

BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ

# TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ

Bingol University  
Journal of Technical Science

Cilt 4 • Sayı 2 • Aralık 2023  
Volume 4 • Number 2 • December 2023

Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu  
tarafından yayınlanmaktadır

e-ISSN: 2757-6884

## EDİTÖRÜN NOTU

Ülkemizde bilimsel yayıncılık hızla gelişmekte ve bu bağlamda süreli yayınların sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Akademik süreli yayıncılık da bu artışın doğal sonuçlarından. 8 Eylül 2020 tarihinde yayınlanan ilk sayısı ile yayın hayatına başlayan dergimizle (*Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*) çok değerli araştırmacıların, bilim insanlarının ve okurların karşısına çıkmanın heyecanını ve mutluluğunu yaşamaktayız. Yayın hayatına başladığı bu tarihten itibaren bilimsel bir disiplin içerisinde hareket eden dergimiz, [Google Scholar](#) üzerinde taranmakta ve diğer indekslerde taranmak için başvurularını sürdürmektedir.

Türkiye’de yayın yapan birçok üniversite akademik dergileri gibi dergimiz de çok-disiplinli ve disiplinlerarası anlayışla hareket etmektedir. Bu anlayışla dergimizin yayın kurulu, bilimin bütün sahalarından ve alt disiplinlerinden bilimsel nitelikli yazıları İngilizce ve/veya Türkçe olarak yayınlamak üzere her iki dilde de kabul etmektedir. Dergimizde hakemlik süreci titizlikle yürütülmekte, çift taraflı körleme sistemiyle makaleler değerlendirilmekte, etik ve bilimsel ölçütlere sonuna kadar bağlı kalınmaktadır.

İlk sayıdan itibaren dergimizin [DergiPark](#) üzerinden erişimi sağlanmış ve yayınlanan makalelerin tamamı okuyucuların ve araştırmacıların hizmetine sunulmuştur. Dergimizin bu sayısında 5 adet bilimsel araştırma makalesine yer verilmiştir.

Dergimize bilimsel araştırmaları ve yazılarıyla destek veren değerli bilim insanlarına, bu çalışmalarını titizlikle değerlendiren hakemlere ve yayın sürecini yöneten ve yürüten yayın kurulu, alan editörleri ve sekreteryaya teşekkür ederim.

Baş Editör

**Prof. Dr. Ferdi AKMAN**

(Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürü )

**Editör Kurulu / Editorial Board**

**Sahibi / Owner**

Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürlüğü  
*Vocational School of Technical Sciences of Bingol university Directorate*

**Baş Editör / Editors-in-Chief**

Prof. Dr. Ferdi AKMAN

**Editör Yardımcıları / Associate Editors**

Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL  
Dr. Öğr. Üyesi Ünal Değirmenci

**Dergi Sekreteryası / Secretariat**

Öğr. Gör. Dr. Müge YURTCAN

**Teknik Editör/ Technical Editor**

Prof. Dr. Ferdi AKMAN  
Öğr. Gör. Ebubekir BOZKURT

**İngilizce Editörü/ Language Editors**

Öğr. Gör. Ahmet KESMEZ

**Grafik Tasarımcı/ Graphic Designer**

Öğr. Gör. Habib BİNGÖL

**Mizanpaj Editörü/ Layout Editor**

Öğr. Gör. İbrahim AYZ

**Alan Editörleri / Section Editors**

Prof. Dr. Ferdi AKMAN  
Doç. Dr. Hasan OĞUL  
Doç. Dr. Kadir EJDERHA  
Doç. Dr. Ahmet TURŞUCU  
Doç. Dr. Mustafa ALTIN  
Doç. Dr. İhsan KIRIK  
Doç. Dr. Anıl İMAK  
Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ  
Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL  
Dr. Öğr. Üyesi Serdal POÇAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur KARAAĞAÇ  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇELİK  
Dr. Öğr. Üyesi Ünal DEĞİRMENCİ  
Dr. Öğr. Üyesi Serhat ŞAP  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan US  
Öğr. Gör. Dr. Müge YURTCAN  
Öğr. Gör. Dr. Uğur Eren YURTCAN  
Öğr. Gör. Ebubekir BOZKURT  
Öğr. Gör. Ayşegül Gümrükçü KESKİN

