest rectangle in which the building's ground floor area is located. The ground floor plan of the building is located in the cartesian system and the edge lengths  $a$  and  $b$  of the smallest rectangle are found. The effective floor area and floor inertia moments are then calculated in the  $x$  and  $y$  directions:

$$A_e = ab \quad (1)$$

$$I_x = \frac{a^3b}{12} \quad I_y = \frac{ab^3}{12} \quad (2)$$

### ***C<sub>a</sub> cross-section index components***

Cross-sectional areas, moment of inertia and indices of cross-sectional area, moment of inertia of columns, shear walls, infill walls in the critical floor are calculated. Area index is the ratio of column, shear wall and fill wall areas to effective floor area. Since this ratio is based on the effective areas of the elements in both directions, it will give different results for the accepted x and y directions in the cartesian system where the building is located. Area indices  $C_{Ax}$  and  $C_{Ay}$  :

$$C_{Ax} = 2(10^5) \frac{A_{ef,x}}{A_e} \quad (3)$$

$$C_{Ay} = 2(10^5) \frac{A_{ef,y}}{A_e} \quad (4)$$

$$A_{ef,x} = A_c + A_{sx} + (E_m/E_c)A_{wx} \quad (5)$$

$$A_{ef,y} = A_c + A_{sy} + (E_m/E_c)A_{wy} \quad (6)$$

where  $A_c$ ,  $A_{sx}$  and  $A_{wx}$  are the sum of cross-sectional areas of the columns, reinforced concrete shear walls and infill walls on the critical floor,  $E_m/E_c$  is the ratio of infill wall elasticity modulus to concrete elasticity modulus equal to 0.15.

When the smaller of these area indices is taken as the minimum and the larger one is taken as maximum component, a weighted average index is calculated for the resultant area index (Bal, 2007):

$$C_{A,min} = \min(C_{Ax}, C_{Ay}) \quad C_{A,max} = \max(C_{Ax}, C_{Ay}) \quad (7)$$

$$C_A = \sqrt{(0.87C_{A,min})^2 + (0.5C_{A,max})^2} \quad (8)$$

In Equation 8, the coefficients 0.87 and 0.50 are the trigonometric coefficients obtained according to the assumption that the earthquake is at an angle of 30° to the weakness direction of the building.

### ***Resultant of C<sub>I</sub> moment of inertia index***

The  $C_{Ix}$  and  $C_{Iy}$  moment of inertia indices in the x and y directions of the columns, shear walls and infill walls in the critical floor and the resultant Inertia Moment Index are calculated as:

$$C_{Ix} = 2(10^5) \left( \frac{I_{f,x}}{I_x} \right)^{0.2} \quad (9)$$

$$C_{Iy} = 2(10^5) \left( \frac{I_{f,y}}{I_y} \right)^{0.2} \quad (10)$$

$$I_{ef,x} = I_{cx} + I_{sx} + \left( \frac{E_m}{E_c} \right) I_{wx} \quad (11)$$

$$I_{ef,y} = I_{cy} + I_{sy} + \left( \frac{E_m}{E_c} \right) I_{wy} \quad (12)$$

$$C_{I,min} = \min(C_{Ix}, C_{Iy}) \quad (13)$$



$$C_{I,\max} = \max(C_{I_x}, C_{I_y}) \quad (14)$$

$$C_I = \sqrt{(0.87C_{I,\min})^2 + (0.5C_{I,\max})^2} \quad (15)$$

where  $I_{cx}, I_{cy}$  = Total moment of inertia of columns in critical floor in x and y directions,  $I_{sx}, I_{sy}$  = Total moment inertia of shear walls in critical floor in x and y directions,  $I_{wx}, I_{wy}$  = Total moment of inertia moments of infill walls in critical floor in x and y directions and  $C_I$  = The resultant inertia moment index.

The resultant moment of inertia index is again calculated based on the assumption that the earthquake is at an angle of 30° to the weakness direction of the building.

### ***P<sub>0</sub> structural system score***

The  $P_0$  structural system score, which reflects the structural system characteristics of the building, is calculated by dividing the sum of  $C_A$  Resultant Cross-sectional Area Index and the  $C_I$  Resultant Inertia Moment Index by a parameter  $h_0$ , which depends on the total height of the building:

$$P_0 = \frac{(C_A + C_I)}{h_0} \quad (16)$$

$$h_0 = -0.6H^2 + 39.6H - 13.4 \quad (17)$$

where  $h_0$  is a correction factor for building height. H is calculated based on the total height of the building measured from the critical floor.

### ***P<sub>1</sub> basic structural score***

The  $P_0$  structural system score is a raw score based on the area and moment of inertia values of the reinforced concrete and masonry elements, and the value of  $h_0$ . The  $P_1$  basic structural score of the structure is obtained by multiplying this  $P_0$  raw score with certain correction coefficients. These correction coefficients are determined according to various irregularities of the structure, material properties, soil and foundation type.

$$P_1 = h_0 \left( \prod_{i=1}^{14} f_i \right) \quad (18)$$

where; coefficients having effects on the irregularities of structures. The basic structural score of  $P_1$  is obtained by multiplying these values with the  $P_0$  score consecutively.

### ***P<sub>2</sub> short column score***

Short column is a column whose length is less than the length of the other columns in the building and it is expected to fail in brittle shear failure. In previous studies such as FEMA 154 (1988); Güllkan and Yakut, (1994); Sucuoğlu and Yazgan, (2003), the short column factor was taken into account while calculating the building performance score and weighting factors ranging from 0.11 to 0.44 out of 1 are used for the short column (Inel and Özmen, 2006). However, besides the determination of the presence of short column, it is also important to determine the ratio of short column length to floor height (i.e. how short the column is) and to what extent they are present in the floor (Gülay 2008).

***P<sub>3</sub> soft story and weak story score***

The ground floor of many buildings is weakened and become the focal point of damage due to the fact that the height of the ground floor is higher than height of normal floor for various purposes and/or absence of the masonry infill walls, which have a significant contribution to the horizontal strength of the building, on the ground floor.  $P_3$  Soft story and weak story score, which represent this weakness, is determined by Equation 19:

$$P_3 = 100 \left[ r_a r_r \left( \frac{h_{i+1}}{h_i} \right) \right]^{0.6} \quad (19)$$

$$r_a = \left( \frac{A_{ef,i}}{A_{ef,i+1}} \right) \leq 1 \quad (20)$$

$$r_r = \left( \frac{I_{ef,i}}{I_{ef,i+1}} \right) \leq 1 \quad (21)$$

where  $h_i$  and  $h_{i+1}$  story height of the critical floor and the floor above the critical floor,  $r_a$  and  $r_r$  in Equations 20 and 21 show the ratios of the column, shear walls and infill walls of the critical floor and the floor above it in terms of effective area and effective moment of inertia:  $r_a$  and  $r_r$  values are averaged separately for the x and y directions.

***P<sub>4</sub> overhangs and frame discontinuity score***

Heavy overhangs on the ground floor, which are widely used in our country, cause mass irregularity in the building, move the earthquake moment arm upwards and form frame discontinuity by shifting the beam axes between the exterior columns. In a study conducted by Bal and Özdemir (2006), it was found that this type of irregularity caused strength loss between 4% and 54% in buildings.

***P<sub>5</sub> collision score***

The P5-collision score represents the collision risk of two adjacent buildings. In these studies, it was determined that the building at the end of the adjacent building series is very risky. In addition, due to the principle of energy conservation, it can be seen from the previous earthquakes that the buildings adjacent to each other but having different periods due to their heights and weights have high risk. (Athanasiadou, 1994, Tezcan 1996). Collision is called central collision if the line joining the center of gravity of the two adjacent buildings passes through the middle of the common line where the two buildings will collide, otherwise it is called eccentric collision.

***P<sub>6</sub> liquefaction potential***

It is important that the soil characteristics should be determined before any rapid or more detailed evaluation of the buildings. Liquefaction potential is determined as low, medium and high depending on various soil parameters. Determination of the liquefaction potential is described by YOUNG et al. (2001) and Tezcan et al. (2004). P6 liquefaction potential score is taken as 100 on soils without liquefaction potential.

***P<sub>7</sub> soil movements score***

It should be determined whether any of the four different kinds of ground movements can occur such as large settlements, lateral dispersion, landslide and retaining wall collapse.

### Correction factors

- ***a* correction factors**

The  $P_{\min}$  score is the smallest (representing the highest risk) to be selected among the seven  $P_i$  failure risk points.  $P_{\min}$  score must also be corrected with a correction factor  $\alpha$  according to the characteristics of the building and its location. The correction factor  $\alpha$  is calculated by Equation 22 considering building importance coefficient  $I$ , effective acceleration coefficient  $A_0$ , live load multiplier  $n$  and topographic location coefficient  $t$ . The nominal value of the topographic  $t$  coefficient is equal to 1.0. This coefficient is equal to 0.85 if the building is located on a hill and this coefficient is equal to 0.7 if the building is located on a steep slope.

$$\alpha = \frac{1}{I} (1.4 - A_0) \left[ \frac{1}{0.4n + 0.88} \right] t \quad (22)$$

- ***β* correction factors**

The result performance score  $P$  of the building is determined mainly by the interaction of the previously calculated seven  $P_i$  points with each other. To do this, first select the smallest of the points and find the  $P_{\min}$  minimum score and multiply by the weight coefficient,  $w$ , equal to 4. The  $P_w$  weighted average score is determined by equation 23 by multiplying the  $P_i$  other scores by weight points, and a  $\beta$  Correction multiplier is obtained by using the weighted average score as shown in Figure 1.

$$P_w = \sum \frac{(W_i P)_i}{\sum W_i} \quad (23)$$

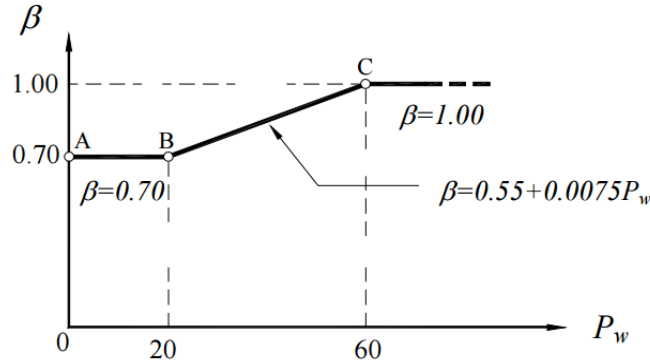


Figure 1.  $\beta$  Coefficient Change

### Calculation of correction factors

After completing the aforementioned steps, another correction step is taken into account for 25 correction factors. These correction factors are determined by taking the positive and negative aspects of the building into the account.

### P score

The result score  $P$ , which determines the performance of the building, is calculated using the  $\alpha$  and  $\beta$  correction factors as shown below;

$$P = \alpha \beta P_{\min} \quad (24)$$

where  $P_{\min}$  is the smallest of the seven  $P_i$  evaluation points. With the result  $P$  score, it will be possible to evaluate whether the building has a risk of total collapse or a more detailed evaluation is required.

The structures evaluated according to the P25 method are defined in one of the three regions described below according to the P-Result score:

- **Zone 1 (Low risk band)  $P \geq 35$ :** The probability of a total collapse is low, or it is unlikely to collapse and cause loss of life, so it is not a high priority to evaluate the building in detail. It is assumed that the buildings will get lighter (or moderate) damage than the buildings in other two zones. It is, of course, impossible to make a prediction of the future damage of the buildings in this region. However, this zone is relatively the best zone in terms of the potential for damage and can be described as the zone with the lowest probability of total collapse.
- **Zone 2 (Detailed evaluation band)  $35 > P > 25$ :** This zone is a zone of uncertainty. Since it is not possible to determine whether the buildings in this zone will collapse and cause loss of lives, a more detailed seismic evaluation is needed to eliminate these uncertainties. After detailed seismic evaluation some of the building will be included in the Zone 1 but some of the buildings will be transferred to Zone 3. In cases where a large number of buildings will be evaluated and uncertainty will increase, technical considerations, financial constraints and risk-taking will determine the width of this zone. This is because this zone is directly related to cost.
- **Zone 3 (High risk band)  $P \leq 25$ :** The probability of collapse of buildings in this region is high enough that it does not require a second and more detailed evaluation. Based on the information that the buildings with this zone score were completely destroyed in the real earthquake, the buildings in this zone will be either emptied and demolished or refortified immediately. One of the main objectives of the ‘Zero Life Loss’ project and the P25 Rapid Evaluation Method is the rapid removal of buildings falling into this zone.

## FIELD STUDY

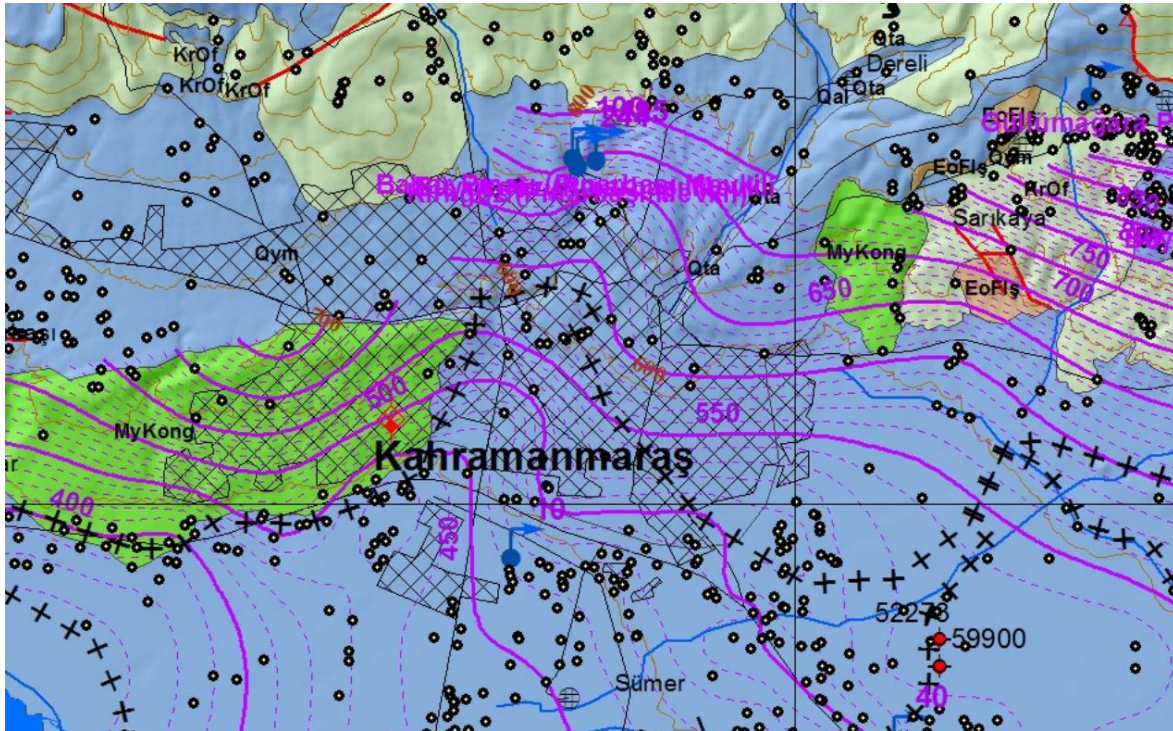
In this case study, evaluation of building stock in centrum and districts of Kahramanmaraş were done by P25 Rapid Evaluation Method. 342 of the official and private buildings in 5 neighborhood and 2 districts given in the Table 1 were evaluated. In this study, buildings with 25 points or below were evaluated in the “High Risk” group and buildings with 35 points or above were evaluated in the “Low Risk” group.

**Table 1.** Distribution of Buildings Scanned by P25 Method

Settlement	Number of Buildings / Houses Examined
İsmet Paşa Neighborhood	129
Kurtuluş Neighborhood	21
Menderes Neighborhood	56
Yenişehir Neighborhood	128
Mehmet Akif Neighborhood	1
Türkoğlu Districts	3
Pazarcık Districts	4
<b>Total</b>	<b>342</b>

The geological map for the field study was given in Figure 2. The possible liquefaction status of the region is theoretically determined by considering the ground characteristics and groundwater levels in this map. In the studied area, there are generally loose slope debris in the form of a cone of gravel, sand and clay units, and alluvial units consisting of sandy silty clay and occasionally gravel units. Groundwater level varies between 5-6.5 m in this

region. When ground properties and groundwater conditions are taken into consideration, liquefaction risk is observed in the region.



**Figure 2.** Geological map and groundwater status of the study area and its vicinity (DSİ, 2018)

### **Method**

During the evaluation preparation stage, firstly the relevant Governorate, District Governorate and Municipality were informed the purpose of the study and the importance and necessity of evaluating the building stock with P25 Rapid Evaluation Method was explained.

After obtaining the necessary permission and approval from the institutions and related organizations, a research team consisting of 8 people was established by assigning two people from the institutions with civil engineers. The research team was informed about the P25 Rapid Evaluation Method and its application in the field. After the training, information forms prepared for the buildings were introduced. Contact information of building managers was taken and information meetings were held within the scope of a plan in the field. Participation of building managers in the study was ensured and measurement days were shared within the scope of the work plan. After the consensus was reached on the work plan prepared with the study team, the task distribution was made and the studies were started.

### **Results**

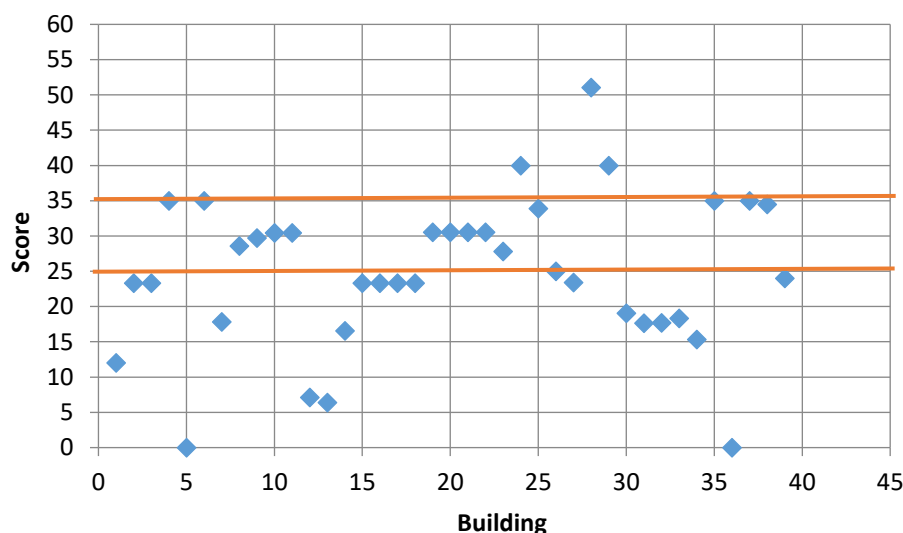
Considering all the results obtained, the results of the buildings in the field were scored out of 100 and the buildings with 25 points and lower were assigned to the high risk group, the buildings with points between 25 and 35 were assigned to the detailed evaluation band and the buildings with 35 points and above were assigned to low risk group.

In total 342 buildings were evaluated. 100 buildings were in the high-risk group, 121 buildings were in the detailed evaluation band and 121 buildings were in the low-risk group. The distribution of the Public and Private buildings was given in Table 2. When the average results of public and private buildings are considered, these results represent average condition of the building stock in Kahramanmaraş Province.

**Table 2.** The Distribution of the Public and Private Buildings

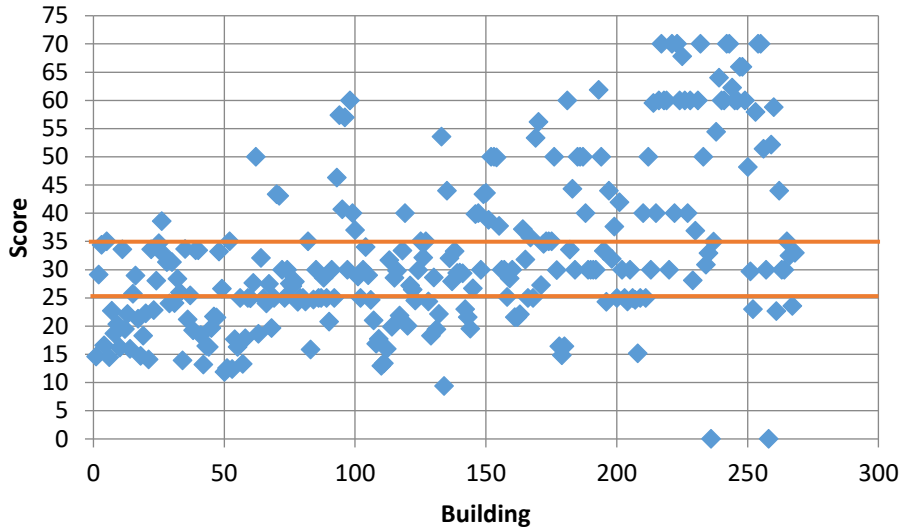
	Number of buildings in the high-risk group	Number of buildings in detailed evaluation band	Number of buildings in the low-risk group
	P<25	25<P<35	P>35
Kamu binaları	21	12	9
Özel binalar	79	109	112
Toplam	100	121	121

42 public buildings were evaluated in total. 21 buildings with P value less than 25 were in high-risk zone, 12 buildings with P value between 25 and 35 were in detailed evaluation zone and 9 buildings with P value greater than 35 were in low-risk zone as shown Figure 3.



**Figure 3.** Score of Public Buildings

In the same manner, 300 private buildings were evaluated in total. 79 buildings with P value less than 25 were in high-risk zone, 109 buildings with P value between 25 and 35 were in detailed evaluation zone and 112 buildings with P value greater than 35 were in low-risk zone, as shown Figure 4.