## **Yayın Danışma Kurulu / *Editorial Advisory Board***

- Prof. Dr. Rajendra PRASAD – University of Lucknow  
Prof. Dr. Victor NEDZVETSKY - Dniepropetrovsk National University  
Prof. Dr. Mykola Mikhailovich DRON - Oles Honchar Dnipro National University  
Assistant Prof. Dr. Tanveer FATİMA – Taibah University  
Dr. Hicham HELAL - Djillali Liabes University  
Prof. Dr. Hasan KURTARAN – Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi  
Prof. Dr. Ayşegül UÇAR – Fırat Üniversitesi  
Prof. Dr. Ferdi AKMAN – Bingöl Üniversitesi  
Prof. Dr. Mustafa Recep KAÇAL – Giresun Üniversitesi  
Doç. Dr. Hasan OĞUL – Sinop Üniversitesi  
Doç. Dr. Kadir EJDERHA – Bingöl Üniversitesi  
Doç. Dr. Ahmet TURŞUCU – Şırnak Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa ALTIN – Bingöl Üniversitesi  
Doç. Dr. Anıl İMAK – Bingöl Üniversitesi  
Doç. Dr. İhsan KIRIK – Bingöl Üniversitesi  
Doç. Dr. Burak YILDIRIM – Bingöl Üniversitesi  
Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ – Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Yunus Onur YILDIZ – Sinop Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT– Fırat Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ İKİNCİOĞLU – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur KARAAĞAÇ – Sinop Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇELİK – Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Ünal DEĞİRMENCİ – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Serhat ŞAP – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan US – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL – Bingöl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Serdal POÇAN – Bingöl Üniversitesi

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

### **Seri Manipülatörlerin Dönüşüm Matrislerinin Elde Edilmesinin Kolay Yolları**

**Samet YAVUZ<sup>1\*</sup>**

1

<sup>1\*</sup> University of Turkish Aeronautical Association, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, İzmir/Türkiye.

ORCID No: 0000-0003-2513-3267, e-mail: syavuz@thk.edu.tr

(Alınış/Arrival: 05.09.2023, Kabul/Acceptance: 23.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### **Bazı Minerallerin Radyasyon Zırhlama Kapasitelerinin Araştırılması**

**İlhami ERKOYUNCU<sup>1\*</sup>**

8

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Fizik Bölümü, Bingöl, Türkiye,

ORCID No: 0000-0003-1639-5062, e-mail: ierkoyuncu@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 03.11.2023, Kabul/Acceptance: 25.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### **Türkiye'de Enerji Verimliliği için BEP-TR Yöntemi Kullanımının Maliyet ve Malzeme Analizi: Örnek Bir Model Değerlendirmesi**

**Başak ZENGİN<sup>1\*</sup>, Hasan POLAT<sup>2</sup>, Uğur Eren YURTCAN<sup>3</sup>**

19

<sup>1\*</sup>İstiklal Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye.

ORCID No: 0000-0003-3719-9423, e-mail: basakzengin@istiklal.edu.tr

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl/Türkiye.

ORCID No: 0000-0003-1521-0695, e-mail: hpolat@bingol.edu.tr

<sup>3</sup>Bingöl Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Bingöl/Türkiye.

ORCID No: 0000-0001-5040-2786, e-mail: ueyurtcan@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 06.10.2023, Kabul/Acceptance: 16.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

---

## **Hazır Beton Santralının Karbon Emisyonlarının Belirlenmesi**

**Umut ÇÜMEN<sup>1</sup>, Hakan SARIKAYA<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0000-0003-3036-633X, e-mail: umutcumen7@gmail.com

27

<sup>2\*</sup>Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0000-0002-8043-3302, e-mail: hakan.sarikaya@usak.edu.tr

(Alınış/Arrival: 07.11.2023, Kabul/Acceptance: 08.12.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

---

## **Determination of Invert Sugar Amount in Filtered Blossom Honey Obtained from Bingöl Districts**

**Buket ARICI<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Bingöl University, Central Laboratory Application and Research Center, Engineering,  
Bingöl/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0003-2570-0524, e-mail: barici@bingol.edu.tr

37

(Alınış/Arrival: 10.11.2023, Kabul/Acceptance: 07.12.2023, Yayınlanma/Published: 17.12.2023)

---

## Seri Manipulatörlerin Dönüşüm Matrislerinin Elde Edilmesinin Kolay Yolları

Samet YAVUZ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> University of Turkish Aeronautical Association, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, İzmir/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0003-2513-3267, e-mail: syavuz@thk.edu.tr

(Alınış/Arrival: 05.09.2023, Kabul/Acceptance: 23.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### Özet

Bu çalışmada, Mathematica yazılımı kullanılarak Denavit-Hartenberg yöntemi için seri manipulatörlerin konum analizinde genel dönüşüm matrislerini elde etmek amacıyla bir dönüşüm matrisleri modülü sunulmuştur. Bu modüle ek olarak ChatGPT tarafından yazılan ekstra bir Mathematica kodu verilmiştir. Çalışmanın sonunda iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki metotta da D-H parametrelerini önerilen kod içerisinde tanımladıktan sonra dönüşüm matrisinin kolayca elde edildiği görülmüştür. Burada metotlar arasındaki tek fark D-H parametrelerini tanımlama yöntemine dayanmaktadır. Çalışmada sunulan ilk modülde her bir ekleme için ayrı ayrı D-H parametrelerinin girilmesi gerekmektedir. ChatGPT tarafından elde edilen modülde ise D-H parametreleri bir tablo halinde verilmelidir. Halihazırda iki modül karşılaştırıldığında öncelikle D-H parametrelerinin elde edilmesinin gerektiği açıktır, D-H parametreleri modüllere tanımlandıktan sonra kısa sürede istenilen seri robotun ileri ve ters dönüşüm matrisleri elde edilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Dönüşüm matris modülü, Seri manipulatörlerin pozisyon analizi, Denavit-Hartenberg Metodu, ChatGPT.

## Simple Ways for Obtaining Transformation Matrices of Serial Manipulators

### Abstract

In this paper, a transformation matrices module was presented to obtain overall transformation matrices in position analysis of serial manipulators for Denavit-Hartenberg method with Mathematica software. In addition to this module an extra Mathematica code was given which is written by ChatGPT. At the end of the study, a comparison of the two methods was made. In both methods, it is seen that the transformation matrix is easily obtained after defining the D-H parameters in the proposed code. Here, the only difference between the methods is based on the way of defining the D-H parameters. In the first module presented in the study, D-H parameters must be entered separately for each joint. In the module obtained by ChatGPT, D-H parameters should be given in a table. When the two modules are compared, it is clear that the D-H parameters should be obtained first. After the D-H parameters are introduced to the modules, the forward and inverse transformation matrices of the desired serial robot will be obtained in a short time.

**Keywords:** Transformation matrices module, position analysis of serial manipulators, Denavit-Hartenberg Method, ChatGPT.

## 1. GİRİŞ

Robotların kinematik modelini türetmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, Denavit-Hartenberg gösterimini kullanan homojen dönüşüm yöntemidir [4]. Bu yaklaşımda robot kinematiği dört ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler, iki eksen arasındaki eklem uzunluğu, eklemler arasındaki açı, çakışan eklemler arasındaki yer değiştirme (eklem ötelenmesi) ve iki eklem arasında oluşan eklem açısından oluşur. Denavit-Hartenberg dönüşümünde, manipülörün taban ve son eklemi dışındaki her eklemine bir kartezyen koordinat sistemi eklenir [1]. Z ve x eksenleri boyunca öteleme ve z ve x eksenleri etrafında dönüş için dönüşüm matrisleri sırasıyla gösterilir. Burada  $i$ , eklemlerin koordinat sistemini göstermektedir (Şekil 1.1). Koordinat eksenleri belirlenirken döner eksenler için dönme yönü z, buna dik olan uzunlukları x eksenini kabul edilir [4]. Y eksenini sağ el kuralıyla tespit edilir.

$$T(z, d) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(x, a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

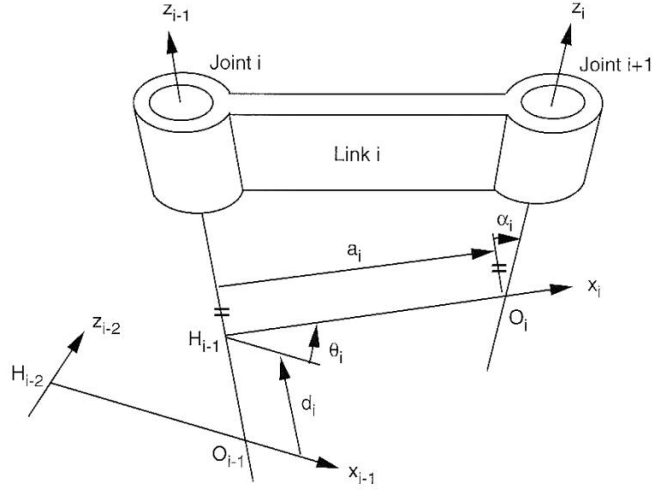
Elde edilen son dönüşüm matrisi denklem 1.1’de verilmiştir.