**Figure 4.** Score of Private Buildings

When the buildings were classified according to neighborhoods as shown Table 3, it is found that 50 buildings in İsmetpaşa neighborhoods, 12 buildings in Kurtuluş neighborhoods, 17 building in Menderes neighborhoods, 18 buildings in Yenişehir neighborhoods, 1 building in M.Akif neighborhoods, 1 building in Türkoğlu district and 1 building in Pazarcık district had P value less than 25 so 100 buildings in total were in high-risk zone. It is also found that 54 buildings in İsmetpaşa neighborhoods, 8 buildings in Kurtuluş neighborhoods, 24 building in Menderes neighborhoods, 32 buildings in Yenişehir neighborhoods, 2 building in Türkoğlu district and 1 building in Pazarcık district had P value between 25 and 35 so 121 buildings in total were in detailed evaluation zone. Finally, it is found that 25 buildings in İsmetpaşa neighborhoods, 1 building in Kurtuluş neighborhoods, 15 buildings in Menderes neighborhoods, 78 buildings in Yenişehir neighborhoods and 2 building in Pazarcık district had P value greater than 35 so 121 buildings in total were in low-risk zone.

**Table 3.** Distribution of P25 Score by Location

Status of Buildings	Number of Buildings in Very Risky Band P<25	Number of Buildings in Detailed Review Band 25>P<35	Number of Buildings in Low Risk Band P>35
İsmetpaşa Neighborhoods	50	54	25
Kurtuluş Neighborhoods	12	8	1
Menderes Neighborhoods	17	24	15
Yenişehir Neighborhoods	18	32	78
M.Akif Neighborhoods	1	-	-
Türkoğlu	1	2	-
Pazarcık	1	1	2

## RESULT AND RECOMMENDATIONS

In this study, the earthquake scores of 342 reinforced concrete structures in Kahramanmaraş Province were investigated by P25 Scoring Method. It was found that 35% of the buildings did not have any risk of collapse, 35% of the buildings were in the detailed examination band, and 30% of the buildings were at risk of collapse. In this study, the buildings were examined in two groups as public and private buildings. 50% of the public buildings were at risk of collapse, 29% of the public buildings were in the detailed examination band and 21% of the public

buildings did not have any risk of collapse. In private buildings, %26 of the buildings were at risk of collapse, %36 of the buildings were in the detailed examination band and %38 of the buildings did not have any risk of collapse. As a result of these studies;

- One third of the buildings were in the Detailed Examination Band, which reveals the necessity to carry out studies for more detailed results.
- In calculating the “P Performance Scores”, the effect of 14 correction factors is taken into consideration. It was observed that 14 correction factors affect the earthquake behavior of the buildings.
- The P25 Rapid Evaluation Method discussed in this study gives quite accurate results. However, as in all empirical methods, there is a margin of error in this method. It is necessary to try this method by increasing the number of sample buildings in order to keep this error margin to a minimum.
- As a result, it is necessary to quickly determine whether the performance of existing buildings in our country is adequate according to the current earthquake regulation.

## REFERENCE

ATC-21 : Applied Technology Council. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

Athanassiadou C J, Penelis G G, and Kappos A J (1994) “Seismic Response of Adjacent Buildings with Similar or Different Dynamic Characteristics”, *Earthquake Spectra*, 10(2):293-317.

Bal, İ. E., Ozdemir, Z. (2006) “The Adverse Effects of Perimeter Frame Discontinuity on Earthquake Response of RC Buildings”, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, October 11-13, 2006, Istanbul, Turkey.

Bal, İ. et al., 2007. “P25 Rapid Screening Method to Determine the Collapse Vulnerability of Reinforced Concrete Buildings ”Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October 2007 Istanbul, Turkey.

Bal İ and et al., 2008. A New Approach For The Preliminary Seismic Assessment Of Rc Buildings: P25 Scoring Method, The 14 th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.

Boduroğlu, M. Hasan et al., 2007 ““ A Screening Method for Evaluating Existing Structures ” Sixth National Conference on Earthquake Engineering .16-20 October 2007, Istanbul. 10p.

Celik O. C., İlki A., Yalcın C., Yüksel E., October 2007 “An Experience on Rapid Assessment of Earthquake Risk of Different Type Buildings in Eastern and Western European Countries ”Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul.

Dogan, Meltem, 2012. P25 and Durtes Pre-evaluation Methods and Application to Damaged Buildings in 1999 Düzce Earthquake, Master Thesis. Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.213p.

Devlet Su İşleri (DSİ) 20. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Müdürlüğü, Kahramanmaraş

FEMA 154, 1988. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards. A Handbook, Federal Emergency Management Agency, Washington.

Gulay, Gulden et al., 2008, Calibration of P25 Scoring Method Developed for Earthquake Safety of Buildings and Pilot Zone Application, TUBITAK Project (106M278), Istanbul, 129p.

Hassan, Ahmed F. and Sozen, Mete A., Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes, *ACI Structural Journal*, January - February 1997. 31-39,



Işık E., Kutanis M., 2013 “Bitlis İlindeki Betonarme Binaların P25 Hızlı Tarama Yöntemi ile Değerlendirilmesi” BAÜ Fen Bilim Enstitü Dergisi 21-29p.

İnel M., Bilgin H., Ozmen H. B., May 2006 “Performance Evaluation of Existing Public Buildings "TMH - Turkey Engineering News / Issue 444-4445, 4- 5.17p

Japan Building Disaster Prevention Association, 1990, “Standart For Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings”, Tokyo. 8s.

Oztorun N. K., vd. 2004 “Integration of Durtes and General Purpose Finite Elements with Expert Computer Program for Rapid Detection of Structures” İMO Seventeenth Technical Congress and Exhibition.13s.

P. Gulkan, A. Yakut, H. Sucuoğlu, M. S. Yucemen, E. Çıtıptıoğlu, Damage Detection Form for Engineering Structures, Earthquake Engineering Research Center, ODTU, Ankara, (1994).

Sucuoğlu H and Yazgan U (2003) “Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment in Urban Building Stocks”

Wasti ST, Ozcebe G (ed.) of Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, Earth and Environmental Sciences, (29): 97-118.

Sucuoğlu H., October 2007 “Determination of Earthquake Risks in Urban Building Stocks by Street Scanning Method ”Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul

Tezcan S., Bal İ. E., Ozdemir Z., Kucuk F., September 2005 “How to provide “zero Kay loss of life in earthquake?”

Construction Site Construction Machinery and Architecture Magazine, Number: 232, Pg: 108-112.

Yakut A., 2012 “Rapid Seismic Assessment Procedures for Turkish Building Stock” Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies, Series Workshop Role of Research Infrastructures in Seismic Rehabilitation, February 2012, Istanbul.65p

Youd T L, Idriss I M, Andrus R D, Arango I, Castro G, Christian J T, Dobry R, Liam Finn W D, Harder L F, Hynes M E, Ishihara K, Koester J P, Liao S S C, Marcuson II W F, Martin G R, Mitchell J K, Moriwaki Y, Power M S, Robertson P K, Seed R B, and Sotokoe K H (2001) “Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10):817-833.

Tuysuz, Selim, 2007. Determination of Breakdown Risk of Reinforced Concrete Buildings by Rapid Assessment Methods: P25 Scoring Method, Master Thesis. Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.120p.



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 02.01.2020  
Kabul Tarihi : 29.01.2020

Received Date : 02.01.2020  
Accepted Date : 29.01.2020

### ZEOLİT MİNERALLİ FİLTRELİN DERİN KUYU SULARINDAKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

#### INVESTIGATION ON THE EFFECT OF ZEOLITE MINERALS FILTERS ON THE LEVEL OF RADIOACTIVITY IN DEEP WELLS

*Erdal KÜÇÜKÖNDER<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-9661-1583)*

*Nergiz BAŞA ÇETİN<sup>2\*</sup> (ORCID: 0000-0002-4120-4005)*

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Nergiz BAŞA ÇETİN, nergisbasa@gmail.com

#### ÖZET

Radon; Uranyum serisinden olan Radyum elementinin bozunmasıyla meydana gelen renksiz, kokusuz, tatsız radyoaktif bir gaz olup yer kabuğunu oluşturan çeşitli jeolojik yapı taşlarından difüzyon yoluyla yer altı sularına geçer. Sudaki radon aktivitesi, halk sağlığı açısından problem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde 12 farklı lokasyondan temin edilen 12 adet kuyu suyu örneği üzerinde karbon, bor ve zeolit minerali filtre kullanılarak sulardaki radyoaktivite seviyesinin azaltılması amaçlandı. Ayrıca zeolit mineralinin derin kuyu sularındaki radon gazı yayılımına olan etkisi araştırıldı ve bu etki ile yeni bir filtre önerisine yönelik çalışmalar yapıldı.

Yapılan çalışmada, su örnekleri filtre edilmeden ve filtre edildikten sonra içerdikleri radon gazı konsantrasyonları Durrige Rad 7 aktif ölçer ile ölçüldü, ölçüm sonucunda kullanılan zeolit katkılı filtrelerin radyoaktivite seviyesine etkisi gözlemlendi. Analizler sonucunda zeolit minerali filtrelerin ortalama Radon konsantrasyon değerleri  $0,00 \pm 1,8$  pCi/L ile  $49,9 \pm 33$  pCi/L olarak tespit edildi. Zeolit mineralinin absorpsiyon ve radyoaktif tutuculuğu özelliğinden dolayı zeolit katkılı filtrelerin radyoaktivite seviyesi genel olarak azaldığı gözlemlendi. Bu çalışmada bildirilen değerler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından açıklanan güvenlik limiti olan 100Bq/L ( $100 \text{ Bq/L} = 2702,70 \text{ pCi/L}$ )'nin oldukça altındadır.

**Anahtar Kelimeler:** durrige rad7, filtre, radon, radyoaktivite, zeolit.

#### ABSTRACT

Radon; It is a colorless, odorless, tasteless radioactive gas formed by the decomposition of the element Radium from the uranium series and diffuses from the various geological building stones that form the earth's crust into the groundwater. Radon activity in water is a problem for public health.

In this study, it was aimed to reduce the radioactivity level in the waters by using carbon, boron and zeolite mineral filters on 12 well water samples obtained from 12 different locations in Onikişubat district of Kahramanmaraş province. In addition, the effect of zeolite mineral on radon gas emission in deep well water was investigated and studies were made to propose a new filter with this effect.

In this study, the radon gas concentrations of water samples before and after filtration were measured with Durrige Rad 7 active meter, and the effect of zeolite doped filters on the radioactivity level was observed. As a result of the analyzes, the mean Radon concentration values of zeolite mineral filters were found to be  $0.00 \pm 1.8$  pCi / L and  $49.9 \pm 33$  pCi / L. Due to the absorption and radioactive properties of the zeolite mineral, the radioactivity level of zeolite doped filters was generally decreased. The values reported in this study are well below the 100Bq L<sup>-1</sup> ( $100 \text{ Bq/L} = 2702,70 \text{ pCi/L}$ ) safety limit set by the World Health Organization (WHO).

**Keywords:** durridge rad7, filter, radon, radioactivity, zeolite.

## GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bugüne dek yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonun etkisine maruz kalmaktadır. Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanır ve yaptığı etki bakımından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır (Akkurt, 2006; Uludağ, 2018) Doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyonun hücrelere nüfuz etme özelliğinden dolayı sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir (Özger, 2005).

Radyasyon adeta hayatımızın bir parçası, uzay ve/veya güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan doz %50 gibi bir paya sahip olup yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. İnsanlar, yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, yılda yaklaşık 2,4 mSv radyasyon dozuna maruz kalmaktadır (Unsear, 1988; Demirel, 2013)

Radon; Uranyum serisinden olan Radyum elementinin bozunmasıyla meydana gelen renksiz, kokusuz, tatsız radyoaktif bir gaz olup yer kabuğunu oluşturan çeşitli jeolojik yapı taşlarından difüzyon yoluyla yer altı sularına geçer. Su, canlılar için yaşam kaynağıdır. Bu sebeptendir ki suyun kaliteli olması ve insanlar için tehdit oluşturmaması istenir. Doğal su kaynakları, radyasyon açısından sağlığa zararlı doğal radyoaktif elementler içerir, dolayısıyla da bu durum, halk sağlığı bakımından oldukça önemli ve dikkat edilmesi gereken bir husustur (Harvath, 2000). Bu doğal radyoaktif çekirdeklerden <sup>222</sup>Rn, insanların içme sularını kullanmasıyla maruz kaldıkları radyasyon dozunun en büyük sebebidir (Oliveira, 2001). <sup>222</sup>Rn ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinden kaynaklanan radyasyon maruziyetinin kanser riskini artırdığı düşünülmektedir (Bonavigo and Zucchetti, 2008; Demirel, 2013, Kılıç, 2015, Gündoğan,2016).

Bu çalışmanın amacı, Kahramanmaraş şehrinde farklı lokasyonlardan temin edilen 12 adet kuyu suyu örneği üzerinde karbon, bor ve zeolit minerali filtre kullanılarak sulardaki radyoaktivite seviyesinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapıldı. Ayrıca zeolit mineralinin derin kuyu sularındaki radon gazı yayılımına olan etkisi araştırıldı ve bu etki ile yeni bir filtre önerisine yönelik çalışmalar yapıldı.

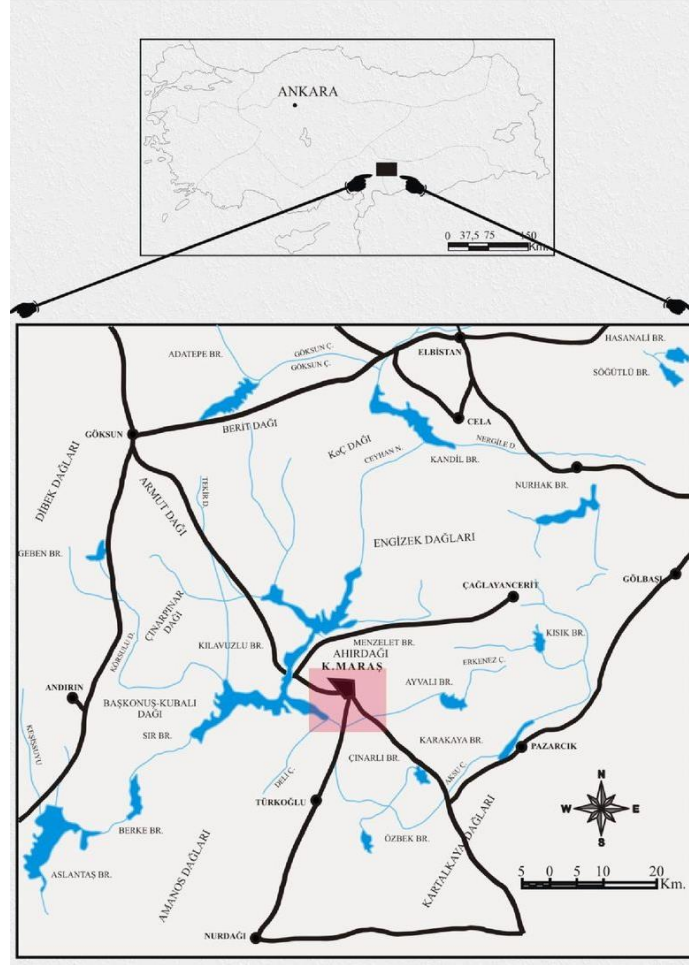
## MATERYAL VE METOT

### *Çalışma Alanının Tanıtılması*

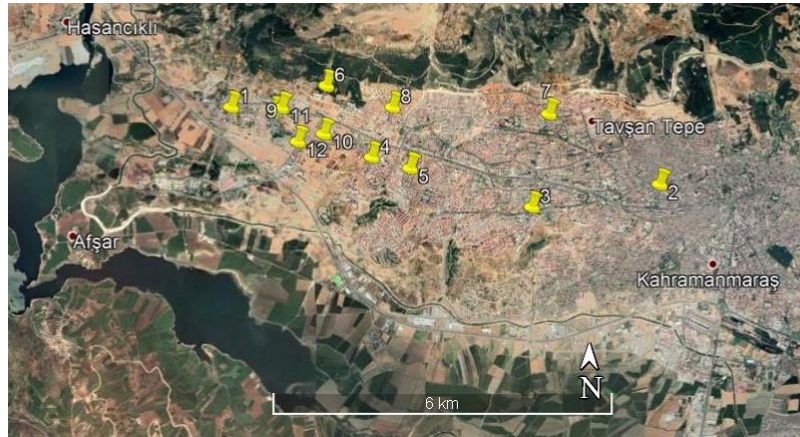
Kahramanmaraş, Akdeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri' nin birleştiği yerde bulunmaktadır. Güneybatısını Nur Dağları' nın uzantılarının kapladığı ilde diğer önemli yükseltiler Berit, Engizek, Binboğa, Delihöbek ve Ahır Dağları' dır. Kahramanmaraş, Elbistan ve Göksun Ovaları ilin önemli ovaları olup, Ceyhan nehri ile Aksu çayı önemli akarsularıdır (Kahramanmaraş Belediyesi, 2020).

Arabistan ve Anadolu levhalarının birbirleri ile kenetlendiği bir alanda yer alan Kahramanmaraş ili ve civarı, kıta kıta çarpışmasına bağlı olarak meydana gelen çeşitli olaylar nedeniyle jeolojik açıdan da oldukça karmaşık bir konuma sahiptir (Kop, 2010) . Bölgenin jeolojisi şist, serpantin, kireç taşı, kumtaşı, marn, konglomera, alüvyal ve kolüvyal depozitler içeren metamorfik ve sendiment kayalardan oluşmuştur. Toprakların tekstür yapıları killi, siltli-killi ve kumlu-siltli arasında değişir.

Kahramanmaraş'ın arazisi kireç taşı, kumtaşı ve metamorfik taşlar üzerine oluşmuştur. Toprakları kırmızı kahverengi, kırmızı Akdeniz, kahverengi orman toprakları, alüvyat, kolüvyat ve organik toprak gruplarından meydana gelmektedir (Kahramanmaraş Belediyesi, 2020). Kahramanmaraş'ın yer bulduru ve çalışma alanının haritası Şekil 1 ve 2' de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

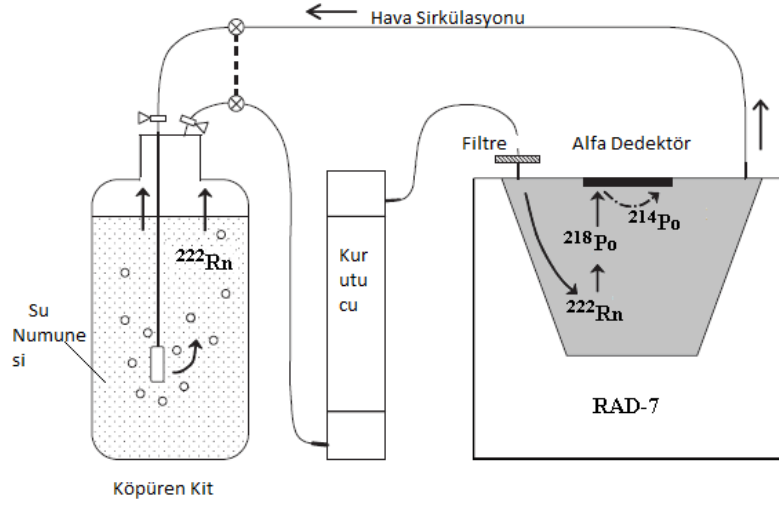


Şekil 2. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Earth)

### *Durridge RAD 7 Elektronik Radon Detektörü Algılayıcısı Ve Yapısı*

Rad7 cihazı, radon ve yan ürünlerine ait radyasyonu ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. Bu cihazla sulardaki radon ölçümleri yapılabilir.

Yapılan ölçüm sonuçlarında Bq/m<sup>3</sup> ve pCi/L cinsinden veren cihaz, aynı anda ölçüm yapılan ortamın sıcaklığını °C, atmosfer basıncını (mbar) ve nem oranını (% RH) da belirler. RAD7'nin Rad H<sub>2</sub>O aksesuarı şematik diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Rad H<sub>2</sub>O aksesuarı şematik diyagramı

Radon gazının yüzeye çıkması için önce RAD7 pompası çalıştırılır, yaklaşık 5 dakikalık zaman içerisinde su köpürmeye başlar ve suda çözülmüş olan radon gazı yüzeye ulaşır. Böylece radonun % 94 den fazlası sudan ayrılmış olur. Sistem 5 dakika bekledikten sonra önce ara rapor verir ve sayıma başlar. Dört periyotla sayım her 5 dakikada bir devam eder ve her ölçümde ara rapor verir. Ölçüm tamamlandıktan sonra bütün sayımların ortalama radon konsantrasyonu bir spektrum grafiğinde verilir. Böylece ölçtüğümüz su numunesindeki radon miktarını öğrenmiş oluruz (www.durridge.com).

### Zeolit

Deney çalışmalarında kullanılan su filtrelerinin hazırlanması amacıyla zeolit olarak Manisa Gördes yöresine ait doğal zeolit kullanılmıştır. Kullanılan zeolitın en büyük tane boyutu 4 mm seçilmiştir. Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorpsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur.(www. mta.gov.tr)

Bilinen 40'tan fazla doğal minerali vardır. Bunlardan en önemlileri klinoptilolit, höylandit şabazit, analsim, eriyonit, natrolit, fillipsit, mordenit'dir. Ayrıca 150'den fazla sentetik minerali de mevcuttur (Bilgin,2009).

Zeolitler, yüksek katyon değişirme kapasiteleri ve bazı iyonları daha seçici olarak değiştirebilme özellikleri sebebiyle su arıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Aktive edilmiş zeolitlerin uygun koşullarda kullanımı ile sulardan ve atık sulardan uzaklaştırılabilecek katyonlar Tablo 1'de gösterilmektedir (Bilgin, 2009).

Tablo 1. Doğal zeolitler ile sulardan ve atık sulardan uzaklaştırılabilecek katyonlar (Bilgin, 2009)

Rb <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Na <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cd <sup>+2</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Zn <sup>+2</sup>
Ba <sup>+2</sup>	Sr <sup>+2</sup>	Cu <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Hg <sup>+2</sup>

Mg<sup>+2</sup>Fe<sup>+3</sup>Co<sup>+3</sup>Al<sup>+3</sup>Cr<sup>+3</sup>

Çevre sağlığı açısından tehlike oluşturan bazı ağır metal katyonları içeren, madencilik ve metalurjik faaliyetlerden oluşan atık sular, doğal zeolitlerin katyon değiştirme özelliklerinden faydalanılarak arıtılabilmektedir. Ayrıca, pirometalurji sanayinde CaCO<sub>3</sub> ve doğal zeolit karışımı, Cu-Pb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanlan % 90 oranında yok edilmektedir ([www.dpt.gov.tr](http://www.dpt.gov.tr)).