$${}^{i-1}A_i = T(z, d)T(z, \theta)T(x, a)T(x, \alpha) \quad (1.1)$$

Denklem 1’i matris formunda yazdığımızda denklem 1.2’yi elde ederiz.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i s\theta_i & s\alpha_i s\theta_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i c\theta_i & -s\alpha_i c\theta_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$





**Şekil 1.1.** Uzun parametrelerinin tanımlanması [1].

Literatüre bakıldığında, Faria ve ark. seri manipülatörlerin standart Denavit-Hartenberg parametrelerini belirlemek için otomatik bir algoritma önermişlerdir [5]. Yöntem, standart Denavit-Hartenberg (DH) parametrelerinin ( $a_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $d_i$ ,  $\theta_i$ ) hesaplandığı görelî dönüşüm matrislerini işlemek ve belirlemek için geometrik işlemlere ve ikili vektör cebirine dayanmaktadır. Yazarlar algoritmayı çeşitli kinematik yapılarla ve eklem tiplerine sahip seri robotlarda denemişler ve önerilen algoritmanın bir dizi D-H parametresini doğru bir şekilde tanımladığını görmüşlerdir. Žlajpah ve Petrič ise [6] optik bir ölçüm sistemi kullanarak robot eklemlerinin dönme eksenlerini hesaplamışlardır. Sonrasında D-H parametreleri de işleme dahil ederek tam kinematik modelin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Senwal ve Gupta [7] derin öğrenme metodunu kullanarak tek adımda D-H parameter tablosu verilmiş robotların dönüşüm matrislerini elde etmeyi içeren bir yöntem önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçların doğruya çok yakın olduğunu ifade eden yazarlar derin öğrenmenin bu tür farklı problemlerde de kullanılabileceğine dikkat çekmektedirler. GÎLCĂ ise [8] 6 serbestlik dereceli bir robot kolun ileri ve ters kinematik analizini MATLAB kullanarak gerçekleştirmiştir. Robot kolun D-H parametrelerini çıkartarak bu tarz manipülatörlerin otomatik kontrol problemlerinden kullanılan hareket denklemlerini türetecek bir yöntem önermiştir. Güncel literature bakıldığında Faria ve ark. [5] tarafından önerilen yöntem direct D-H parametrelerini elde etmeye yöneliktir. Elde edilen D-H parametrelerinden oluşturulacak bir tablo ile de bu çalışmada sunulan yöntem kullanıldığında kolaylıkla dönüşüm tablosu elde edilebilecektir. Diğer güncel çalışmalara [6,8] ve seri manipülatörlerin analizi konusunda yapılan eski çalışmalara [4] bakıldığında ise D-H parametrelerini kullanmanın çok yaygın bir yöntem olduğu görülebilmektedir.

Bu çalışma seri manipülatörlerin dönüşüm matrislerini elde etmenin basit yollarını göstermektedir. Aşağıdaki bölüm modülün elde edilmesini içermektedir. 3. bölümde modülün ChatGPT ile yazılan versiyonu verilmiştir. Bir sonraki bölümde verilen modülün çalıştığını ve zaman maliyetinin kısa olduğunu gösteren bir örnek çözülmüştür.

## 2. MODÜLÜN KURULMASI

Dönüşüm matrisleri modülünü oluşturmak için Mathematica yazılımının modül aracı kullanılmıştır. Modül aracı, kullanıcıların modül için yerel adlarla yerel değişkenler ayarlamasına olanak tanır ve her çağrıldığında yerel değişkenlerin her birini temsil edecek yeni semboller oluşturur [2]. Oluşturulan modüller aşağıdaki bloklarda gösterilmiştir.

- Dönüşüm matrisi modülü

```
(*TM burada D-H dönüşüm matrisini temsil etmektedir.*)
(*Denklem (1.2)'den,*)
TM[θ_, d_, α_, a_] := Module[{t},
  (
    Cos[θ]   -Cos[α]Sin[θ]   Sin[α]Sin[θ]   aCos[θ]
    Sin[θ]   Cos[α]Cos[θ]   -Cos[θ]Sin[α]   aSin[θ]
    0        Sin[α]         Cos[α]         d
    0        0              0              1
  )];
```

- Ters dönüşüm matrisi modülü

```
(*ITM burada ters D-H dönüşüm matrisini temsil etmektedir.*)
(*ITM denklem (1.2)'nin tersine eşittir.*)
ITM[θ_, d_, α_, a_] := Module[{t},
  (
    Cos[θ]   Sin[θ]   0   -a
    -Cos[α]Sin[θ]   Cos[α]Cos[θ]   Sin[α]   -dSin[α]
    Sin[α]Sin[θ]   -Cos[θ]Sin[α]   Cos[α]   -dCos[α]
    0              0              0              1
  )];
```

### 3. CHATGPT TARAFINDAN YAZILAN DÖNÜŞÜM MODÜLÜ

ChatGPT açık kaynaklı bir yapay zeka modelidir ve GPT-3.5 mimarisi kullanılarak eğitilmiştir [3]. Doğal dil işleme tekniklerini kullanan bu model, insanlara benzer şekilde dil üretip ona yanıt verebilmektedir. Dil modeli çeviri, metin üretme, soru-cevap sistemleri, kod derleme ve chatbotlar gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu araştırmada seri manipülatörlerin Denavit-Hartenberg parametrelerinin kolaylıkla elde edilebilmesi için Mathematica kodunun elde edilmesi amacıyla ChatGPT kullanılmıştır. Aşağıdaki satırlar ChatGPT tarafından yazılmıştır.

```
(*Öncelikle seri manipülatörün Denavit-Hartenberg parametrelerini veren bir tablonun oluşturulmuş olması gerekmektedir.*)
dhTable = {
  {θ1, 0, d1, a1},
  {θ2, π/2, d2, a2},
  {θ3, 0, d3, a3},
  {θ4, π/2, d4, a4},
  {θ5, -π/2, d5, a5},
  {θ6, π/2, d6, a6} };
(*Denavit-Hartenberg matrisini hesaplamak için kullanılan fonksiyonun tanımı.*)
dhMatrix[θ_, α_, d_, a_] := {
  {Cos[θ], -Sin[θ]*Cos[α], Sin[θ]*Sin[α], a*Cos[θ]},
  {Sin[θ], Cos[θ]*Cos[α], -Cos[θ]*Sin[α], a*Sin[θ]},
  {0, Sin[α], Cos[α], d},
  {0, 0, 0, 1} };
(*Her bir eklemin Denavit-Hartenberg Matrisi hesaplanarak seri manipülatörün kinematik matrisinin elde edilmesi.*)
T = Simplify[dhMatrix[dhTable[[1, 1]], dhTable[[1, 2]], dhTable[[1, 3]], dhTable[[1, 4]]];
For[i = 2, i <= Length[dhTable], i++,
  T = Simplify[T . dhMatrix[dhTable[[i, 1]], dhTable[[i, 2]], dhTable[[i, 3]], dhTable[[i, 4]]];
(* Matris forma dönüştürülmesi *) T // MatrixForm
```

#### 4. BİR ÖRNEK: STRANFORD KOLUNUN MATHEMATICA MODÜLÜYLE DÖNÜŞÜM MATRİSLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Stanford Kolu, Victor Scheinman tarafından 1969 yılında tasarlanan 6 serbestlik derecesine sahip bir seri manipülatördür. Stanford Kolunun üçüncü eklemi hariç tüm eklemleri döner eklemdir ve üçüncü eklemi ise prizmatik eklemdir (Şekil 4.2). Şekil 4.1'de her bağlantının D-H eksenleri görülebilir. Şekil 4.1'den Stanford Kolunun D-H parametreleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Tablo 4.1.).

**Tablo 4.1.** Stanford kolunun D-H parametreleri

	$\alpha_i$	$a_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	$-\pi/2$	0	$d_1$	$\theta_1$
2	$-\pi/2$	0	$d_2$	$\theta_2$
3	0	0	$d_3$	0
4	$-\pi/2$	0	0	$\theta_4$
5	$\pi/2$	0	0	$\theta_5$
6	0	0	$d_6$	$\theta_6$

Tablo 4.1'deki parametreler kullanılarak aşağıdaki kodu elde edebiliriz.