Nükleer santral atıklarında bulunan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli olan Sr<sup>90</sup>, Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup>, Ca<sup>45</sup>, Cr<sup>51</sup> gibi izotoplar zeolitlerle tutulabilmektedir. Örneğin; klinoptilolit, mordenit ve şabazit birçok ülkede radyoaktif atıkların tutulmasında kullanılmaktadır. Bu şekilde atık sudan alınan radyoaktif atıklar, zeolit ile birlikte gömülerek zararsız hale getirilmektedir. Bu işlemlerde özellikle asitlere karşı dirançlı olmaları nedeniyle klinoptilolit ve mordenit kullanılmaktadır.

Suda sertlik meydana getiren Ca ve Mg iyonlarının uzaklaştırılması ile içme suyunun kalitesi yükseltilmektedir(Mumpton, 1978). Yer altı sularının özgül (spesifik) elektriksel iletkenliği bir cm<sup>3</sup> suyun 25° C'de iletkenliği olarak tanımlanır ve sıcaklıkta her 1°C'lik artış elektriksel iletkenliği yaklaşık %2 artırır. Elektriksel iletkenlik suyun çözünmüş tuz içeriğine bağlı olarak artar(Samsunlu, A, 1999; Bilgin, 2009). Doğal kaynak sularında önemli parametrelerden biri olan sertlik, sulara büyük oranda su içinde çözünmüş (+2) değerlikli katyonların, yani Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Sr<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup> içeriğinin bir sonucudur. Bu katyonlara karşı sertlikle ilgili HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup>, SiO<sub>3</sub><sup>=</sup> gibi anyonların bulunması da mümkündür. 0-75 mg/l CaCO<sub>3</sub> bulunan sular "yumuşak" ; 75-150 mg/l CaCO<sub>3</sub> bulunan sular orta derecede sert ve 150-300 mg/l CaCO<sub>3</sub> içeren sular sert, 300 mg/l CaCO<sub>3</sub>' in üzerinde ise "çok sert sular" olarak kabul edilmektedir. Ayrıca Ülkemizde en çok kullanılan sertlik derecelerinin mg CaCO<sub>3</sub>/L cinsinden değerleri: Fransız sertlik derecesi (Fr SD): 10mg/L; Alman sertlik 29 derecesi:17.8 mg/L; İngiliz sertlik derecesi: 14.3 mg/L'dir. Sertlik parametresi, suyun evsel ve endüstriyel kullanım için uygunluğunun belirlenmesinde kullanılır. Sert sular sabunun köpürmesini engelleyen ve temizlik için çok sabun kullanımını gerektiren sular olarak tanımlanır. Bu sular sıcak halde nakledildikleri boruların iç çeperlerinde veya kazanların içinde çökelti teşkil ederek ısı transferini güçleştirir ve boru içi akımın hidrolik koşullarını kötüleştirir. Hidrosferde suların sertliği yerel olarak değişim gösterir. Kural olarak yüzeysel sular, yer altı sularından daha yumuşaktır. Genel olarak, suyun sertliği, yağmur suyundan başlayarak izlediği yol boyunca temasta bulunduğu jeolojik yapıyla yakından ilgilidir(Samsunlu, A., 1999). pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir parametredir. pH su temininde kimyasal koagülasyon, su yumuşatma ve korozyonun önlenmesinde çok büyük önem taşımaktadır. pH ile asidite ve alkalinite arasında büyük bir ilişki bulunmaktadır. Doğal kaynak suyunda zeolit filtre kullanılarak, proses öncesi pH değeri 7.93'ten, 7.09'a düşürülerek, pH değerinde % 10.59 düşüş tespit edilmiştir. İletkenlikte %2.40 , sıcaklıkta % 3.70 düşüş belirlenmiştir. Zeolit filtreden geçirilmeden önce sertliği 6.2 Fr SD iken; on kez süzülmesinde son süzütünün sertliği ise 2.5 Fr SD olarak belirlenmiş yani sertlik değerinde % 59.67 düşüş sağlanmıştır. Zeolit filtre kullanılarak, suyun sertliği çok büyük oranda düşürülmektedir( Örgen, C., ve İnanç, İ., 2004; Bilgin, 2009).

**Tablo 2.** Klipnotilolite ait bazı özellikler (Kocakuşak ve ark. 2001)

<b>Kimyası</b>	[(Na <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> , Ca) <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>30</sub> O <sub>72</sub> 24 H <sub>2</sub> O] Hidrate, sodyum, potasyum, kalsiyum aluminosilikat
<b>Sınıfı</b>	Silikatlar
<b>Alt-sınıfı</b>	Tekno silikat
<b>Grubu</b>	Zeolit
<b>Renk</b>	Renksiz, beyaz, pembe, sarı, kırmızımsı ve açık kahverengi
<b>Parlaklığı</b>	Camsı, inci gibi

<b>Işık geçirgenliği</b>	Saydam, yarısaydam
<b>Kristal sistemi</b>	Monoklinik 2/m
<b>Sertliği</b>	3.5-4 (yüzeyde daha yumuşak)
<b>Özgül ağırlığı</b>	2.2 (çok hafif)
<b>Kullanımı</b>	Kimyasal filtre, moleküler elek, kimyasal adsorban, su arıtma, tarım- hayvancılık

Deneylerde kullanmış olduğumuz zeolit grubu klipnotilolit'dir. Zeolit grubunun içerisinde en yararlı ve sağlıklı olarak tercih edilenler arasındadır. Tıp sektöründe de oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir.

Tıp alanında doğal hücrel savunma (yapılarına iyon değişimi ile Ag yerleştirildiğinde antibakteriyel madde),

-Diyaliz sıvılarının rejenerasyonunda,

-Florid içerikli diş pastasında parlaticı madde,

-Doğal zeolitte kanser riskini azaltma özelliği,

-Güçlü bir antioksidan işlevi,

-Ağır metallerin sistemden çıkarılmasına yardımcı,

-Diyarenin meydana gelmesini azaltıcı(Liu B, Yan F, Kong J, Deng J. Anal., 1999).

-Sindirim yolunda besin maddesinin emilimini geliştirici,

Sindirimsel pH'yi dengeler ve böylece asit geri akışını azaltıcı,

-Geniş spektrumlu anti-viral ajan olarak kullanılırlar.

-Bazı zeolit türleri enzimler ve medyatörleri koimmobilize ederek biyolojik sensör hazırlayabilirler(Dyer A, Morgan S, Wells P, Williams CJ.,2000).

-Klinoptilolit ile muamele edilen değişik tümörlerde bazı iyileşmeler görülmüştür(Keeting PE, Oursler MJ, Wiegand KE, Boude SK, Spelsberg TC, Riggs BL., 1992).

-Silisyumun kemik kalsifikasyonunda fizyolojik etkisi olduğu ileri sürülmektedir. Zeolitlerde bol miktarda bulunan Si kemik sağlığının iyileştirilmesinde kullanılabilir. (Rodriguez-Fuentes G, Barrios MA, Iraizoz A, Perdomo I, Cedre B., 1997).

- Karaciğer hastalıklarının tedavisinde kullanılır (Chuikova R, Vozhakou SV., 2005).

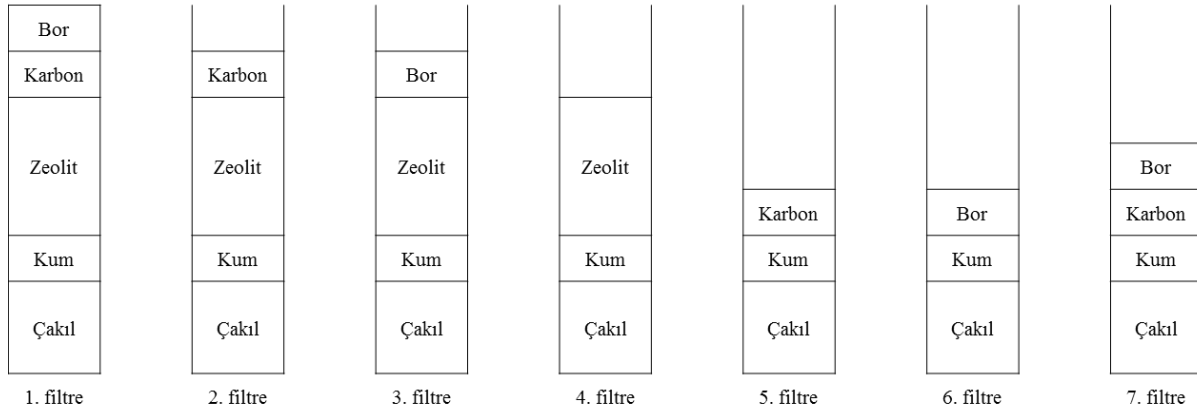
-Ağızdan alındığında mukozadan emilmez. Mide ve oniki parmak bağırsağındaki 1.5 ve 8.1 gibi çok farklı pH değerlerinde bile ağır metalleri absorbe edebilir ve dışkı ile gastrointestinal sistemden uzaklaştırır. pH 1.5' da demir ve civayı absorbe eder, pH 8.1'de ise kurşun, civa, amonyum ve demir absorbe edilir (Karadağ D., vd., 2006).

## **Deneysel Çalışma**

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde 12 farklı lokasyondan temin edilen 12 adet kuyu suyu örnekleri tek kullanımlık steril 5 lt'lik polietilen şişelere alındı ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatıldı. Alınan su örnekleri etiketlendikten sonra laboratuvar ortamına getirildi ve uygun laboratuvar şartları altında depolandı.

0.5 lt'lik polietilen şişelerin ağız kısımları kesildi ayrıca su akışını sağlamak için iğne yardımıyla taban kısmında belirli aralıklarla delikler açıldı. Taban kısma öncelik olarak malzeme kaçışını önlemek için 0.8 cm kalınlığında sünger çekildi. Üzerine sırasıyla belirli gramajlarda çakıl, kum, zeolit, karbon ve bor minerali koyuldu. Kullanılan malzemelerin gramajları sabit tutulup sıraları değiştirilerek toplamda 7 adet filtre yapıldı (Şekil 4). Kuyulardan almış olduğumuz su örnekleri bu filtrelerden teker teker geçirildi.

Yapılan çalışmada, su örnekleri filtre edilmeden ve filtre edildikten sonra içerdikleri radon gazı konsantrasyonları DurrIDGE Rad 7 aktif ölçer ile ölçüldü.



Şekil 4. Filtrelere birer örnek

Tablo 3. Filtre bileşiminde kullanılan malzemelerin miktarları

Kullanılan Malzeme	Ağırlığı (gr)	Tane boyutu (mm)
Çakıl	90±0,1	2-4
Kum	30±0,1	0-5
Zeolit	100±0,1	2-4
Karbon	20±0,1	2-4
Bor	30±0,1	1.00





Şekil 5. Filtrelerden örnek gösterimi

## BULGULAR VE TARTIŞMA

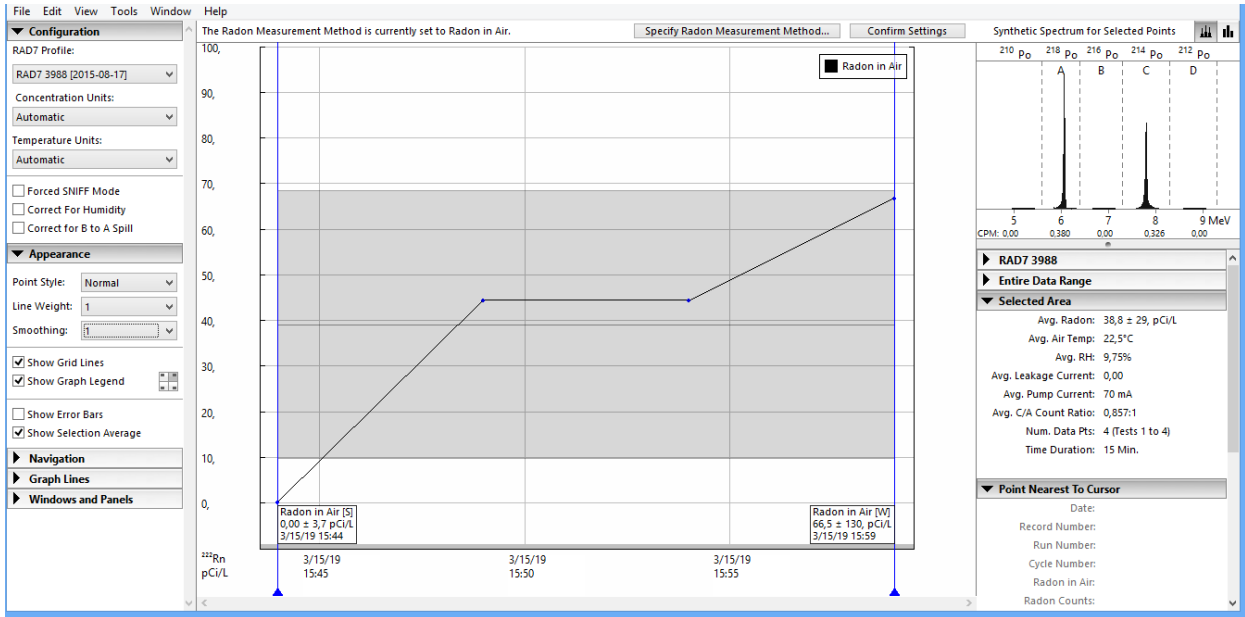
Yapılan çalışmada, su örnekleri filtre edilmeden ve filtre edildikten sonra içerdikleri radon gazı konsantrasyon değerleri Tablo 4 ve Şekil 6, 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

**Tablo 4.** Su Örneklerinin Filtre Edilmeden Ve Filtre Edildikten Sonra İçerdikleri Radon Gazı Konsantrasyon

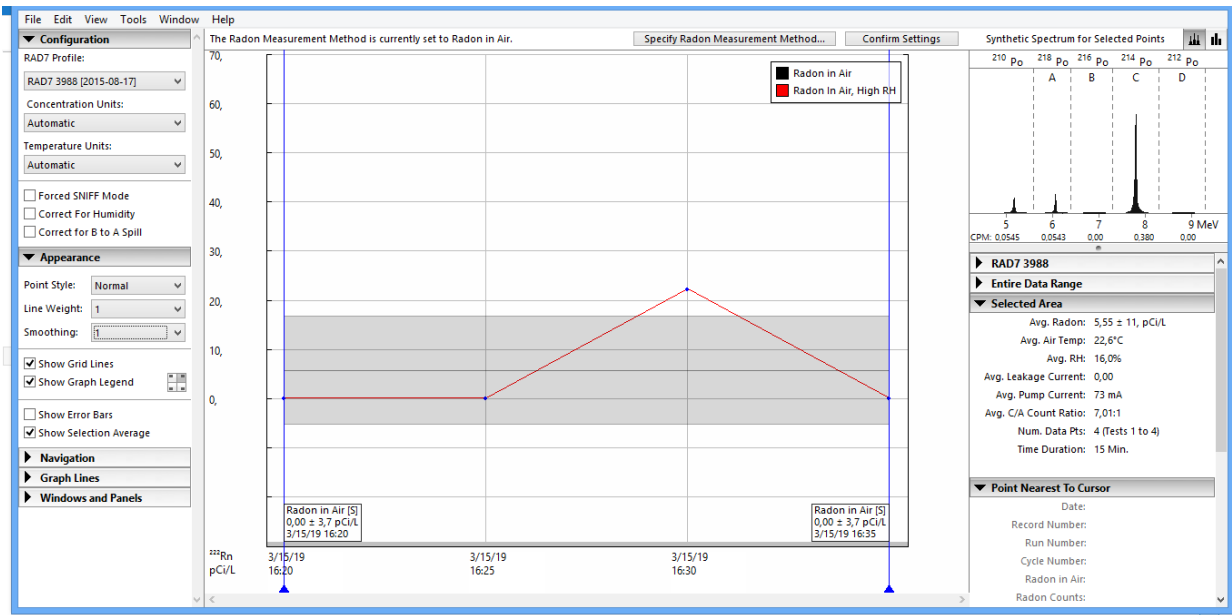
Kuyu No	Bina Adı	Örnek Alınan Mahalle	Kuyu Derinliği (m)	Filtre No	Değerleri				
					1.Değer (pCi/l)	2.Değer (pCi/l)	3.Değer (pCi/l)	4.Değer (pCi/l)	Ort. (pCi/l)
1	Bekir Bey	Üngüt	35	<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>44,4±120</b>	<b>11,1±16</b>
				1.1.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	5,55±11
				1.2.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	44,4±120	16,6±19
				1.3.	22,2±110	22,2±110	66,5±130	66,5±130	44,4±31
				1.4.	0,00±3,8	0,00±3,7	0,00±3,7	110±150	27,4±25
				1.5.	22,2±110	0,00±3,7	22,1±110	0,00±3,8	11,1±16
				1.6.	66,9±130	22,1±110	44,1±120	22,2±110	38,8±29
				1.7.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	44,4±120	16,6±19
				<b>Şahit Numune</b>	<b>22,2±110</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>5,55±11</b>
				2.1.	22,2±110	0,00±3,7	22,2±110	66,5±130	27,7±25
2	Ahmet Bey	Karamanlı	40	2.2.	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	22,2±110	22,2±22
				2.3.	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	22,2±110	16,6±19
				2.4.	44,4±120	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	22,2±22
				2.5.	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	16,6±19
				2.6.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	44,4±120	11,1±16
				2.7.	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	22,2±110	11,1±16
				<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>44,4±120</b>	<b>11,1±16</b>
				3.1.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	11,1±16
3	Hilal Sitesi	Şehit Abdullah Çavuş	197	3.2.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	22,2±110	16,6±19
				3.3.	111,1±150	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	38,8±29

				3.4.	44,4±120	0,00±3,7	44,4±120	22,2±110	27,7±25
				3.5.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	5,55±11
				3.6.	0,00±3,7	44,4±120	22,2±110	22,2±110	22,2±22
				3.7.	0,00±3,7	66,5±130	0,00±3,7	22,2±110	22,2±22
				<b>Şahit Numune</b>	<b>22,2±110</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>22,2±110</b>	<b>66,5±130</b>	<b>27,7±25</b>
				4.1.	22,2±110	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	22,2±22
				4.2.	22,2±110	22,2±110	22,2±110	44,4±120	27,7±25
4	Zekeriya Köy-2	Yirmiikigün	170	4.3.	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	0,00±3,7	16,6±19
				4.4.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	11,1±16
				4.5.	0,00±3,7	44,4±120	0,00±3,7	44,4±120	22,2±22
				4.6.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	22,2±110	16,6±19
				4.7.	44,4±120	22,2±110	0,00±3,7	44,4±120	27,7±25
				<b>Şahit Numune</b>	<b>22,2±110</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>22,2±110</b>	<b>22,2±110</b>	<b>16,6±19</b>
				5.1.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	5,55±11
				5.2.	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	16,6±19
5	Yeşilvadi Sitesi	Yirmiikigün	100	5.3.	44,4±120	44,4±120	0,00±5,2	22,2±110	27,7±26
				5.4.	0,00±3,8	22,1±110	22,1±110	0,00±3,8	11,0±16
				5.5.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	11,1±16
				5.6.	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	66,5±130	22,2±22
				5.7.	0,00±3,7	0,00±3,7	44,4±120	0,00±3,7	11,1±16
				<b>Şahit Numune</b>	<b>22,2±110</b>	<b>0,00±8</b>	<b>22,2±110</b>	<b>22,2±110</b>	<b>16,6±21</b>
				6.1.	22,2±110	0,00±3,7	44,4±120	44,4±120	27,7±25
				6.2.	44,4±120	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	16,6±19
6	Panorama West	Cumhuriyet	230	6.3.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	11,1±16
				6.4.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	66,5±130	27,7±25
				6.5.	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	5,55±11
				6.6.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	11,1±16
				6.7.	0,00±3,7	44,4±120	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>44,4±120</b>	<b>44,4±120</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>22,2±22</b>
				7.1.	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±1,8
				7.2.	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	5,55±11
7	İpekyolu Evleri	Hürriyet	180	7.3.	0,00±3,7	44,4±120	22,2±110	0,00±3,7	16,6±19
				7.4.	22,2±110	22,2±110	66,5±130	22,2±110	33,3±27
				7.5.	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	16,6±19
				7.6.	22,2±110	44,4±120	0,00±3,7	44,4±120	27,7±25
				7.7.	22,2±110	22,2±110	22,2±110	44,4±120	27,7±25
				<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>44,4±120</b>	<b>44,4±120</b>	<b>66,5±130</b>	<b>38,8±29</b>
				8.1.	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	5,55±11
				8.2.	0,00±3,7	66,5±130	66,5±130	0,00±3,7	33,3±27
8	Seyirtepe Konutları	Süleymanşah	120	8.3.	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	5,55±11
				8.4.	44,4±120	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				8.5.	0,00±3,7	66,5±130	88,7±140	22,2±110	44,4±31
				8.6.	22,2±110	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	22,2±22
				8.7.	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16