(\*Bu eylem manipülatörün son uzvu için dönüşüm matrisini verecektir.\*) (\*A06=  ${}^0A_6$ \*)

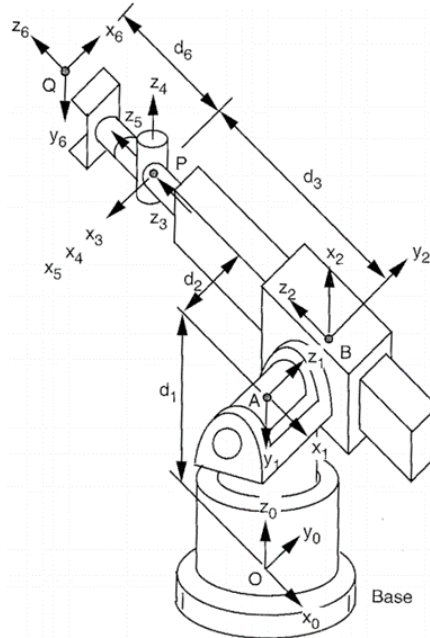
A06=TM[ $\theta_1, d_1, -\pi/2, 0$ ].TM[ $\theta_2, d_2, \pi/2, 0$ ].

TM[0,  $d_3, 0, 0$ ].TM[ $\theta_4, 0, -\pi/2, 0$ ].

TM[ $\theta_5, d_5, \pi/2, 0$ ].TM[ $\theta_6, d_6, 0, 0$ ]

(\*Diğer uzuvlar için, örneğin 3. uzvun dönüşüm matrisini elde ederken sadece ilk 3 terimi çarpmak yeterli olacaktır.\*)

(\*//MatrixForm operatörünü eklemek sonuçların matris formunda verilmesini sağlar.\*)



Şekil 4.1. Her bir linkin D-H parametreleri [1].

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dönüşüm matrislerinin Mathematica yazılımı aracılığıyla kolayca elde edilebilmesi için dönüşüm matrisleri modülü önerilmiş ve bir örnek çözülmüştür. Ayrıca ChatGPT'den aynı amaç için bir Mathematica kodu elde edilmiş ve bu iki kodun etkinliği karşılaştırılmıştır. Her kodu kullanırken de öncelikle D-H parametrelerinin tanımlanmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada verilen kod ile kullanıcının her eklem için modüle D-H parametrelerini girmesi ve ChatGPT'den elde edilen kodu kullanırken de D-H parametreleri için bir tablo tanımlaması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında, iki yol neredeyse aynı zaman maliyetine sahiptir. Seri manipülatörlerin konum-hız-ivme analizlerinin yapılmasında ve kontrollerinin sağlanmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi D-H parametreleridir [6, 8]. Literatürde direkt bu parametrelerin elde edilmesine yönelik [5] çalışmalarla birlikte dönüşüm matrislerinin elde edilmesine [7] yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Özellikle Faria ve ark. [5] tarafından önerilen yöntemle birlikte bu çalışmada önerilen yöntemler kullanıldığında seri manipülatörlerin analizinin yapılması oldukça kolaylaşacaktır. Literatür incelendiğinde [7] seri robotların ileri ve ters dönüşüm matrislerinin elde edilmesine yönelik fazla çalışmaya rastlanmamaktadır. Elde yapılan çözümlerde dönüşüm matrisleri elde edilirken hata yapmak oldukça olasıdır. Yine elde yapılan çözümlerde işlemler uzun sürmektedir. Fazla ekleme sahip olan seri manipülatörlerde en uç eklem dönüşüm matrisini elde ederken eklem sayısı kadar matrisi birbiriyle çarpmak gerekmektedir. Bu işlemler de dikkat ve zaman gerektiren işlemlerdir. Özellikle D-H parametrelerinin elde edilmesinden sonraki aşamada dönüşüm matrislerini kolay elde edebilmek için bu çalışmada önerilen yöntemler bu alanda çalışan öğrenci ve araştırmacılar için zaman kazandırıcı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Tsai L. W. Robot analysis: The mechanics of serial and parallel manipulators. John Wiley & Sons, Inc: New York; 1999.
- [2] Wolfram S. The mathematica. Cambridge university press: Cambridge; 1999.
- [3] ChatGPT [Internet]. OpenAI;2021[cited 2023 Sep 26]. Available from: <https://openai.com/chat-gpt/>
- [4] Küçük S, Bingül Z. Robot sistemlerinde kinematik yöntemlerin karşılaştırılması. Politeknik Dergisi. 2004;7(2):107-17.
- [5] Faria C, Vilaça J. L, Monteiro S, Erlhagen W, Bicho E. Automatic denavit-hartenberg parameter identification for serial manipulators. 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2019. Lisbon, Portugal; 2019. p. 610-17.
- [6] Žlajpah L, Petrič T. Geometric identification of denavit-hartenberg parameters with optical measuring system. International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region. Cham: Springer International Publishing; 2022. p. 3-10.
- [7] Semwal V. B, Gupta Y. Determining homogenous transformation matrix from DH parameter table using deep learning techniques. Research Reports on Computer Science. 2023;2(3):23–34.

- [8] G Gilca. Kinematic modeling of 6 dof robotic arm with matlab. *Fiability & Durability/Fiabilitate si Durabilitate* 1. 2023:137-43.

## **Bazı Minerallerin Radyasyon Zırhlama Kapasitelerinin Araştırılması**

**İlhami ERKOYUNCU<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Fizik Bölümü, Bingöl, Türkiye,  
ORCID No: 0000-0003-1639-5062, e-mail: ierkoyuncu@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 03.11.2023, Kabul/Acceptance: 25.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### **Özet**

Bu çalışmada, yeryüzünde volkanik dağlar etrafındaki volkanik kayalarda, bazı kaya ve toprak çeşitlerinde, madenlerde vs. görülebilen belledoite, berndite, dilithium, cadmoselite, eskebornite ve altaite mineralinin kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ), lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ), yarı kalınlık değeri (YKD), onda bir kalınlık değeri (OKD) ve ortalama serbest yol (OSY) parametreleri teorik WinXCOM programı kullanılarak 59,5 – 1332,5 keV enerji aralığında altı adet mineralin gamma radyasyonu azaltma etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre çalışılan 6 adet mineral içinde radyasyon zırhlamada en etkili olan mineralin altaite minerali olduğu görülmüştür. Bu mineralin yüksek enerjili gamma radyasyonlarına karşı zırhlama kapasitesinin, geleneksel beton ve bazı alternatif alaşımların zırhlama yeteneğinden daha iyi bir performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Kütle azaltma katsayısı incelendiğinde çalışılan enerji aralığında dilithiumun gamma radyasyonunu azaltma etkisinin diğer minerallerin gamma radyasyonunu azaltma etkisinden çok daha az olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular altaite mineralinin gamma radyasyonunu zırhlama etkisinin diğer minerallerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu bakımdan altaite minerali nükleer laboratuvarlarda, nükleer santrallerde, sağlık fizikinde vb. alanlarda radyasyona karşı koruyucu zırh malzemesi olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Mineral, gamma radyasyonu, WinXCOM

## **Investigating the Radiation Shielding Capacities of Certain Minerals**

### **Abstract**

In this study, the mass attenuation coefficient ( $\mu/\rho$ ), linear attenuation coefficient ( $\mu$ ), half-value layer (HVL), tenth-value layer (TVL), and mean free path (MFP) parameters of belledoite, berndite, dilithium, cadmoselite, eskebornite, and altaite minerals, which can be found in volcanic rocks around volcanic mountains, various rock and soil types, mines, etc., have been theoretically examined within the energy range of 59.5 – 1332.5 keV using WinXCOM.

According to the obtained results, among the six minerals investigated, altaite mineral has been identified as the most effective material for radiation shielding. It has been determined that this mineral exhibits superior shielding capacity against high-energy photon radiations when compared to traditional concrete and some alternative alloys. In terms of mass attenuation coefficients, it was observed that dilithium mineral yielded the least efficient results within the studied energy range. Consequently, the findings of this research suggest that utilizing altaite mineral as a protective shielding material against radiation could be advantageous, particularly in nuclear laboratories, medical applications, and nuclear power plants.