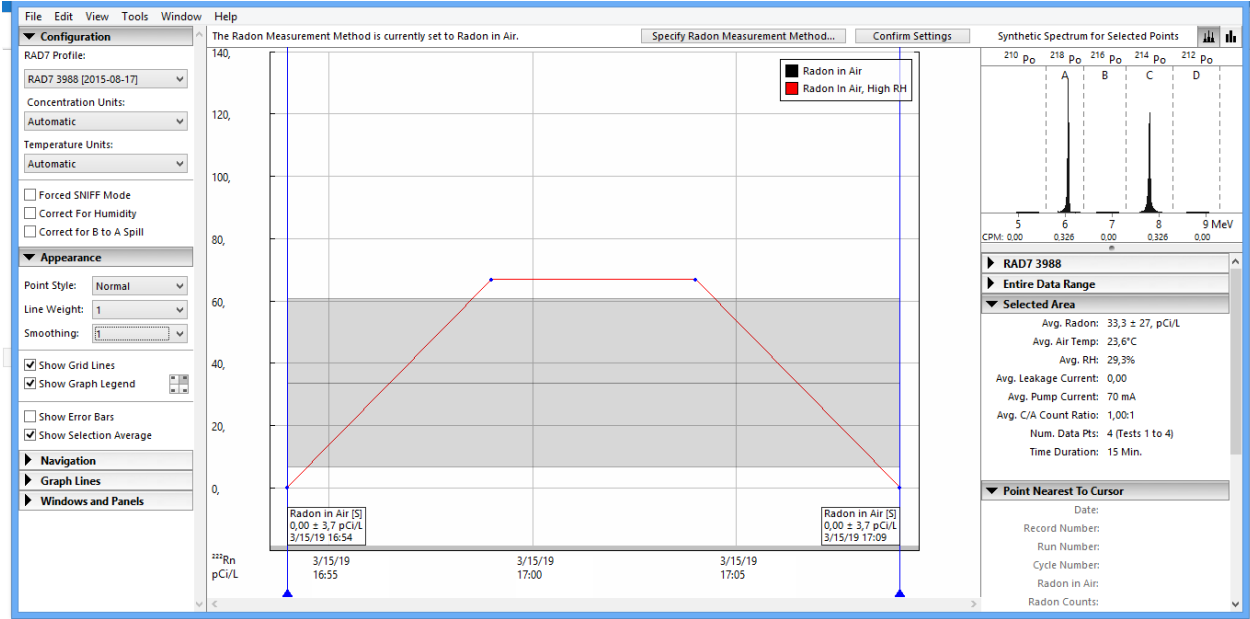
9	Ahmet Kısacık	Üngüt	20	<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>44,4±120</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>11,1±16</b>
				9.1.	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				9.2.	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	11,1±16
				9.3.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	5,55±11
				9.4.	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	11,1±16
				9.5.	0,00±3,7	22,2±110	66,5±130	22,2±110	27,7±25
				9.6.	0,00±3,7	44,4±120	22,2±110	0,00±3,7	16,6±19
				9.7.	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	44,4±120	27,7±25
				<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>22,2±110</b>	<b>22,2±110</b>	<b>22,2±110</b>	<b>16,6±19</b>
10	Nevin Hanım	Üngüt	60	10.1.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	5,55±11
				10.2.	0,00±3,7	66,5±130	66,5±130	0,00±3,7	33,3±27
				10.3.	0,00±3,7	22,2±110	66,5±130	22,2±110	27,7±25
				10.4.	0,00±5,2	22,2±110	44,4±120	44,4±120	27,7±28
				10.5.	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±3,6	0,00±1,8
				10.6.	22,2±110	22,2±110	66,5±130	22,2±110	33,3±27
				10.7.	22,2±110	0,00±3,7	44,4±120	44,4±120	27,7±25
				<b>Şahit Numune</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>22,2±110</b>	<b>22,2±110</b>	<b>44,4±120</b>	<b>16,6±19</b>
11	Kadir Bayırlı	Üngüt	50	11.1.	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	44,4±120	16,6±19
				11.2.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	22,2±110	16,6±19
				11.3.	0,00±3,7	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	11,1±16
				11.4.	22,2±110	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	16,6±19
				11.5.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	22,2±110	5,55±11
				11.6.	44,4±120	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				11.7.	0,00±3,7	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	5,55±11
				<b>Şahit Numune</b>	<b>44,4±120</b>	<b>22,2±110</b>	<b>0,00±3,7</b>	<b>88,7±140</b>	<b>38,8±29</b>
12	Zekeriya Köy-3	Yamaçtepe	120	12.1.	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				12.2.	0,00±3,7	44,4±120	22,2±110	22,2±110	22,2±22
				12.3.	22,2±110	22,2±110	0,00±3,7	0,00±3,7	11,1±16
				12.4.	66,5±130	66,5±130	22,2±110	44,4±120	49,9±33
				12.5.	44,4±120	44,4±120	0,00±3,7	22,2±110	27,7±25
				12.6.	0,00±3,7	0,00±3,7	0,00±3,7	44,4±120	11,1±16
				12.7.	0,00±3,7	44,4±120	0,00±3,7	66,5±130	27,7±25



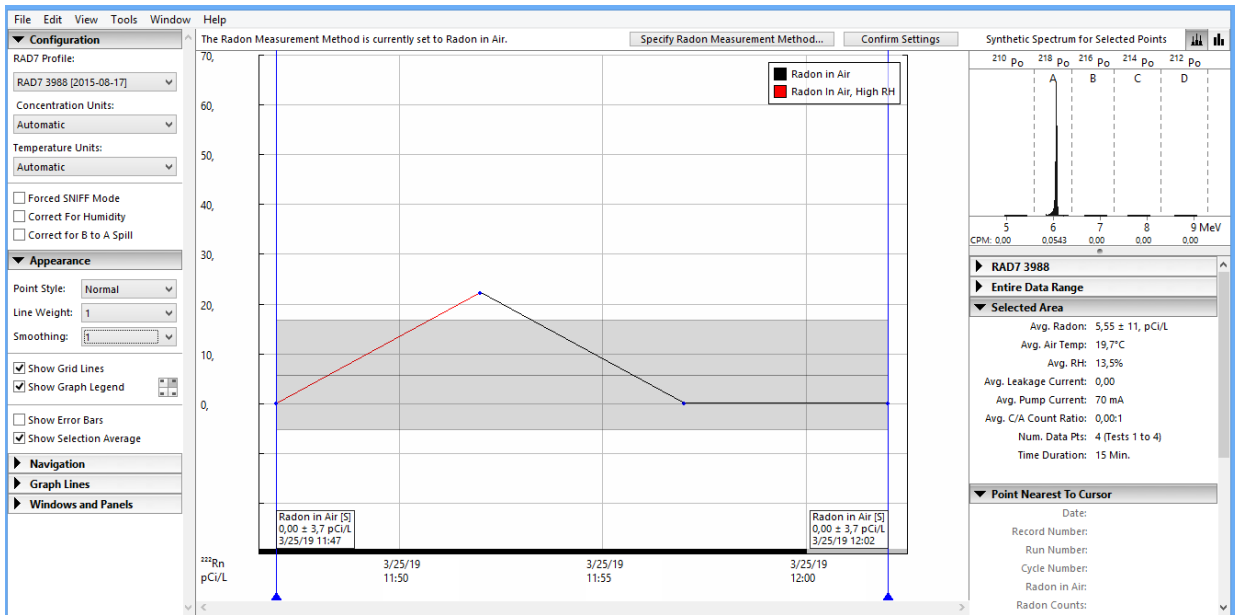
Şekil 6. 8 no'lu şahit numunenin radon konsantrasyon değerleri



Şekil 7. 8.1. no'lu numunenin radon konsantrasyon değerleri



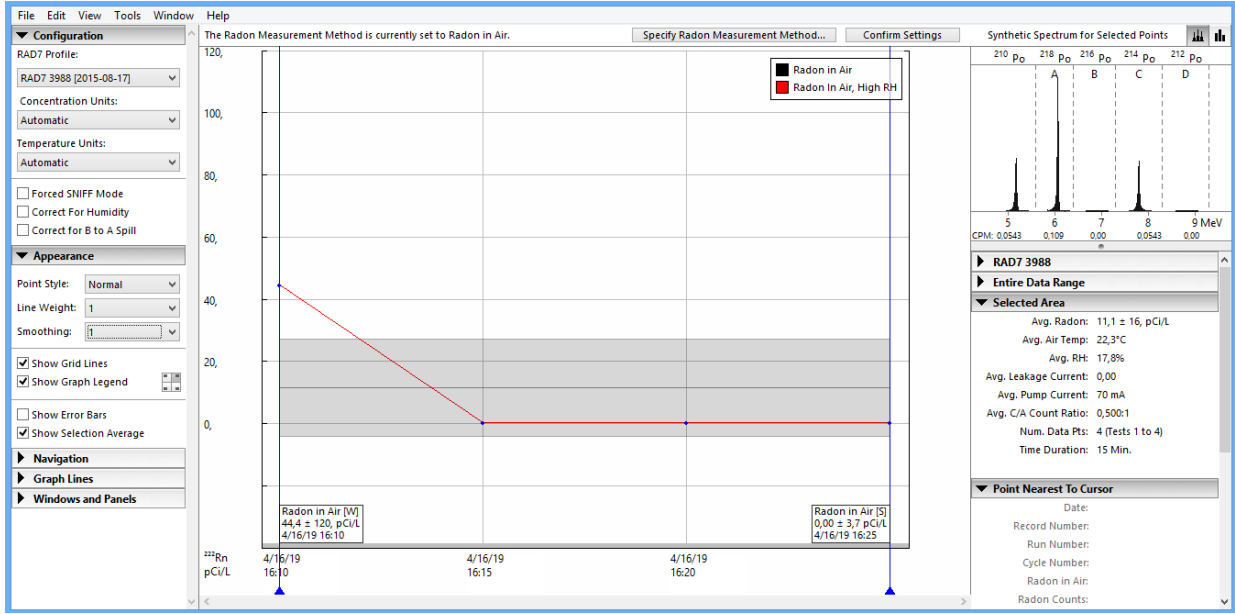
Şekil 8. 8.2. no'lu numunenin radon konsantrasyon değerleri



Şekil 9. 8.3. no'lu numunenin radon konsantrasyon değerleri

1 numaralı kuyunun derinliği diğer kuyuların derinliğinden daha küçük olmasına rağmen şahit numuneye oranla 6 no'lu filtrede (çakıl-kum-bor) değer  $38,8 \pm 29$  pCi/l yüksek çıktığı tespit edilmiştir. 1 no'lu filtrede ise (çakıl-kum-zeolit-karbon-bor) zeolit katkılı olduğundan dolayı  $5,55 \pm 11$  pCi/l birinci kuyu için en düşük değer gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda zeolit mineralinin referans numuneye oranla azaldığı gözlemlenmiştir. En düşük radon konsantrasyon değeri 7.1. no'lu numunede  $0,00 \pm 1,8$  pCi/l olarak bulunmuştur. En yüksek değer ise 12.4 no'lu kuyuda  $49,9 \pm 33$  pCi/l olarak tespit edilmiştir. 7 no'lu kuyunun derinliği 12 no'lu kuyuya nazaran daha yüksektir. Yerin altına doğru inildikçe her 33 metrede  $1^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte

ortama salınan radon gazında artış görülmektedir. Fakat 12 no'lu kuyudaki derinliğin fazla olmasına rağmen radon konsantrasyonunun daha düşük çıkmasında zeolit katkısının etkisinden söz etmek mümkündür.



Şekil 10. 8.4. no'lu numunenin radon konsantrasyon değerleri

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde 12 farklı lokasyondan temin edilen 12 adet kuyu suyu örneği üzerinde karbon, bor ve zeolit mineralli filtre kullanılarak sulardaki radyoaktivite seviyesinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapıldı.

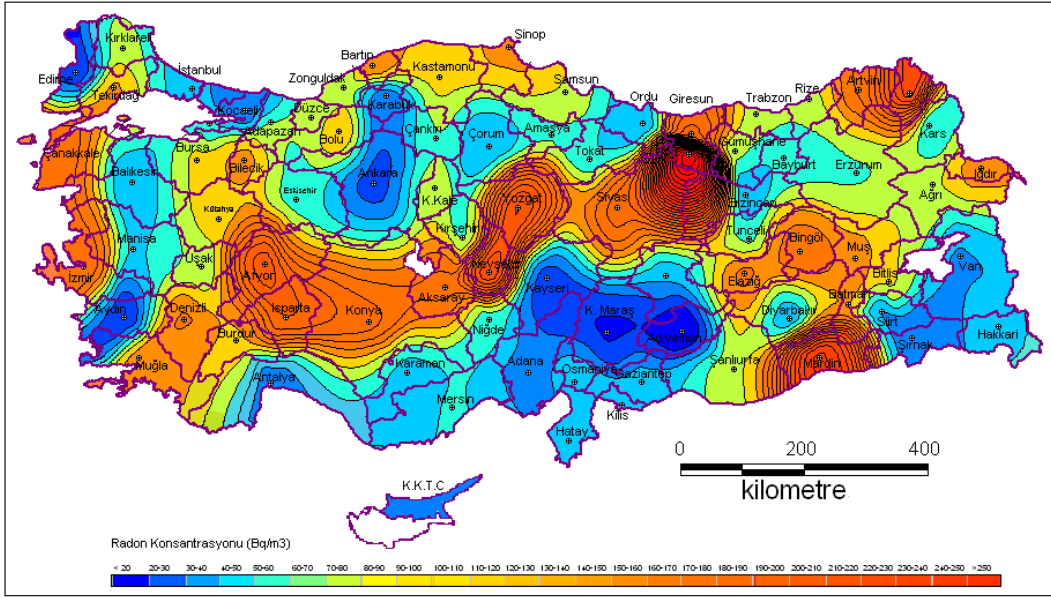
Yapılan çalışmada, su örnekleri filtre edilmeden ve filtre edildikten sonra içerdikleri radon gazı konsantrasyonları Durridge Rad 7 aktif ölçer ile ölçüldü, ölçüm sonucunda kullanılan zeolit katkılı filtrelerin radyoaktivite seviyesine etkisi gözlemlendi.

Analizler sonucunda zeolit mineralli filtrelerin ortalama Radon konsantrasyon değerleri  $0,00 \pm 1,8$  pCi/L ile  $49,9 \pm 33$  pCi/L olarak tespit edildi.

Zeolit mineralinin iyon değiştirme, absorpsiyon ve radyoaktif tutuculuğu özelliğinden dolayı zeolit katkılı filtrelerin radyoaktivite seviyesi genel olarak azaldığı gözlemlendi. Deneyde kullanmış olduğumuz zeolit çeşidi doğal klinoptolit olup en yararlı zeolit türüdür. İnsan sağlığı açısından problem teşkil etmemektedir. Zeolit'in 40'a aşkın çeşidi mevcuttur. Bunlar içerisinde zararlı, istemediğimiz morfolojik olarak iğnemsiz ve lifli yapıya sahip erionit türü mezotelyomalı hastalardan alınan akciğer dokularında da görülmüştür. Sağlık açısından problem teşkil ettiği için erionit tercih edilmemektedir. Klinoptolit ile erionit birbirleri ile karıştırılmaması önerilir.

Radon gazı coğrafi bölgenin, jeolojik yapısıyla da yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Sedimanter topraklarda ise radon konsantrasyonu düşüktür. Bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de az miktarda olsa da radona rastlanmaktadır. Ayrıca yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslar da sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir [30,2]. Kahramanmaraş'ın arazisi kireç taşı, kumtaşı ve metamorfik taşlar üzerine oluşmuştur. Bu sebeptendir ki bulunan

değerlerin düşük çıkmasında bölgenin jeolojik yapısının etkisinden söz etmek mümkündür. Ayrıca Türkiye genelinde de radon konsantrasyon dağılımına baktığımızda Kahramanmaraş ilinin en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Türkiye radon gazı haritası (URL 6)

Sonuç olarak bu çalışmada bildirilen değerler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından açıklanan güvenlik limiti olan  $100\text{Bq l}^{-1}$ 'nin ( $100\text{Bq/L} = 2702,70\text{ pCi/L}$ ) oldukça altındadır. Halk sağlığı açısından tehdit oluşturmamaktadır.

## KAYNAKLAR

Akkurt, A. 2006. Afyon Jeotermal Sularında Radon ( $\text{Rn-222}$ ) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 57 s.

Bilgin, Ö. 2009. Gördes Zeolitlerinin Hammaddesel Özelliklerinin İncelenmesi Ve Değişik Sektörlerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Dokuz Eylül , Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 173 s.

Bonavigo, L. & Zucchetti, M. 2008. Dose Calculation due to underground exposure: the Tav tunnel in Valle Di Susa. Fresenius Environmental Bulletin, 17: 1476-1479.

Chuikova, K. I., & Vozhakov, S. V. (2005). Assessment of efficacy of the drug litovit as a novel pathogenetic modality in acute virus hepatitis. Terapevticheskii arkhiv, 77(11), 29-31.

Demirel, S. 2013. Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında  $^{222}\text{Rn}$  Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 83 s.

Dyer, A., Morgan, S., Wells, P., & Williams, C. (2000). The use of zeolites as slow release anthelmintic carriers. Journal of helminthology, 74(2), 137-141.

Gündoğan, A. 2016. Kilis İli Sularında Radon Gazı Ölçümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63 s.

Horvath, A., Bohus, L. O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A., & Greaves, E. D. (2000). Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. Journal of environmental radioactivity, 47(2), 127-133.

Keeting, P. E., Oursler, M. J., Wiegand, K. E., Bonde, S. K., Spelsberg, T. C., & Riggs, B. L. (1992). Zeolite a increases proliferation, differentiation, and transforming growth factor  $\beta$  production in normal adult human osteoblast-like cells in vitro. *Journal of Bone and Mineral Research*, 7(11), 1281-1289.

Karadag, D., Koc, Y., Turan, M., & Armagan, B. (2006). Removal of ammonium ion from aqueous solution using natural Turkish clinoptilolite. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3), 604-609.

Kılıç, Ö. 2015. Bitlis Kaynak Sularında Radon Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Semineri, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kop, A. 2010. Faylarla İlişkili Jeotermal Alanlarda Radon Gazı Ölçümlerinin Önemine İlişkin Bir Örnek, Hartlap Kaplıcası, Kahramanmaraş, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 23, S. 1, SS. 39-52.

Kocakuşak, S., Savaşçı, Ö. T., & Ayok, T. (2001). Doğal zeolitler ve uygulama alanları. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Rapor No: KM, 362.

Liu, B., Yan, F., Kong, J., & Deng, J. (1999). A reagentless amperometric biosensor based on the coimmobilization of horseradish peroxidase and methylene green in a modified zeolite matrix. *Analytica chimica acta*, 386(1-2), 31-39.

de Oliveira, J., Mazzilli, B. P., de Oliveira Sampa, M. H., & Bambalas, E. (2001). Natural radionuclides in drinking water supplies of Sao Paulo State, Brazil and consequent population doses. *Journal of environmental radioactivity*, 53(1), 99-109.

Örgev, C., & İnanç, İ. (2004). Doğal zeolit'in doğal kaynak sularında pH, iletkenlik ve sertlik özelliklerinin düzenleyicisi olarak kullanımı. *Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, BİYOMUT*. İstanbul, TÜRKİYE.

Özger, A.G. (2005). Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana. 93 s.

Rodriguez-Fuentes G, Barrios MA, Iraizoz A, Perdomo I, Cedre B. Enterex: antidiarrheic drug based on purified natural clinoptilolite. *Zeolites* 1997;19:441-8.

Samsunlu, A. (1999). Çevre Mühendisliği Kimyası. (4. baskı). Sam çevre teknolojileri merkezi yayınları, s: 120, 177, İstanbul.

Unscar, 1988: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York.

Uludağ, N. (2018). Şile-Kandıra-İzmit Bölgesindeki Kaynak Sularında Radon Gazının İncelenmesi Ve Sakarya Üniversitesi Radon Farkındalık Anketi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76 s.

URL 1: <https://durridge.com/products-overview/> Erişim tarihi 19.12.2019.

URL 2: <https://kahramanmaras.tarimorman.gov.tr/Menu/25/Kahramanmaras> Erişim tarihi 01.01.2020.

URL 3: <https://kahramanmaras.bel.tr/kahramanmaras/sehir-tanitimi>. Erişim tarihi 01.01.2020.

URL 4: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/zeolit>. Erişim tarihi 01.01.2020.

URL 5: <https://www.google.com/search/kahramanmaras+yer+bulduru+haritası> Erişim tarihi 01.01.2020.

URL6: <https://www.haber61.net/turkiye-nin-dogal-radyoaktivite-zonlari-ve-cevre-etkileri-makale,3383.html> Erişim tarihi 19.11.2019.





# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 19.01.2020  
Kabul Tarihi : 20.02.2020

Received Date : 19.01.2020  
Accepted Date : 20.02.2020

### DİYARBAKIR İLİNDE FARKLI SEKTÖRLERDEN KAYNAKLANAN KARBONDİOKSİT SALINIMININ HESAPLANMASI

### CALCULATION OF CARBON DIOXIDE RELEASE FROM DIFFERENT SECTORS IN DIYARBAKIR PROVINCE

Gülşad USLU ŞENEL\*<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0002-5304-9436)

Teknur ATABEY<sup>2</sup>(ORCID: 0000-0002-24104-4071)

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü, 23100 Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup> Çevre Yüksek Mühendisi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: *Gülşad USLU ŞENEL*, [guslu@firat.edu.tr](mailto:guslu@firat.edu.tr)

#### ÖZET

İklim değişikliği, dünya var olduğundan bugüne kadar yaşanan doğal bir süreç olarak kendini göstermektedir. Ancak sanayi devrimiyle birlikte insan faaliyetlerinin de iklimi değiştiren önemli faktörlerin basında gelmesi, durumun doğal bir süreç olarak değil, büyük bir çevre felaketi haline dönüşmesine neden olmuştur.

Bu çalışmada, küresel ısınmanın bir sonucu olan iklim değişikliği sorunun ne olduğu ve Diyarbakır' da ki olası etkilerinin neler olabileceği incelenmiştir. Emisyon hesaplamaları sırasında IPCC tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılmıştır. İnsan faaliyetleri sonucunda açığa çıkan sera gazlarının içinde büyük oranda CO<sub>2</sub> gazı bulunmasından dolayı, özellikle CO<sub>2</sub> gazlarının analizi üzerinde durulmuştur. Hesaplamalar sonucunda yakıt tüketimlerinin artması sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonlarının hızla arttığı gözlemlenmiştir. Antropojenik sera gazı üretiminde önemli bir pay ulaştırma sektörüne aittir. Ulaştırma sektöründeki alt gruplar içinde en büyük emisyon kaynağının karayolu olduğu bilinmektedir. Karayolu emisyonlarının toplam içinde oran olarak azalmasında havayolu ulaşımının kullanımındaki artış etken olmuştur. Ancak karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon miktarı sürekli artış göstermeye devam etmektedir.

Elde edilen bulgular ışığında, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, toplu taşıma araçlarının kullanımının artması, karayolu dışında alternatif ulaşım gruplarının kullanılması, trafik akımının düzenlenmesi, yakıt tüketimlerine göre vergilendirmeye gidilmesi ve araç performanslarının iyileştirilmesini sağlayacak yasal düzenlemeler getirilmesi ile özellikle karayolu kaynaklı emisyonlarda belirgin bir iyileşme sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** : İklim değişikliği, sera gazı, karbon salınımı.

#### ABSTRACT

Climate change has shown itself as natural process lived since the world was formed. But with the industry revolution, human activities are the head of the important factors which change climate. So this situation caused changing from natural process to a huge environment calamity.

In this study, what the climate change problem is and what the possible effects are in Diyarbakır are examined. Greenhouse gas emissions are calculated by using the methodologies explained as Tier approaches which are recommended by the IPCC. Due to the fact that the great amount of greenhouse gases as a result of human activities is CO<sub>2</sub> emissions, this study focuses on the analysis of the CO<sub>2</sub> emissions. As a result of the calculations, it is observed that the amount of CO<sub>2</sub> emissions has increased rapidly due to the increase in total fuel consumption. Transportation sector has significant effects on anthropogenic production of greenhouse gases. It is known that the road transport is the main source of greenhouse gases. As a result of increased use of air transportation, the rate of emissions produce by road transport has decreased. However, the amount of greenhouse gases produced by road transportation continues to rise.

According to the data obtained, some solutions can be suggested, low fuel consumption, using the alternative energy resources, increasing the use of public transportation systems, creating new transportation options alternative to road transport, regulating the traffic, adapting supplementary taxation system for high fuel consumption, approval of legal arrangement for optimizing the vehicle performance.

**Keywords:** Climate change, greenhouse gases, carbon emissions

## GİRİŞ

Kontrolsüz bir şekilde artan dünya nüfusu ve her geçen gün gelişerek büyüyen sanayileşme faaliyetleri, dünya atmosferine salınan gaz miktarının artmasına sebep olmaktadır. Dünyanın İklim Sistemi, eksen eğikliği gibi dünyanın kendi iç dinamikleri ve dış faktörlerin etkisi sonucu oluşmaktadır. Volkanik faaliyetler, okyanus akıntıları, güneş ışınları gibi doğal dış faktörlerin yanı sıra insan faaliyetlerinin atmosferin bileşimi üzerindeki etkileri de dış faktörleri oluşturur. İklim sistemi, yerkürenin yaklaşık 4.5 milyar yıllık jeolojik tarihi boyunca, milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde değişme eğilimi göstermiştir. Son yapılan çalışmalara göre, atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikimi yaklaşık 280±10 ppm dolaylarında değişen bir dalgalanma göstermiştir (Kılıç vd., 2004).

19. yüzyılın ortalarından (sanayi devriminden) itibaren, iklimdeki doğal değişikliklere ek olarak, ilk kez insan etkinliklerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Özellikle fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaşma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleri sonucunda, atmosferdeki sera gazı birikimleri hızla artış göstermiştir. Sonuç olarak küresel ortalama hava sıcaklıklarının geçen yüzyılda 0.4 ile 0.8 °C arasında arttığı bilinmektedir. Bu ısınma, geçen 1000 yılın herhangi bir dönemindeki artıştan daha büyük ve dikkat çekicidir. Can ve Baygüven (2004) Küresel iklimde gözlenen ısınmanın yanı sıra, en gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 döneminde 1.4 ile 5.8 °C arasında bir artış olacağını öngörmektedir. Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların artması gibi dünya ölçeğinde sosyoekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir.

Buradan çıkışla, en büyük küresel sorunlardan biri olarak karşımıza çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği, çözüm arayışları ile birlikte acil önlemler almayı gerektirmektedir. Ülkemiz, küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının azaltılması konusunda, sorumlulukların ülkelere adil ve hakkaniyet ilkeleri çerçevesinde dağıtılması ve bu küresel problemle mücadelede ülkelerin kendi imkânları ölçüsünde üzerine düşen görevleri yerine getirmesi gerektiğine inanmaktadır. İklim değişikliğinin; kuraklık, kıtlık, göç gibi etkileri de dikkate alındığında bu son derece önemli çevre sorununun; ekonomik ve uluslar arası işbirliğini gerektiren önemli bir sorun olduğu görülmektedir. İklim değişikliği 21. yy'ın baskın sosyoekonomik politika konularından biri haline gelmiştir. Bu nedenle atmosferdeki sera gazı birikimini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek düzeyde durdurmayı amaçlayan ve bu amaca yönelik olarak bazı hedefler belirleyerek bu hedeflere ulaşmak için izlenecek stratejileri gösteren çeşitli yaklaşımlar, küresel işbirliği çerçevesinde geliştirilmiştir. 1992 Rio Zirvesi'yle başlayan ve 1992 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve 1997 Kyoto Protokolü ile devam eden süreçte, sorunun çözümüne yönelik önemli adımlar atılmıştır. Özellikle Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği gibi oluşumların "Doğal kaynakların gelecek kuşakların yaşam hakkını tehlikeye sokmadan, bugünden rasyonel yönetimini sağlayarak kalkınma" anlayışını benimseyerek "sürdürülebilir üretim ve tüketim" çerçevesinde politikalarını şekillendirmeleri atılan adımların temelini oluşturmuştur. İklim değişikliğinin zararlı etkilerinin önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması, yapılacak çalışmaların daha verimli olabilmesi, kamu ve özel sektör kurum ve kuruluşları arasında koordinasyon ve görev dağılımının sağlanması ve bu konuda ülkemizin şartları da dikkate alınarak uygun iç ve dış politikaların belirlenmesi amacıyla 2001/2 sayılı Genelge ile oluşturulmuş ve 2004/13 sayılı Genelge ve 2010/18 sayılı Genelge ile yeniden düzenlenmiş olan İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu, 2012/2 sayılı Genelge ile Çevre ve Şehircilik Bakanı'nın Başkanlığında, Bilim, Sanayi ve Teknoloji, Dışişleri, Ekonomi, Enerji ve Tabii Kaynaklar, Gıda, Tarım ve Hayvancılık, Kalkınma, Maliye, Orman ve Su İşleri, Sağlık ve Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlıklarının Müsteşarları, Hazine Müsteşarı, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) Başkanı ile Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği (TÜSİAD) Genel Sekreterinin katılımıyla yeniden yapılandırılmıştır. Ülkemiz, 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine 189. taraf olarak katılmıştır. Bu çerçevede ihtiyaç duyulan çalışmaların

yapılabilmesi amacıyla alt çalışma grupları oluşturulmuştur. Bu çalışma gruplarından biri de Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu'dur. Bu çalışma grubunun koordinatör kurumu Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) olup üyeleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Üretim A.Ş., üniversiteler ve ilgili özel kurum/kuruluşlardır. 18 Mayıs 2004 tarihinde Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE /TÜİK) Başkanlığınca gerçekleştirilen toplantı ile, emisyon hesaplamalarında IPCC 1996 rehberinde önerilen metodolojinin kullanılacağı kararlaştırılmıştır. Türkiye, 2009 yılında da Kyoto Protokolü'ne de taraf olmuştur. Sözleşmenin Ek-1 ülkesi olarak Türkiye, Montreal Protokolü ile kontrol edilemeyen seragazi emisyonları ile yutaklarını Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metodolojisi ile hazırlayıp, ulusal seragazi emisyon envanterini BMİDÇS Sekreteryası'na göndermekle yükümlüdür. Türkiye'nin, 1990-2004 yılları için hazırlanan ilk Ulusal Sera gazı Emisyon Envanteri Raporu ve Genel Raporlama Formatı (CRF) tabloları 2006 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Sekreteryası'na gönderilmiştir. Bu çalışmadaki amaç, İnsan hayatı, canlı çeşitliliği ve ekolojik sistem için vazgeçilmez niteliği olması sebebiyle temiz havanın kullanılmasında ve korunmasında birinci önceliğe ve öneme haiz olan; hava kirliliğini artıran etmenleri ortaya koyan genel bir çatı sunmak, Küresel ısınmaya önemli oranda etkisi olan fosil yakıtların tüketimi sonucu, ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının içinde yapılan araştırmada, en büyük paya sahip olan CO<sub>2</sub> üzerinde özellikle durularak, karbon salınımının Diyarbakır İline ait kaynaklarının tespiti; miktar ve değerlerinin belirlenmesi ile karbon ayak izlerinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplamalarda IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından önerilen metotlar kullanılmıştır. Bu kapsamda IPCC Tier 1 metoduyla ve daha detaylı hesaplamaya imkân tanıyan Tier 2 metodu ile hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca çevre yönetimi konularında ISO14001 ve Karbon Ayak İzi hesaplamalarında ise ISO 9001:2008 sertifikalı Kalite Yönetim Sistemi olan Carbon Footprint Ltd. şirketine ait online hesap makinesi bazı birincil ve ikincil Karbon ayak izi hesaplarında kullanılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, nüfus ve gelişmişlik açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük şehirlerinden biri olan Diyarbakır İlinin ulaşım, barınma, enerji, atıklar ve diğer etkenler dolayısıyla meydana gelen karbon dioksit gazı emisyonlarının saptanması ve Diyarbakır İlinin karbon ayak izinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Karbon ayak izinin belirlenmesi için ildeki trafikte bulunan araçların sayısı ve kayıtlı araçların yakıt durumu, Diyarbakır İlinin 2011-2013 yıllarında aylara bağlı olarak hava kirliliği verileri gibi veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplamalarında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır (IPCC, 2006) ve IPCC klavuzunda belirtilen 3 ayrı hesap yöntemi ongormektedir. **Tier 1 yönteminde** Ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ve sadece varsayılan emisyon faktörleri ile yapılan hesaplamalar, **Tier 2 yönteminde** Ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı, yakıt karakteristiğine bağlı olarak belirlenmiş ülkeye veya belirli bölgelere göre belirlenen özel emisyon faktörleri, yakma teknolojileri bilgilerini kullanarak yapılan hesaplamalar, **Tier 3 Yönteminde ise** Yakıt istatistikleri ve yakma teknolojisine göre belirlenmiş teknolojiye bağlı emisyon faktörleri, daha fazla detaylı verilerin olduğu yakma tesislerinin ısı güçleri, beslenme tipi vb bilgilerin kullanılarak yapılan hesaplamalardır. Tier 3 yönteminin daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyması ve istenilen dokümanlara ulaşılamaması nedeniyle bu çalışmada sadece Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımı kullanılmıştır (IPCC, 2006).

## SONUÇLAR

Diyarbakır İli üç yıllık emisyon envanteri çalışmasında, verilerin elde edilebilmesi kaydıyla, 2010-2012 yılları arasında hesaplamalar yapılmıştır. Burada belirleyici olan faktör, temel verilerin resmi makamlardan alınabilmesidir.

### *CO<sub>2</sub> Emisyonu Hesaplanması*

Tier 1 metodu ile emisyon hesaplamalarında İlk aşamada Diyarbakır' ın tüm ulaştırma sektörlerindeki yakıt tüketim değerleri belirlenmektedir. Burada yakıt tüketim değerleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan dokümanlardan elde edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Diyarbakır İli 2010-2012 Yılları Arasında Her Sektörün Yakıt Kullanımı (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

YIL	KARAYOLU (L)			HAVAYOLU (L)	
	Benzin	Motorin	LPG	Jet Yakıtı	Benzin
2012	8823582	130613999	44434768	18948750	0
2011	10024709	121021831	38550377	23256938	0
2010	10401628	112358617	36133952	19276356	0

Yakıt tiplerine göre tüketim değerleri (ton biriminde) her sektör için belirlendikten sonra, uygun olan dönüşüm faktörü ile çarpılmıştır. Böylece tüketilen yakıtın enerji içeriğine veya enerji tüketimi birimine (TJ) geçilmiş olur.

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/kt]} \quad (1)$$

Bir sonraki adımda karbon emisyon faktörleri yardımıyla, tüketilen yakıtın karbon içeriği bulunur. Burada uygun olan karbon emisyon faktörleri seçilip (TJ enerji birimi başına ton karbon içeriği), Denklem 1'de bulunan enerji tüketimi değeri ile çarpılıp, yakıtın karbon içeriği bulunur. Ardından bu değer  $10^{-3}$  ile çarpılarak IPCC tarafından kullanılan Gg (gigagram) birimine geçilir.

$$\text{Karbon İçeriği [t C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [t C/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \quad (2)$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [t C]} \times 10^{-3} \quad (3)$$

Dördüncü adımda, oksitlenen karbon yüzdesi (oksitlenme oranı) değerleri yardımıyla, ne kadar karbonun yanma sırasında oksidasyona uğradığı hesaplanır. Petrol ürünlerinde, sıvı yakıtlar 0,99 gaz yakıtlarda ise 0,995 oranında oksitlenmektedir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [Gg C]} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (4)$$

Son olarak CO<sub>2</sub> emisyonunu bulmak için, CO<sub>2</sub> ve karbonun mol ağırlıklarının oranından yararlanılır. CO<sub>2</sub>'in mol ağırlığı 44, karbonun mol ağırlığı 12 olduğu için, Denklem 4 ile bulunan karbon emisyonu değeri 44/12 oranı ile çarpılarak gerçek CO<sub>2</sub> emisyonu değeri elde edilir.

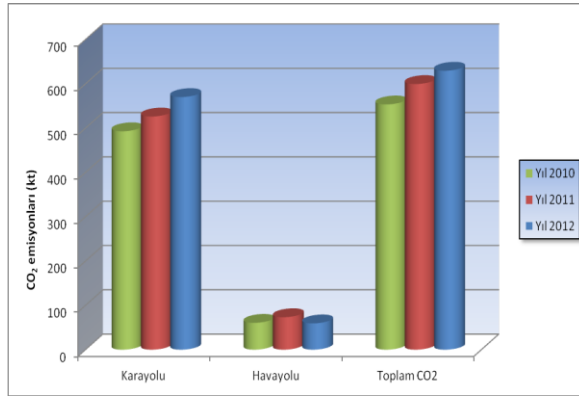
$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg CO}_2] = \text{Karbon Emisyonu [Gg C]} \times (44/12) \quad (5)$$

Bu şekilde yapılan hesap ile 2012 yılında, karayollarında tüketilen 8.823.582 lt benzin, 27,12 Gg CO<sub>2</sub> emisyonu vermektedir. Bu da 0,27 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonuna eşittir.

### *Diyarbakır' da Farklı Sektörlerden Kaynaklanan Emisyonların Değişimlerinin İncelenmesi*

Diyarbakır İli' nde ulaştırmadan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımı her geçen yıl artmaktadır. Şekil 1 Havayolu Ulaşımında satılan jet yakıtı göre yapılmıştır. Yakıt miktarının 2012 yılında azalmasının sebebi alanın belli bir süre kapatılarak bakıma alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

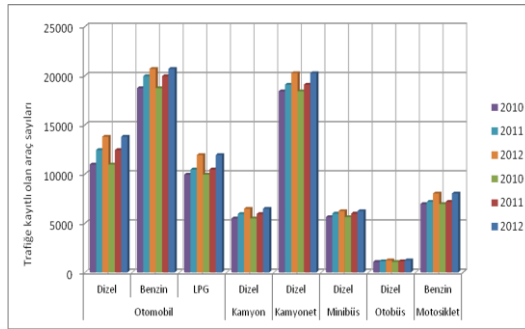
Diyarbakır İli'nde . Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları (kt) Şekil 1'de, trafiğe kayıtlı olan araç sayıları Şekil 2'de, Karayollarından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt) ise Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 2 ve Tablo 2'den de görüldüğü gibi ilde otomobil türü araçlarda benzin ve dizel kullanımının azaldığı LPG kullanımının ise arttığı görülmektedir. Azalan dizel ve benzin yakıtıyla doğru orantılı olarak bu yakıt tipli araçlarda CO<sub>2</sub> salınımının da azaldığı görülmektedir. Benzinli otomobillerden, dizel otomobillerden, LPG'li otomobillerden kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, dizel kamyon kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, dizel kamyonet kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, dizel minibüs kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, dizel otobüs kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı ve benzinli motosiklet kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı Şekil 3'te verilmiştir. Özellikle Diyarbakır İli'nde kamyon, otobüs ve kamyonetlerin CO<sub>2</sub> salınımından büyük oranda sorumlu olduğu söylenebilir. Benzilli otomobillerin yakıt tüketim değerlerinin iyileşmesiyle birlikte, açığa çıkardıkları CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma görülmektedir. Ayrıca bu otomobillerin daha az yakıt tüketme eğilimleri ve kullanıcıları tarafından daha az kullanılarak gittikleri mesafelerin kısalmış olması, açığa çıkardıkları CO<sub>2</sub> emisyonları benzinli otomobil sayısına oranlanırsa, bu emisyonların değerinin azaldığı görülmektedir.



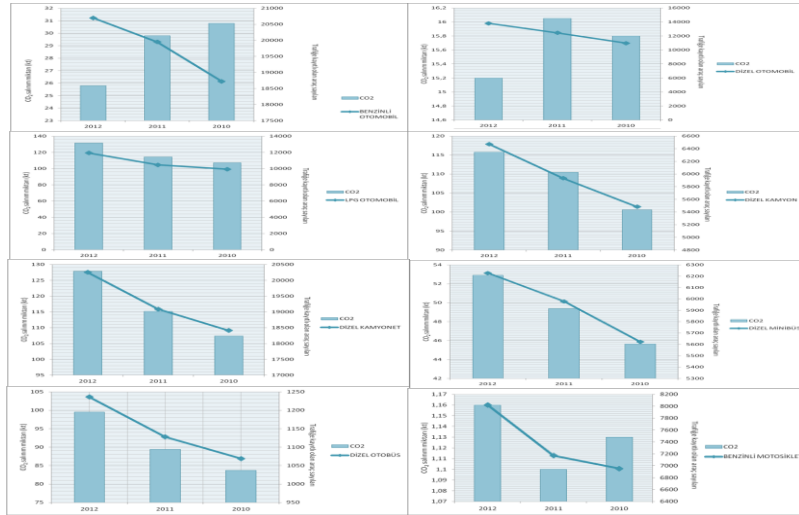
Şekil 1. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan CO<sub>2</sub> Emisyonları (kt)

Tablo 2. Karayollarından Kaynaklanan CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Araç Gruplarına Göre Dağılımı (kt)

YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2012	25,8	15,2	131,78	115,75	127,87	52,9	99,5	1,16
2011	29,5	16,05	114,40	110,5	115,2	49,4	89,4	1,1
2010	30,79	15,8	107,27	100,6	107,37	45,65	83,7	1,13

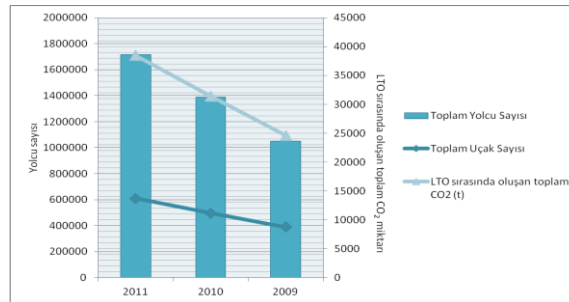


Şekil 2. Diyarbakır İli Trafikçe Kayıtlı Olan Araç Sayıları

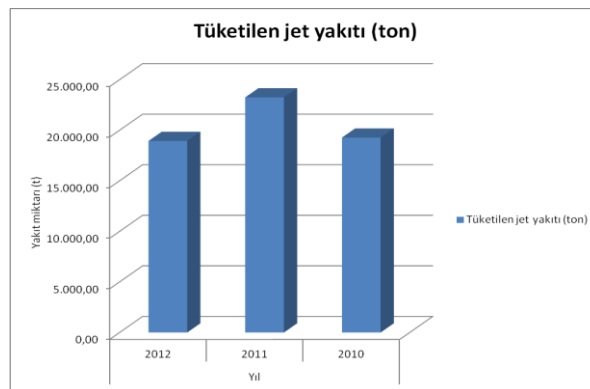


Şekil 3. Diyarbakır İli'nde Trafikten Kaynaklı CO<sub>2</sub> Salınımı

Yurtiçi havacılıkta toplan yakıt tüketimi; LTO (landing-take off) ve Cruise olmak üzere iki aşamada değerlendirilmektedir. Her uçak tipi için Emisyon Faktörleri kullanılarak LTO ve Cruise kaynaklı emisyonlar hesaplanmaktadır. Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların hesabında, 1996 ve 2006 IPCC Kılavuzunda önerilen metotlar kullanılmaktadır. LTO sırasında oluşan toplam CO<sub>2</sub> (kt) miktarı Şekil 4'de, yurt içi uçuşlarda tüketilen jet yakıtı (t) ise Şekil 5'de verilmiştir. Yakıt tüketimlerinin artmasıyla orantılı olarak CO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır. Ancak bu artış 2011 yılı için 115,2 kt olan dizel kamyonetlerden kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımının yanında oldukça küçük kalmaktadır.

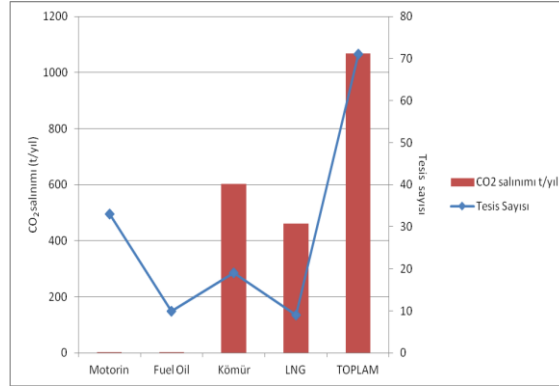


Şekil 4. LTO Sırasında Oluşan Toplam CO<sub>2</sub> (kt) Miktarı



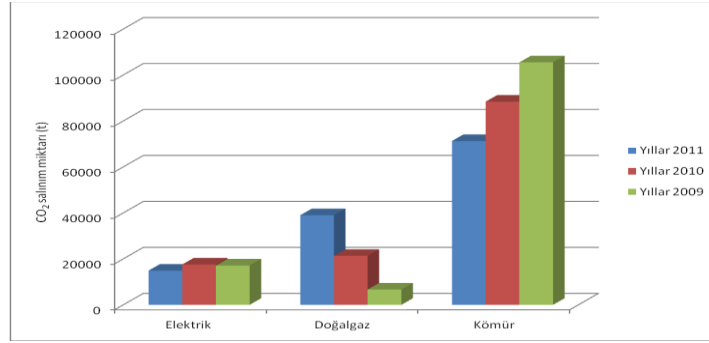
Şekil 5. Yurt İçi Uçuşlarda Tüketilen Jet Yakıtı (t)

Diyarbakır İlinde bulunan ve Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan Endüstriyel Tesislerinin emisyon raporlarında bulunan hesap ve bilgiler baz alınarak sera gazı (CO<sub>2</sub>) salınımlarının 2012 yılı için hesaplaması yapılmıştır. Tesislerin yakıt tüketimleri büyük oranda motorin, kömür, fuel oil'dir. Diyarbakır İli Endüstriyel İşletmelerden kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Diyarbakır İli Endüstriyel İşletmelerden Kaynaklı CO<sub>2</sub> Salınımı

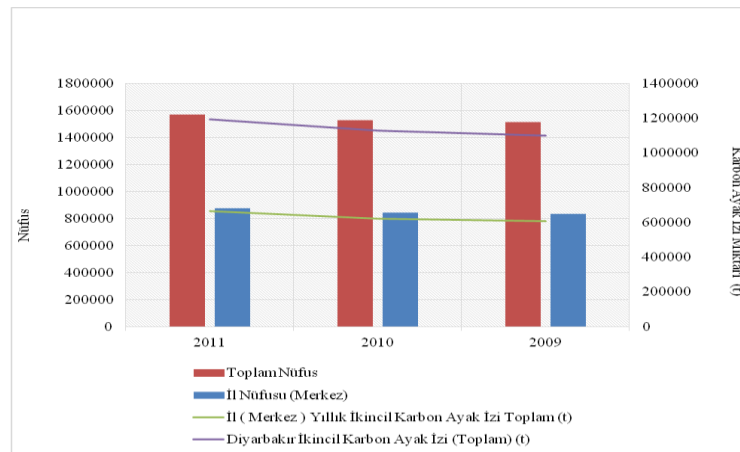
Şekil 6' dan da görüldüğü gibi Diyarbakır İli' nde motorin yakıtı kullanan endüstriyel işletme sayısı fazla olduğu halde motorin kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı oldukça azdır. Kömür ve LNG kullanan tesis sayısı motorine göre oldukça az olmasına rağmen, CO<sub>2</sub> salınımı açısından yüksek oranlardadır. Bu yakıt türünü kullanan Endüstriyel İşletmelerin CO<sub>2</sub> salınımı açısından daha az kirlilik boyutu olan farklı yakıt türlerine yönlendirilmeleri gerekmektedir. Diyarbakır İli yakıt türüne göre CO<sub>2</sub> salınımları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Diyarbakır İli Yakıt Türüne Göre CO<sub>2</sub> Salınımları

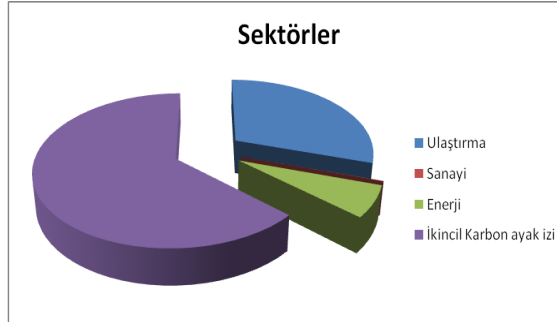
İlde CO<sub>2</sub> salınımı açısından en önemli rolün 2006' dan sonra hızla yaygınlaşan doğalgaz kullanımına rağmen kömüre ait olduğu görülmektedir. Ancak sevindirici olan yön, kömür kullanımının ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> salınımının her geçen gün azaldığıdır. Elektrikten kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımında nüfusa göre hesaplama yapılmış ve resmi kurumlardan kaynaklı elektrik hesaba katılmamıştır.

İlde her geçen yıl ikincil karbon ayak izinin arttığı dolayısıyla Diyarbakır da tüketimin yıl geçtikçe arttığı söylenebilir (Şekil 8).



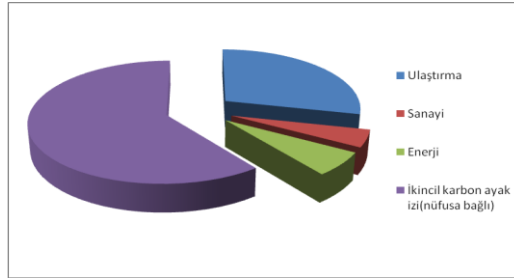
Şekil 8. Diyarbakır İli Yıllara Göre İkincil Karbon Ayak İzi

Diyarbakır İline ait karbon salınımında en önemli payın ikincil karbon ayak izi bir başka deyişle tüketimden kaynaklanan karbon salınımı olduğu görülmüştür. Tüketim fazlalığına rağmen Diyarbakır da sanayinin ve sanayiden kaynaklı karbon salınımının ikincil karbon ayak izine oranla oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Ulaştırma sektörünün de CO<sub>2</sub> salınımında yüksek payı vardır (Şekil 9).



Şekil 9. Diyarbakır İli CO<sub>2</sub> Salınımının Sektörlere Göre Dağılımı

Sanayide kullanılan 173376006 kWh faturalanmış elektrik enerjisinden kaynaklanan 90155,5 ton CO<sub>2</sub> sanayi sektörüne eklenirse grafik Şekil 10'da görüldüğü gibi değişir. Ancak Şekil 9 ve Şekil 10' a konut ve sanayide kullanılan faturalanamayan elektrik enerjisi bilgisine ulaşılamadığından bu enerjiden kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımı eklenememiştir. Faturalanamayan elektrik enerjisi miktarının faturalanan elektrik enerjisi miktarı ile eşit ya da daha fazla olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 10. Sanayide Kullanılan Elektrik Enerjisinin Diyarbakır İli CO<sub>2</sub> Salınımına Etkisi

TÜİK' in Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metodolojisi ile hazırlayıp, BMİDÇS Sekreteryası'na göndermekle yükümlü olduğu raporlardan sonuncusu olan 1990-2009 ulusal sera gazı emisyon envanterine göre Türkiye' nin tüm sera gazı emisyonlarının CO<sub>2</sub> eşdeğeri cinsinden 2009 yılı için yaklaşık olarak 370 milyon ton olduğu bilinmektedir. Diyarbakır' ın 2010 yılına ait (diğer sera gazları dikkate alınmadan) sadece CO<sub>2</sub> salınımı ise 1,7 milyon ton, 2011 yılı ise yaklaşık 1,9 milyon tondur. Diyarbakır İli' nde Orman ve Su İşleri Müdürlüğü'nden direkt alınan ve Tablo 3' te verilen verilere göre 2011 yılında dikilen fidan ve tohum sayısı yaklaşık olarak 2398 ağaç ve bu ağaçların her birinin ömür boyu yaklaşık olarak 0,73 ton CO<sub>2</sub> emdiği bir başka deyişle yaklaşık olarak yılda 12 kg CO<sub>2</sub> emdiği bilindiğine göre sadece 2011' de dikilen ağaçların gelişmiş olduğu kabul edilerek o yıl içerisinde 28,776 ton CO<sub>2</sub> soluduğunu toplamda ise her yıl 92,208 ton CO<sub>2</sub> emilimi yaptığı göz önüne alınarak Diyarbakır İline ait 2011 yılı CO<sub>2</sub> salınımı bertarafının tamamını ağaçlarla yapılması durumunda sadece Diyarbakır da 2,5 milyar ağacın olması gerektiği ve bu nedenle ağaçlandırma işlemlerinin artırılmasının önemi açıkça görülmektedir.



**Tablo 3.** Diyarbakır İli' Ne Ait Dikilen Fidan Ve Tohum Sayısı (Orman ve Su Bakanlığı, 2013)

Yıllar	2009	2010	2011	Toplam (2002-2011 yılları arası)
Dikilen fidan ve tohum (adet)	425	1253	2398	7684

2007 yılında Boğaziçi Üniversite'sinin yaptığı araştırmada Güneydoğu Anadolu' da ulaşımdan kaynaklı kişi başına düşen CO<sub>2</sub> salınımı 133 kg olarak tespit edilmiştir. Diyarbakır İli' ne ait 2010 yılı ulaşımdan kaynaklı kişi başına düşen CO<sub>2</sub> salınımı ise 362 kg olarak bulunmuştur. Bu veriler gün geçtikçe CO<sub>2</sub> salınımının arttığını göstermektedir.

### ÖNERİLER VE TARTIŞMA

İnsan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan ve atmosferdeki miktarları sanayi devriminden günümüze kadar hızla artmış olan sera gazı emisyonlarının ısı tutma kapasiteleri nedeniyle küresel ısınmaya neden oldukları bilinmektedir. Bu çalışmada, Diyarbakır dan kaynaklanan sera gazları içerisinde en önemli paya sahip olan CO<sub>2</sub> emisyonları kaynakları ve miktarları tespit edilmeye çalışılmıştır. Emisyon hesaplamaları sırasında IPCC tarafından önerilmiş olan metodoloji kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre CO<sub>2</sub> emisyonlarında en büyük payın kamyonetlere ait olduğu bulunmuştur. 2012 yılında CO<sub>2</sub> emisyonları içinde, kamyonlar % 21 paya sahipken, benzinli otomobiller % 4,5 paya sahiptir. Otomobillerin tamamına bakıldığında ise (benzin, LPG ve dizel toplamı) toplam karayolu CO<sub>2</sub> emisyonları içinde % 30 oranında bir payı bulunmaktadır. Karayolu emisyonlarının toplam içinde oran olarak azalmasında havayolu ulaşımının kullanımındaki artış etken olmuştur. Ancak 2011 yılı için toplam değeri 73,3 kt CO<sub>2</sub> olan havayolu kaynaklı bu artış; 2011 de sadece dizel kamyonetlerden kaynaklı 115,2 kt olan CO<sub>2</sub> salınımının yanında oldukça küçük kalmaktadır. Sanayi den kaynaklanan toplam CO<sub>2</sub> salınımı ise yaklaşık 92 kt olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin tüm sera gazı emisyonlarının CO<sub>2</sub> eşdeğeri cinsinden 2009 yılı için yaklaşık olarak 370 milyon ton olduğu bilinmektedir. Diyarbakır' ın 2010 yılına ait (diğer sera gazları dikkate alınmadan) sadece CO<sub>2</sub> salınımı ise 1,7 milyon ton, 2011 yılı ise yaklaşık 1,9 milyon ton bulunmuştur.

Bir ağacın yılda 12 kg CO<sub>2</sub> emdiği bilindiğine göre Diyarbakır' da sadece 2011 yılında dikilen ağaçların gelişmiş olduğu kabul edilerek o yıl içerisinde 28,776 ton CO<sub>2</sub> soluduğunu, toplamda ise her yıl 92,208 ton CO<sub>2</sub> emilimi yaptığı göz önüne alınarak Diyarbakır İline ait 2011 yılı CO<sub>2</sub> salınımı bertarafının tamamını ağaçlarla yapılması durumunda ise 2,5 milyar ağacın olması gerektiği görülmüştür. Ancak Diyarbakır İlinde 2002-2011 yılları arasında 7684 fidanın dikildiği ve bu fidanların yaklaşık 4000' inin 2009-2011 yılları arasında dikildiğine dikkat edilirse son yıllarda artan ağaçlandırma çalışmalarının sevindirici olmasına rağmen yetersiz olduğu ve bu nedenle ağaçlandırma işlemlerinin artırılmasının önemi açıkça görülmektedir.

2006 yılı itibariyle ilde kullanılmaya başlayan doğalgaz ile şehrin hava kirliliği büyük ölçüde azalmıştır. Ancak doğalgaz fiyatının evlerde sıcak su temini açısından çok uygun olması sebebiyle ilde yoğun şekilde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklı çatı tipi güneş enerji sistemleri şehirde atıl durumdadır. Yeni yapılan binalarda ise hiç kullanılmamaktadır. Bu konuda belediyelerin ve devlet kuruluşlarının, halkın sıcak su temini için fosil yakıt olan doğalgazı en azından yaz aylarında kullanmak yerine güneş enerji sistemlerinin kullanılması için özendirilmesi ve desteklenmesi gerekmektedir. Bu şekilde daha az fosil yakıt kullanımı ile Türkiye ekonomisine de katkıda bulunmuş olacaktır.

Günümüzde karbon ayak izimizi en aza indirmek her zaman olduğundan daha önemlidir. Gelişmiş ülkeler daha çok karbon emisyonu üretmekte ve Avrupa ve Asya'da ülkelerin yaşam tarzları da daha çok enerji tüketir hale gelmektedir. Küresel kirlenmeye etki etmeden daha sağlıklı enerji olan yenilenebilir yeşil enerji sektörlerine bir an önce geçilmesi gerekmektedir. Otelde kaldığımız zaman odadan çıkarken ışıkları ve klimanın kapatılması,

Birincil karbon ayak izinin yanı sıra bir de ikincil ayak izi de vardır ve alışveriş alışkanlıklarına bağlıdır. Süpermarkette mevsimi dışında yiyecek satın alındığında bunlar uzak ülkelerden veya şehirlerden uçakla, gemiyle ya da karayoluyla getirilmiş demektir; bu da karbon ayak izine katkı da bulunur.

## KAYNAKLAR

DHMİ, (2012). Hava Trafığı Raporları, T.C. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara.

DHMİ, (2013). Hava Trafığı Raporları, Diyarbakır Devlet Hava Meydanları İşletmesi.

EPA, (2006). United States Environmental Protection Agency.

Houghton, J. T., Filho, L. G. M., Griggs, D. J. & Maskell, K., (1997). An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report, IPCC Technical Paper, p: 8-10.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). Revised 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume I: Reporting Instructions, Chapter 1; p: 1-4, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). Revised 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II: Workbook, Chapter 1; p: 3-23, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1; Pages: 4-44, 62-98, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II, Energy, Mobile Combustion; pages: 8-73;

KGM, (2005). Karayolları Ulaşım İstatistikleri 2004, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Program ve İzleme Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Kılıç, G., Tanış, A., Karaca, Ö. & Özdemir, D., (2004). İklim Değişikliğinin Etkilerinin Araştırılması Çalışma Grubu Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Meyer L., Loos M., Deconinck H., Davidson O., & Metz, B., (2005). IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

Muslu, Y., (2000). Ekoloji ve Çevre Sorunları, pages: 223, 255-260, Aktif Yayınevi, İstanbul.

OSD, (2006). Otomotiv Sanayii Genel ve İstatistik Bülteni: 2005, Bölüm I ve Bölüm 2, Otomotiv Sanayii Derneği, İstanbul, <http://www.osd.org.tr/>.

Şen, Z. (2004). Türkiye'nin Temiz Enerji imkânları', Mimar ve Mühendis Dergisi, 33.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2012). İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları, Ankara, <http://iklim.cob.gov.tr>. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Diyarbakır İl Müdürlüğü.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirilmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, İl Çevre Durum Raporları, (2012). <http://www.csb.gov.tr>

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012). Hava Kalitesi İzleme İstasyonları, <http://www.havaizleme.gov.tr>

T.C. Orman ve Su Bakanlığı, Diyarbakır İl Müdürlüğü Verileri, (2013).

TÜİK, (2013). 1990-2009 Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu.

URL-1. <http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>, Erişim Tarihi 2013.

URL-2. <http://www.diyarbakir.gov.tr>, Erişim Tarihi 2013.

URL-3. <http://www.diyarbakir.dhmi.gov.tr>, Erişim Tarihi 2013.

URL-4. [http://www.eie.gov.tr/teknoloji/ccs\\_nedir.aspx](http://www.eie.gov.tr/teknoloji/ccs_nedir.aspx), Erişim Tarihi 2013.

URL-5. <http://gunesenerjisistemleri.com>, Erişim Tarihi 2013.

URL-6. <http://www.karbonayakizi.com/>; <http://www.wingscard.com.tr>, Erişim Tarihi 2013.

URL-7. <http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/climate.html>, Erişim Tarihi 2013.

Zeydan, N., Koçer, A. Ü. & Tanboğa, L, (2005). Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltım Çalışma Grubu İkinci Raporu, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 5.03.2020

Received Date : 5.03.2020

Kabul Tarihi :12.03.2020

Accepted Date : 12.03.2020

### ELEKTRİKLİ BİR ARACIN AERODİNAMİK PERFORMANSININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

#### EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE AERODYNAMIC PERFORMANCE OF AN ELECTRIC VEHICLE

Fahrettin GENCER<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0001-7518-4658)Yalın YAMAÇ<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-0294-3171)Muhammet İbrahim AŞÇI<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-8673-3325)Rahmi GÜNDEŞLİ<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-2010-315X)<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yalın YAMAÇ, yalinyamac@ksu.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi tarafından TÜBİTAK Efficiency Challenge yarışlarına katılmak üzere tasarlanan elektrikli bir aracın aerodinamik özellikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar KSÜ Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan araç modelinin ebadı; tünel kapasitesiyle bağlantılı olan blokaj oranı dikkate alınarak belirlenmiş ve araç modeli 1/16 ölçekli olarak üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda 7 farklı hava hızında (14.66/16.08/17.44/18.93/20.19/21.69/23.81) m/s aracın maruz kaldığı sürüklenme kuvveti  $F_d$  ölçülmüş ve sürüklenme katsayısı  $C_d$  hesaplanmıştır. Sayısal çalışmalar ise Ansys programında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda çözücü model olarak k-epsilon Realizable modeli tercih edilmiştir. Artan hava hızlarına bağlı olarak sürüklenme kuvveti  $F_d$ 'nin 0,1743 N'dan 0,4014 N'a kadar kademeli olarak arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** sürüklenme kuvveti, sürüklenme katsayısı, elektrikli araçlar, araç dizaynı, blokaj oranı

#### ABSTRACT

In this study, the aerodynamic properties of an electric vehicle designed by Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Engineering and Architecture Faculty to participate in TÜBİTAK Efficiency Challenge were investigated experimentally and numerically. Experimental studies were carried out in the wind tunnel in the laboratory of the Mechanical Engineering Department of KSU. The size of the vehicle model used in the experiments; The model of the vehicle was produced with a scale of 1/16. In experimental studies, the drag force  $F_d$  exposed to the vehicle was measured at 7 different air velocities (14.66/16.08/17.44/18.93/20.19/21.69/23.81) m/s and the drag coefficient  $C_d$  was calculated. Numerical studies were carried out in Ansys program. In these studies, the k-epsilon Realizable model was preferred as the solver model. Due to increased air velocities, the drag force  $F_d$  was gradually increased from 0.1743 N to 0.4014 N.

**Keywords:** drag force, drag coefficient, electric cars, car design, blockage ratio

#### GİRİŞ

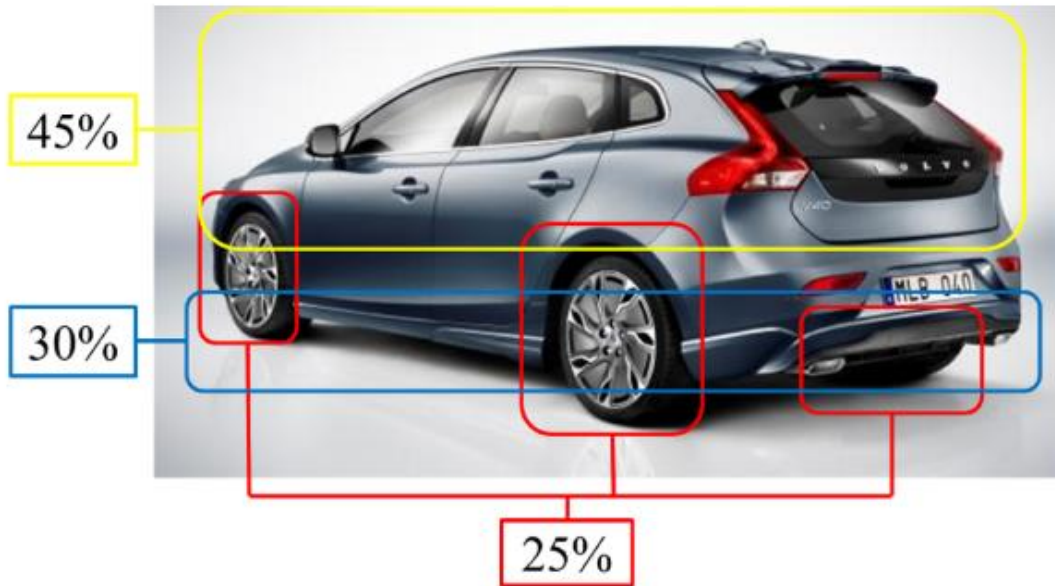
Aerodinamik, katı yapıların veya cisimlerin hava ile etkileşimi sonucunda oluşan dış akışı inceleyen bir bilim dalı olarak adlandırılır. Aerodinamik sürüklenme katsayısı, aracın performansını, yakıt tüketimini, hızlanma özelliklerini, sürüş karakteristiğini, çevre kirliliğini, gürültüyü ve konforu önemli ölçüde etkiler (Wood vd. 2003).

Karayolu taşıt aerodinamiği, aracın performansını, seyir halinde iken konfor ve sürüş güvelliğini, araç soğutma sistemlerini ve dış görünümü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için otomotiv sektörünün önemli bir parçası

haline gelmiştir. Hareket halinde araç etrafındaki havanın sürekli yer değiştirmesiyle araç etrafında aerodinamik direnç ya da aerodinamik sürüklenme olarak adlandırılan boyutsuz olarak temsil edilen bir aerodinamik sürüklenme kuvveti oluşturur. Modern bir otomobilin aerodinamik sürüklenme kuvveti 80 km/h hızda toplam sürüş direncinin %75-%80'ini oluşturur. Taşıtlar üzerinde etkili olan aerodinamik kuvvetlerin deneysel ve sayısal metotlarla incelenmesi geçmişten günümüze kadar üzerinde durulan önemli konulardan birisi olmuştur. Seyir halinde olan taşıta etki eden aerodinamik kuvvetler taşıtların yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri, ilave motor gücü, yol tutuş özellikleri, değişen yol şartlarında yol dengesini sağlama gibi temel parametrelerini etkilemesi bakımından önemlidir. Taşıt aerodinamiği üzerinde yapılan çalışmalarda deneysel yöntemlerin uzun zaman alması ve maliyetli olması, ölçüm cihazlarının pahalı olması ve taşıtın tüm dış yüzeylerinde ölçümlerin zor yapılması nedeniyle sayısal hesaplama yöntemleri günümüzde daha avantajlı duruma gelmiştir. Genel kişisel bir araç için ortalama aerodinamik sürüklenme katsayı değeri 0.33 iken yapılan iyileştirmelerle ortaya çıkarılan düşük sürüklenme katsayısına sahip araçlardaki değer ise ortalama 0.25 tir. Yapılan aerodinamik çalışmalar, sürüklenme kuvvetindeki %3 oranındaki bir düşüşün yakıt tüketimini %1 oranında azalttığını ortaya çıkarmıştır. Bu tasarruf, dünyadaki karayolu taşıtlarının sayısıyla çarpıldığında, dünya pazarlarındaki ham petrolün fiyatını etkilemek için yeterli olan 10 milyar galon/yıl değerinde bir verim ortaya çıkmaktadır. Azalan yakıt kaynakları ve diğer çevresel kaygılar, yakıt ekonomisi ve gaz emisyonları aerodinamik sürüklenme katsayısını etkileyen merkezi konulardır (Hucho, 1998).

Araç aerodinamik tasarımının temel amacı sürüklenme kuvvetini minimize etmektir. Sürüklenme kuvvetini azaltmada en etkili yaklaşım, toplam sürüklenme kuvvetinin en büyük yüzdesini oluşturan bileşenlere odaklanmaktır. Araç dış gövdesindeki iyileştirmelerle sürüklenme kuvvetinde önemli bir düşüş elde edilmiştir (Hucho, 1998).

Günümüze kadar, aerodinamik iyileştirmeler esas olarak aracın üst gövde optimizasyonları kapsamaktadır. Modern bir araç için aerodinamik sürüklenme kuvvetinin %45 araç gövdesi, %30 tekerlekler ve tekerlek yuvaları, %25 araç alt bölgesi ve detaylar oluşturmaktadır (Alexey, 2013).



Şekil 1. Otomobil Üzerindeki Farklı Bölgelerin Aerodinamik Dirence Olan Etki Dağılımı (Alexey, 2013).

Aerodinamik sürüklenme kuvveti hızın karesiyle orantılı olarak artar. Bu durum yıl içerisinde sürüş süresinin büyük bir bölümünü yüksek hızlarda şehir dışında gerçekleştiren araçlar için sürüklenmeyi daha önemli hale getirmektedir (Miralbes vd. 2012).

Literatürde araçların aerodinamik açıdan geliştirilmesiyle ilgili çok sayıda sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Aka (2003), Bir aracın 1 /16 oranında küçültülmüş modelini maksimum hızı 40 m/s olan bir rüzgâr tüneli test düzeneğinde test etmiş ve bunun sonucunda aerodinamik sürüklenme katsayısını belirlemiştir. Aerodinamik sürüklenme katsayısını yapılan deneysel çalışmaların ardından %5 hata oranı elde etmişlerdir ve hata payının nerelerden kaynaklanabileceği konusunda önerilerde bulunmuştur. Dhande ve Bauskar (2013), Dinesh ve Manoj,

Adrene olarak isimlendirdikleri hibrid aracın aerodinamik sürüklenme katsayısını  $C_d$  hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle ve rüzgâr tüneli deneyleri ile incelemiştir. Sayısal ve deneysel yöntemlerle bulunan  $C_d$  değerleri uyumlu bulunmuştur. İpci vd. (2015), Literatürde Ahmed Model olarak geçen basitleştirilmiş araç modeli üzerinde sayısal akışkanlar dinamiği yöntemini kullanarak su tüneli benzetmesi ile 0.218 m/s serbest akış hızında  $1.5 \times 10^4$  Reynolds değerinde k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modelleri ile çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada karşılaştırılan k- $\epsilon$  ve RNG k- $\epsilon$  türbülans modelleri arasından deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara RNG k- $\epsilon$  modeli ile daha çok yaklaşıldığını elde etmişlerdir. Desai vd. (2008), 1/15 ölçekli bir model araç etrafındaki akışı incelemek için sayısal ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sayısal çalışmalar için bir HAD paket programı, deneysel çalışmalar için 300x300x1000 mm kesit bölgesi ölçülerine sahip bir rüzgâr tüneli kullanmışlardır. Sayısal çalışmalar için Standart k- $\epsilon$  türbülans modelini tercih etmişlerdir. Aerodinamik sürüklenme katsayısı değerini deneysel çalışmayla 0.4, sayısal çalışmayla ise 0.55 olarak belirlemişlerdir. Çağan (2000), Rüzgâr tüneline yapılan deneysel çalışmalarda modelin zemin üzerine oturuyor olması ile zemin açıklığının var olması halinde hesaplanan sürüklenme katsayısı  $C_d$  değerleri arasında bir fark olduğu sonucu elde etmişlerdir. Model altında var olan açıklıktan dolayı meydana gelen hava akışı sürüklenme katsayısının artışına sebep olmuştur. Akışı sınırlayan zeminin ortadan kaldırılması sonucunda serbest hava jetine maruz kalma durumu oluşmuş ve blokaj etkisinin azalmasıyla sürüklenme katsayısı değerinin önemli oranda düştüğü sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada ise, TÜBİTAK Efficiency Challenge elektrikli araç yarışmasına katılmak üzere Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından geliştirilen bir elektrikli aracın aerodinamik performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

## MATERYAL METOT

Aerodinamik sürüklenme kuvveti; akışkanın yoğunluğu, karşı akım hızı, cismin geometrik yapısı ve duruş biçiminin de bulunduğu bir dizi parametreye bağlıdır ve aerodinamik analizi yapılan her geometri için bu parametrelerin ayrı ayrı listesini vermek pratik değildir. Bunun yerine cismin direnç karakteristiğini temsil eden uygun boyutsuz bir sayıyla çalışmanın daha elverişli olduğu görülmüştür. Bu sayı sürüklenme katsayısıdır ve Denklem 1'deki gibi hesaplanır. Verilen denklemde;  $A$  ( $m^2$ ) cismin projeksiyon alanı,  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) akışkanın yoğunluğu,  $V$  (m/s) akışkanın hızı,  $F_d$  (N) sürüklenme kuvvetidir (Çengel&Cimbala, 2012).

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A}$$

(1)

Reynolds sayısı, laminar akış veya türbülanslı akış gibi farklı akış rejimlerinin karakteristiğini belirlemek için kullanılır. Akış rejimi temelde akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranına bağlıdır ve Denklem 2'deki gibi hesaplanır. Verilen denklemde;  $Re$  Reynolds sayısı,  $\mu$  (kg/m.s) akışkanın dinamik viskozitesi,  $D$  (m) borunun çapı,  $V$  (m/s) akışkanın hızı,  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) akışkanın yoğunluğu olarak ifade edilir (Çengel&Cimbala, 2012).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

(2)

Reynolds sayısının hesaplanmasında havanın yoğunluğu ve dinamik viskozitesi sırasıyla;  $\rho=1.2250$   $kg/m^3$ ,  $\mu=1.789 \times 10^{-5}$   $kg/m.s$  olarak alınmıştır (Çengel&Boles, 2012).

Bir kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmine hacimsel debi denir ve Denklem 3'teki gibi hesaplanır. Verilen denklemde;  $Q$  akışkanın bir kesitten birim zamanda geçen hacimsel debi,  $V_{ort}$  (m/s) ortalama hava hızı ve  $A_c$  ( $m^2$ ) kesit alanıdır (Çengel&Cimbala, 2012).

$$Q = V_{ort} \cdot A_c$$

(3)

Blokaj oranı; modelin ön bakış alanının, rüzgâr tüneli test odasının kesit alanına oranı olarak ifade edilir ve Denklem 4'teki gibi hesaplanır. Verilen denklemde  $BR$  Blokaj oranı,  $M_{PA}$  ( $m^2$ ) modelin ön projeksiyon alanı ve  $RT_{KA}$  ( $m^2$ ) rüzgâr tünelinin test odasının kesit alanıdır (Çengel&Cimbala, 2012).

$$BR = \frac{M_{PA}}{RT_{KA}}$$

(4)

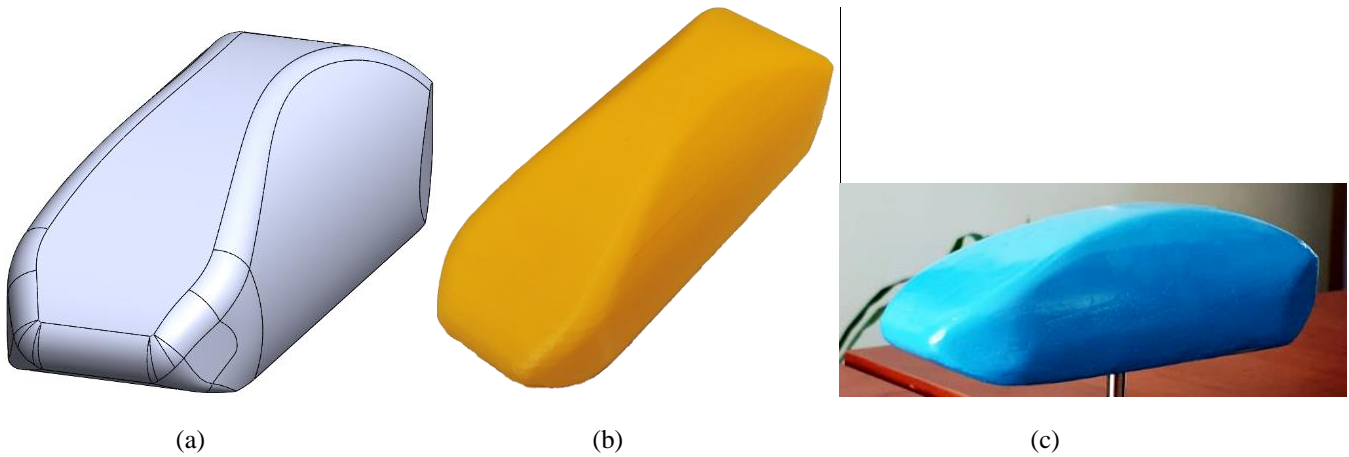
Bu çalışmada blokaj oranı %9.5 olarak hesaplanmıştır.

Aynı hava hızındaki deneysel ve sayısal analiz sonuçlarının yüzdesel olarak karşılaştırılmasını ifade eden hata oranı Denklem 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hata Oranı} = \left| \frac{\text{DeneyselSonuç} - \text{Sayısal Sonuç}}{\text{DeneyselSonuç}} \right| \cdot 100 \quad (5)$$

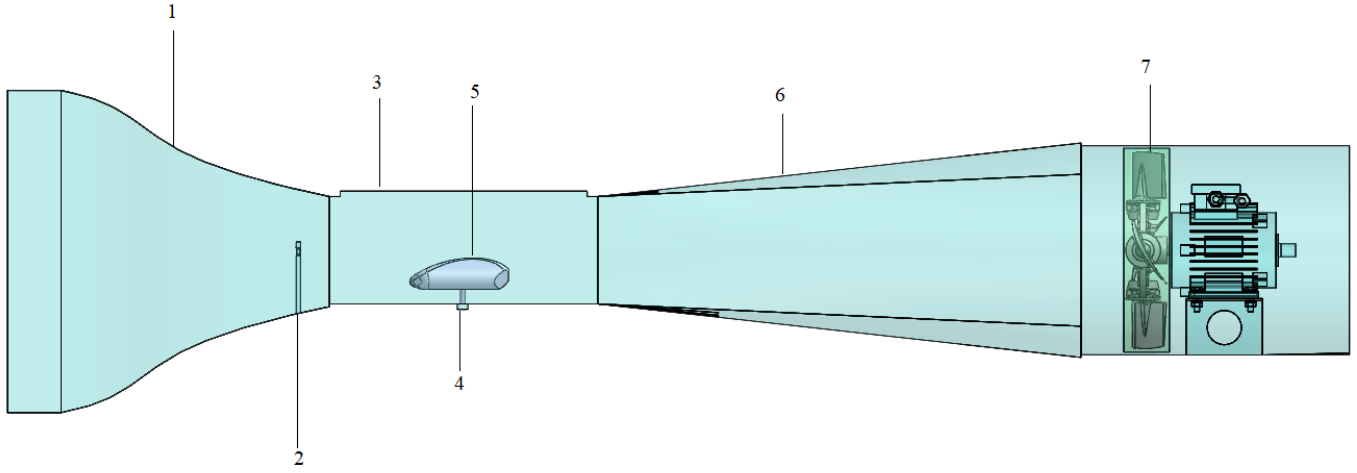
### ***Deneysel Çalışmalar***

Solidworks programında tasarlanan elektrikli aracın üzerine gelen aerodinamik kuvvetlerin ölçülebilmesi için CAD verisi 1/16 ölçeğinde ölçeklendirilmiştir (Şekil 1a).



**Şekil 2.** Elektrikli Aracın CAD Tasarımı ve Üretimi: (a) Solidworks Programında Oluşturulan Dizayn, (b) 3B Yazıcıdan Elde Edilen Model, (c) Macunlama ve Boyama İşlemi Sonrası Model Görüntüsü

Tasarımı yapılan elektrikli aracın modeli Ultimaker Extended 2 3B yazıcı ile üretilmiş ve üretiminde PLA filamet kullanılmıştır. Katman kalınlığı olarak 0.2 mm tanımlanmış ve 0.8 mm nozul ucu kullanılmıştır. Elde edilen model yüzeyinin pürüzlü olması (Şekil 1b) akış deneyinde rüzgâr direncini olumsuz etkilediğinden dolayı araç yüzeyinin tüm yüzeyleri macunlanmış ve ince bir tabaka elde edilene kadar zımparalanmıştır. Ardından ticari araçlarda kullanılan boyama işlemleri ile modelin tüm yüzeyleri boyanmıştır (Şekil 1c). Deneylerde kullanılan rüzgâr tüneli cihazı şeması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Rüzgâr Tüneli Şematik Gösterimi

Şekilde; 1 ile numaralandırılan kısım yayıcı, 2 ile numaralandırılan kısım hava hız sensörü, 3 ile numaralandırılan kısım test odası, 4 ile numaralandırılan kısım tutucu, 5 ile numaralandırılan kısım araç modeli, 6 ile numaralandırılan kısım akış düzeltici ve 7 ile numaralandırılan kısım fan olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr tünelinin teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Rüzgâr Tüneli Teknik Özellikleri

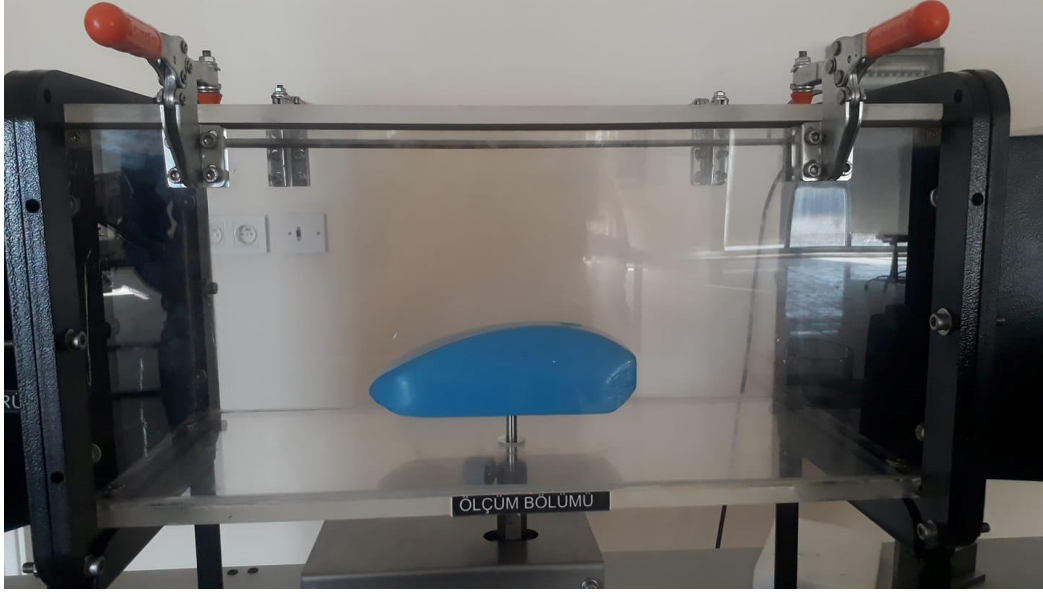
Load Cell Modül	DVP02LC-SL
Lcd Ekran	DOP-B05S101
Hava Hız Sensörü	QVM 62.1
Şeffaf Çalışma Alanı	20x21x48 cm
Fan Motor Deviri	2800 d/d
Fan Debisi	7.000 m <sup>3</sup> /h
Fan Çapı	39.5 cm

Rüzgâr tünelinde 20 farklı kademedeki kontrol edilen motor sayesinde akış, hava sensörünün olduğu kesitte en fazla 25 m/s olarak elde edilebilmektedir. Rüzgâr hızı kızgın tel anemometresi ile ölçülüp veriler anlık olarak PLC ekrana yansımaktadır.

Rüzgâr tünelinde hava hızını ölçen kızgın tel anemometresinin bulunduğu kesit ile araç modelinin yerleştirildiği test odasının kesit alanının aynı olmadığı tespit edilmiştir. Sayısal analizlerde ve deneysel hesaplamalarda test odasından geçen etkin hava hızı Denklem 3 aracılığıyla hesaplanmıştır.

Yüzey işlemleri yapılan model, deney düzeneğine Şekil 3’teki gibi yerleştirilmiştir. Rüzgâr tünelinde 7 farklı hava hızında deneyler yapılmıştır.



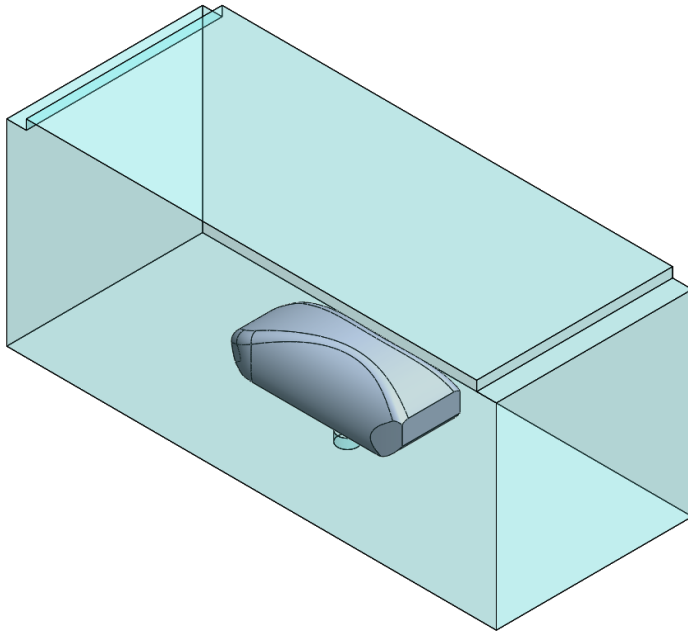


Şekil 4. Deneysel Düzeneği ve Model

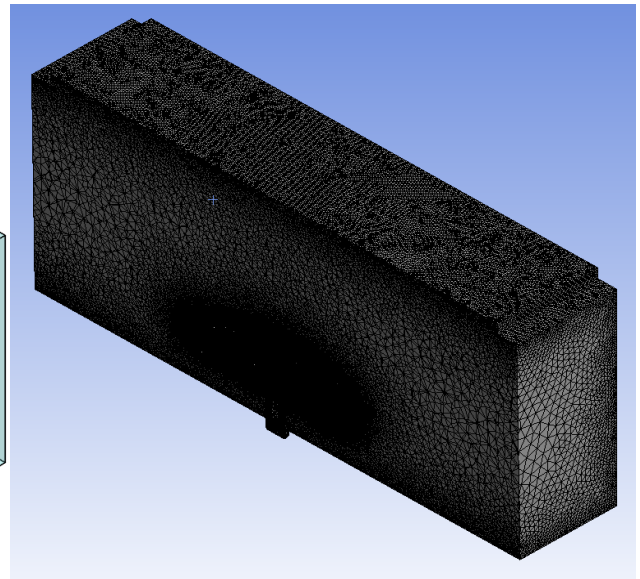
TÜBİTAK Efficiency Challenge elektrikli araç yarışında başarılı olabilmek için 65 dakika içerisinde en az enerji tüketimi ile 2 km uzunluğundaki pisti 30 turu tamamlayarak bitirmek gerekmektedir (URL 1). Yarışı bu şartlarda başarılı bir şekilde bitirebilmek için gereken ortalama seyir hızı 57 km/h olarak hesaplanmaktadır. Ancak virajlar ve sollamalar gibi farklı seyir hızı gerektiren durumlardan dolayı 50 km/h ile 85 km/h arasında sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

### Sayısal Çalışmalar

1/16 oranında ölçeklendirilmiş elektrikli araç geometrisi 210x200x500 mm<sup>3</sup> hacmindeki test odasına yerleştirildiğinde oluşan akış hacmi Solidworks programı aracılığıyla CAD verisi olarak elde edilmiş ve bu geometriye Ansys- Fluent programında bir mesh tanımlanmıştır. Yapılan deneyler ve analiz sonuçları karşılaştırılarak deney düzeneğinden ya da analizden kaynaklanabilecek sorunlar araştırılmış ve en uygun mesh yapısı elde edilmiştir.



(a)



(b)

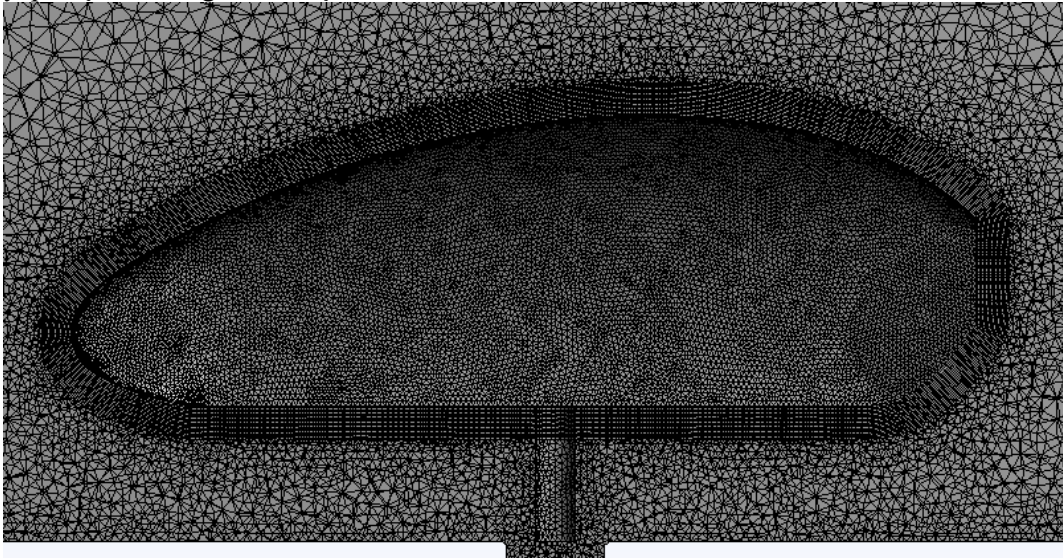
Şekil 5. Test Odasının CAD Çizimi (a) Ve Ağ Yapısı (b)

Mesh tanımlamada yüzey ölçülendirme metodu kullanılmıştır. Yüzey ölçülendirirken aracın bütün yüzeyleri seçilmiştir. Ayrıca daha hassas bir ölçüm için kanalın duvarlarına da yüzey ölçülendirme yapılmıştır. Aracın yüzeyi üzerinde akışın daha doğru çözümlenmesi için inflation yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca test odasının tamamı body olarak tanımlanmıştır. Ağ yapısı ile ilgili tanımlamalar Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ağ Yapısı (Mesh) Tanımlamaları

Body sizing - Kanal	10 mm
Face sizing-kanal	2 mm
Face sizing - araba	1 mm
y+	35
Inflation Option	Last Aspect Ratio
Aspect Ratio	3
Maximum Layers	18
Grow rate	1.1
Skewness	0.87
Nodes	1775089
Elements	6711461

Yüzey fonksiyonu; hız, sıcaklık, türbülans parametrelerinin, sınır tabakadaki değerlerini belirleyebilmek için geliştirilmiş matematiksel bir fonksiyon olarak düşünülebilir. Elde edilen değerlerin gerçekçi ve doğru olabilmesi için; yüzeyin, yüzeye en yakın ağın merkezine uzaklığı  $y^+$ ’yi belirleyen boyutsuz değeri  $y^+$ ’ın  $30 < y^+ < 500$  aralığında olması gerekir (Versteeg & Malalasekera 1995). Bu çalışmada  $y^+$  değeri 35 olarak belirlenmiştir. Elde edilen mesh yapısı Şekil 5’te gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Elektrikli Aracın Ağ Yapısı ve Sınır Tabaka Çizgileri

Ağdan bağımsızlığı ölçmek için farklı eleman sayılarında ağ yapıları oluşturulmuş ve analizler bu ağ yapılarıyla tekrar çözülmüştür. Yapılan ağ bağımsızlığı çalışmaları için 23.81 m/s hava hızında 4 farklı analiz yapılmıştır. Eleman sayısı 6711461 ve üzeri olan analizlerde sonucun değişmediği görülmüştür. Analiz sürelerini minimum seviyede tutmak için eleman sayısı 6711461 olan ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ bağımsızlığı ile ilgili yapılan çalışmalar Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Ağdan Bağımsızlığın (Mesh Independence) İncelenmesi

Eleman Sayısı	$F_d$ [N] (Sayısal)	$F_d$ [N] (Deneysel)
5226869	0.44	
6308218	0.39	0.4
6711461	0.4	
7276025	0.4	

Türbülanslı akışlar için; Navier-Stokes denklemi kullanılarak türbülans viskozitesi denklemlerinin çözülmesi gerekir. Türbülans viskozitesi denklemi  $k$  ve  $\epsilon$  gibi iki bilinmeyen terim içerir. Bu terimleri hesaplayabilmek için, iki yeni denkleme ihtiyaç vardır. Bu amaçla; farklı türbülans modelleri geliştirilerek bu bilinmeyenler hesaplanmıştır (Altan, 2006). Bir akışın temel olarak incelenmesi için süreklilik denklemi (Denklem 6) ve momentum denkleminin (Denklem 7), uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekmektedir (Bayındırlı vd. 2018). Sayısal akışa ait korunum ve türbülans denklemleri aşağıda verilmiştir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

(6)

Momentum denkleminin x yönünde bileşeni:

$$\rho \cdot \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-\rho + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx}$$

(7)

Momentum denkleminin y yönünde bileşeni:

$$\rho \cdot \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial + \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-\rho + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My}$$

(8)

Momentum denkleminin z yönünde bileşeni:

$$\rho \cdot \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-\rho + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz}$$

(9)

Navier-Stokes denklemleri

$$\rho \cdot \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{Mx}$$

(10)

$$\rho \cdot \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot v) + S_{My}$$

(11)

$$\rho \cdot \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot w) + S_{Mz}$$

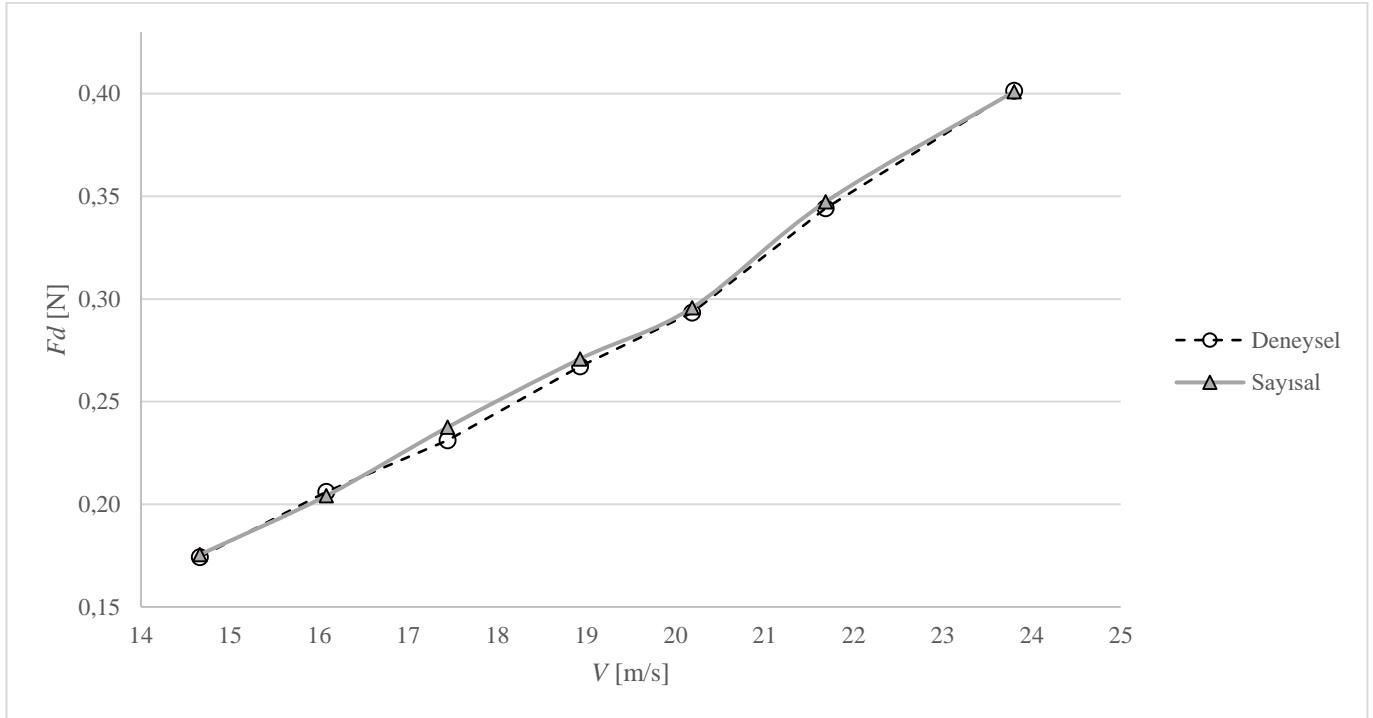
(12)

Bu çalışmada; türbülanslı akışın çözümlemesinde  $k$ - $\epsilon$  Realizable türbülans modeli, Scalable Wall Function özelliği ile birlikte çözümlemelerde kullanılmıştır. Sınır hız şartları girişinde  $k$ - $\epsilon$  metodu olarak seçilmiş ve analizin sınır

şartları başlangıç koşulları olarak seçilmiştir. Ayrıca basınç dağılımının uygunluğunu ve kütle korunumunu sağlamak için basınç düzeltmesi çözülmüştür. Basınç ve hız dağılımlarının hesaplanmasına, coupled çözüm algoritması kullanılmıştır.

## BULGULAR

Bu çalışmada TÜBİTAK Efficiency Challenge elektrikli araç yarışmasına katılmak üzere Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından geliştirilen bir elektrikli aracın aerodinamik performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Üretimi yapılan elektrikli araç modeli için KSÜ Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan rüzgâr tüneline 7 farklı hava hızında deney yapılmıştır. Her hava hızı  $V$  için elektrikli aracın üzerine gelen; sürüklenme kuvveti  $F_d$  ölçülmüş, Reynolds sayısı  $Re$  ve sürüklenme katsayısı  $C_d$  hesaplanmıştır. Elektrikli araç modelinin sürüklenme kuvveti  $F_d$  hava hızı  $V$  grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Elektrikli Aracın Sürüklenme Kuvvetinin  $F_d$  Hava Hızına  $V$  Göre Değişimi

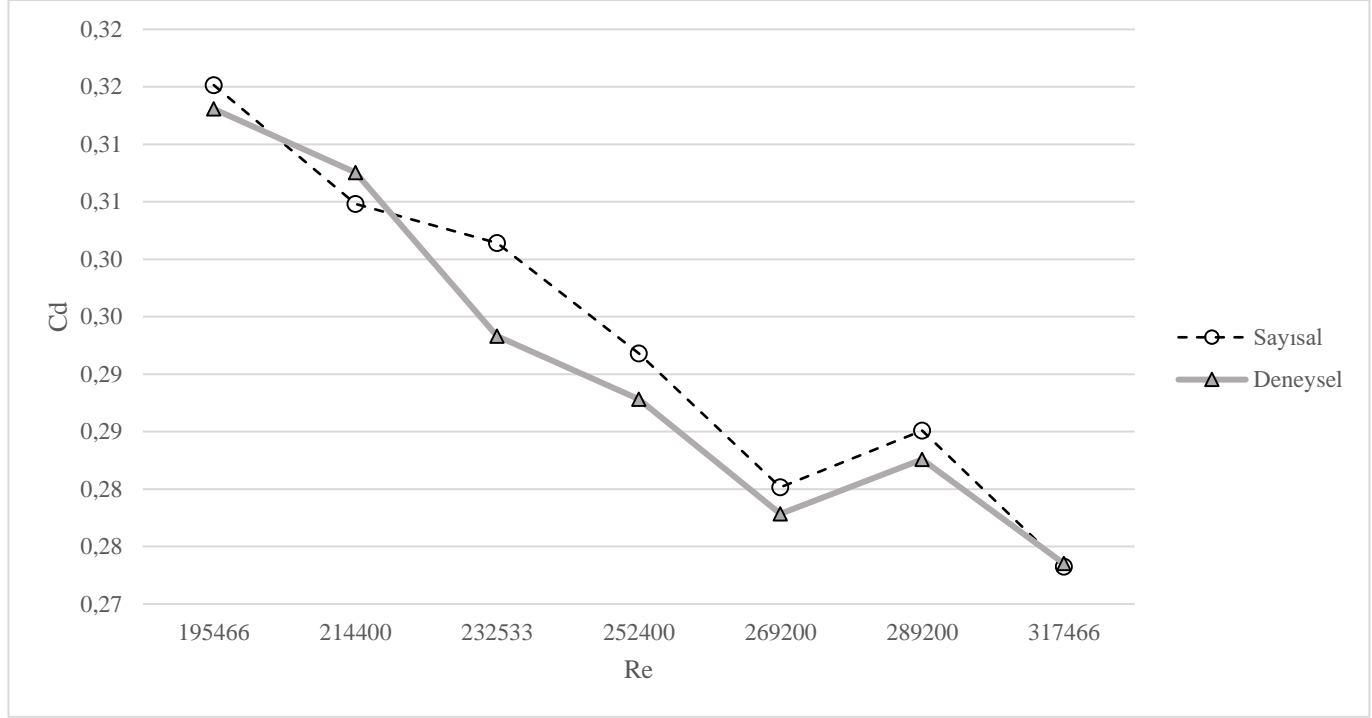
Yapılan deneysel ve sayısal analizlerde hava hızı arttıkça sürüklenme kuvvetleri  $F_d$  artış göstermiştir. Farklı fan kademelerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sürüklenme kuvveti  $F_d$  sonuçları karşılaştırıldığında en büyük hata oranının %2.69 olduğu belirlenmiştir. Elektrikli araç modelinin farklı hava hızları için gerçekleştirilen analizlerin hata oranları Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Elektrikli Aracın Deneysel ve Sayısal Sürüklenme Kuvvetleri ve Hata Oranı

Deney Düzenegi Kademe No	Hava hızı m/s	Deneysel $F_d$	Sayısal $F_d$	Hata oranı %
9	14.66	0.1743	0.17544	0.66
10	16.08	0.2060	0.20416	0.90
11	17.44	0.2311	0.2375	2.69
12	18.93	0.2671	0.27083	1.36
13	20.19	0.2933	0.29578	0.83

14	21.69	0.3443	0.34732	0.87
15	23.81	0.4014	0.40102	0.10

Deneysel çalışmalarda hava hızının 14.66 m/s'den 23.81 m/s'ye çıkartılmasıyla sürüklenme kuvveti  $F_d$  yaklaşık %130 oranında artış göstermiştir. Elektrikli araç modelinin farklı hava hızları için Reynolds sayısına  $Re$  bağlı olarak sürüklenme katsayısı  $C_d$  grafiği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 8. Elektrikli Aracın Sürüklenme Katsayısının  $C_d$  Reynolds Sayısına  $Re$  Göre Değişimi

Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda Reynolds sayısı  $Re$  arttıkça sürüklenme katsayısının  $C_d$  azaldığı belirlenmiştir. Farklı Reynolds değerlerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sürüklenme katsayısı  $C_d$  sonuçları karşılaştırıldığında Reynolds sayısının  $Re=317466$  olduğu bölgede en düşük sürüklenme katsayısının  $C_d=0.2732362$  olduğu belirlenmiştir. Elektrikli araç modelinin farklı Reynolds değerleri  $Re$  için deneysel ve sayısal olarak hesaplanan sürüklenme katsayısı  $C_d$  sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Elektrikli Aracın Reynolds Sayısına  $Re$  Bağlı Olarak Hesaplanan Deneysel ve Sayısal Sürüklenme Katsayıları

Reynolds değeri $Re$	Deneysel $C_d$	Sayısal $C_d$
195466	0.313077362	0.3151509
214400	0.307551117	0.3048041
232533	0.293306471	0.3014147
252400	0.287820313	0.2917928
269200	0.277837082	0.2801545
289200	0.282584635	0.2850751

317466

0.273514596

0.2732362

Deneysel çalışmalarda Reynolds sayısının  $Re$  195466'dan 317366'ya çıkartılmasıyla sürüklenme katsayısının  $C_d$  %12.7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalarda en düşük sürüklenme katsayısı  $C_d$  değeri olan 0.273 değeri blokaj etkileri hesaba katıldığında 0.227882 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde bir aracın sürüklenme katsayısının incelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar yapılmıştır. Benzer hızlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde: Gebel vd. (2018) bir elektrikli aracın sürüklenme katsayısını  $C_d$  incelemiş ve 0.39 bulmuşlardır. Gören vd. (2019) elektrikli bir aracın jant kağının aracın sürüklenme katsayısına olan etkisini incelemiş ve sürüklenme kuvvetinin  $C_d$  0.26'dan 0.24'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Scurtu vd. (2019) elektrikli bir aracın performansı üzerine yaptıkları çalışmada sürüklenme katsayısını  $C_d$  0.3 olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise sürüklenme katsayısı  $C_d$  0.227882 olarak bulunmuştur.

## SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada TÜBİTAK Efficiency Challenge elektrikli araç yarışmasına katılmak üzere Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi tarafından geliştirilen bir elektrikli aracın aerodinamik performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Hava hızı arttıkça elektrikli araç üzerine etkiyen sürüklenme kuvveti  $F_d$  artmıştır.
2. Reynolds sayısı  $Re$  arttıkça sürüklenme katsayısı  $C_d$  azalmıştır.
3. Deneysel ve sayısal çalışmalarda sürüklenme kuvvetleri  $F_d$  ve sürüklenme katsayıları  $C_d$  büyük oranda örtüşmüş ve en büyük hata oranının %2.69 olduğu tespit edilmiştir.
4. En iyi  $C_d$  sürüklenme katsayısı olan 0.273 değeri blokaj etkisi ile düzenlendiğinde 0.227882'ye düşmüştür.

Farklı hava hızlarında elektrikli bir aracın performansının incelendiği bu çalışmada deneysel ve sayısal sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Aerodinamiği iyileştirilmiş genel binek bir araç için ortalama 0.25 olan sürüklenme katsayısının altında bir değer elde edilmiştir ( $C_d=0.227882$ ).

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi 2016/5-73 ve 2017/7-195A numaralı projeler ve TÜBİTAK 217M865 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Çalışmamıza verdikleri destek için ilgili kurumlara teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Aka, H. Y. (2003). Otomobillerin Aerodinamik Karakteristiğinin Bir Rüzgâr Tünelinde İncelenmesi ( Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara). Erişim adresi: <http://www.metroloji-okulu.com.tr/tez/tez.htm>
- Bayındırlı, C., Akansu, Y. E., & Salman, M. S. (2016). The Determination of Aerodynamic Drag Coefficient of Truck and Trailer Model by Wind Tunnel Tests. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 2, 53-60.
- Bayındırlı, C., Çelik, M., Demiralp, M., (2018), Bir Otobüs Modeli Etrafındaki Akış Yapısının CFD Yöntemi İle İncelenmesi Ve Sürüklenme Kuvvetinin Pasif Akış Kontrol Yöntemi İle İyileştirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(4), 785-795.
- Cağan, M. (2000). Taşıt Aerodinamik Özelliklerinin Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11527/10720>
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M. (2012). Akışkanlar Mekaniği Temelleri Ve Uygulamaları, *Nobel Matbaacılık*, İstanbul.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A. (2012). Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla, *İzmir Güven Yayınevi*, İstanbul.

Deda, B. (2006). Perdeleme Yöntemi İle Savonius Rüzgâr Çarkının Performansının İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi*, Denizli.

Dhande, D., & Bauskar, M. ( 2013). Analysis of Aerodynamic Aspects of SUV by Analytical and Experimental Method. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 7, 447-451.

Desai, M., Channiwala, S.A., Nagarsheth, H.J. ( 2003). Experimental and Computational Aerodynamic Investigations of a Car. *Wseas Transactions on Fluid Mechanics*, 3, 359-367.

Gebel, M.E, Önalı, S., Korkmaz, S. Osmanođlu S., Özçelik, B., Ermurat. M., İmal. M., (2018). Bir Elektrikli Aracın Aerodinamik Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *International Automotive Technologies Congress, OTEKON*.

Hucho, W. H. (1998). Aerodynamics of Road Vehicles 4th Edition. *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, Pa.

İpci, D., Yılmaz, E., Aysal, F. E., & Solmaz, H. (2015). Bir Kara Taşıt Modeli Etrafındaki Akış Yapısının Sayısal Olarak İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 51-64.

Scurtu, L., Jurko, A., Borza, E. V., Mariasiu, F., Vlad, N., Morariu, S. (2019), Aerodinamic Study Of An Electric Vehicle Prototype, 30th SIAR International Congress Of Automotive and Transport Engineering

URL1, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu. 'Efficiency Challenge 2020 Etkinlik Kitapçığı'. <https://challenge.tubitak.gov.tr/kurallar.html> Son erişim tarihi 05.03.2020

URL 2, Türk Kimya Sanayi Haber Portalı, 'Elektrikli Otomobillerde Kompozit Jant Kapağı Kullanımının Aerodinamik Etkisi-2'. <http://www.turkchem.net/elektrikli-otomobillerde-kompozit-jant-kapagi-kullaniminin-aerodinamik-etkisi-2.html> Son erişim tarihi 05.03.2020

Versteeg, H.K., Malalasekera, W. (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method, *Longman Group Ltd.*, Malaysia.

Vdovin, A. (2013). Investigation of Aerodynamic Resistance of Rotating Wheels on Passenger Cars (Lisans Tezi, Chalmers University Of Technology, Sweden). Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Investigation-of-Aerodynamic-Resistance-of-Rotating-Vdovin/3c2f5bd8d30d7a05597743a3b5156cc49ed0823d#citing-papers>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/70600281.pdf>