**Keywords:** Mineral, gamma radiation, WinXCOM

## 1. GİRİŞ

Radyasyonun zararlı etkilerinden korunma, birleştirilmiş nükleer sistemlerde (hızlandırıcı fiziği), nötron kaynaklarının zırhlanmasında, nükleer reaktörlerde, tıbbi sağlık uygulamalarında, uzay ve plazma fiziği gibi radyasyona neden olan teknolojik nükleer çalışmalarda son derece önemli ve gereklidir. Radyasyondan koruyucu malzemelerin etkili bileşimlerinin biraraya getirilmesi ile bu alanlarda etkin bir radyolojik koruma sağlanabilmektedir. Araştırmacılar radyasyon zırhlama malzemesi olarak sıklıkla tercih edilen geleneksel standart betona ve kurşun bazlı malzemelere alternatif olabilecek seramik, cam, alaşım veya mineral katkılı malzemelerle nükleer teknolojideki potansiyel uygulamaları nedeni ile ilgilenmeye başlamışlardır [1- 4].

Kurşun (Pb) ve türevlerinin insan sağlığı ve çevre üzerinde tehlikeli etkileri (toksik olması)bulunmaktadır. Ayrıca Pb'nin iyonlaştırıcı radyasyon üretmesi nedeni ile bazı nükleer uygulamalarda kullanımı yasaklanmıştır [5]. Pb elementi inert madde olmadığından toksik etki ortadan kaldırılamamaktadır [6-9]. Beton ise çeşitli avantajlarından (imalat kolaylığı ve düşük maliyet) dolayı radyasyon güvenliği amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde beton ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu agregalar kullanılarak hazırlanan ağır beton, gamma radyasyonunun zararlı etkilerini azaltmak için uygun maliyetli ve pratik bir çözüm sunabilmektedir [10]. Yoğun ve ağır özellikleri nedeniyle ağır agrega, radyasyonla çok yoğun etkileşim sergileyerek gamma radyasyonunu etkili bir şekilde zayıflatabilmektedir. Sonuç olarak beton, gamma radyasyonundan korunmak için en uygun malzeme olarak kabul edilmektedir [11]. Örneğin 3 m kalınlığındaki normal beton ile 2,4 m kalınlığındaki manyetit betonun zırhlama kapasiteleri eşdeğerdir [9]. Ancak geleneksel betonun radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanılmasının uygun olmadığı birçok uygulama da bulunmaktadır. Bu durum araştırmacıları farklı türdeki malzemelerin radyasyondan korunma özelliklerini araştırmaya yöneltmiştir [12]. Beton malzemeler dışında cam, seramik, polyester, epoksi, mermer, kil, polimer, çeşitli alaşım ve mineraller alternatif olarak sıklıkla kullanılmaktadır [13-20].

Radyasyondan korunma için kullanılan malzemelerin ağırlığı, alanı, maliyeti ve zayıflatma veya emme yetenekleri, araştırmacıları uygun koruyucu malzemeleri sentezleme ve geliştirme konusunda zorlayan kilit noktalardır. İyi bir zırhlama malzemesi gelen gamma radyasyonunun maksimum kısmını zayıflatabilen, emebilen veya bloke edebilen bir malzemedir. Gamma ışınları ve malzemeler arasındaki etkileşimin doğası ve mekanizması, etkileşim mekanizmasına göre daha uygulanabilir radyasyon zırh malzemesinin seçilmesine yardımcı olan, bu radyasyonların ortamda yayılma yeteneğini belirlemek kritik bir konudur. Gamma fotonlarına karşı zırhlama malzemesi olarak kullanılması beklenen malzemelerin atom numarası ve yoğunluğu yüksek olmalıdır. Çünkü bu tür malzemeler, gamma ışınlarıyla daha büyük enerji aktarımı anlamına gelen daha yüksek etkileşim olasılığına neden olmaktadır [21]. Bu nedenle bu çalışmada yoğunluğu geleneksel betondan daha yüksek olan mineraller seçilmiştir. Seçilen minerallerin radyasyon zırhlamada kullanılan geleneksel betona katkı maddesi olarak ikame edilmesinin radyasyon zırhlama için faydalı olma olasılığı araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada WinXCOM bilgisayar programı 59,5 – 1332,5 keV enerji aralığındaki 11 adet enerji değeri kullanılmıştır (bkz Tablo 2). WinXCOM programı 1,0 keV ile 100,0 GeV arasındaki foton enerji seviyeleri için fotonların herhangi bir element, bileşik veya karışımla etkileşimini hesaplar. Bileşikler ve karışımlar için etkileşim katsayıları ve toplam zayıflatma katsayıları, atomik bileşenler için karşılık gelen miktarların toplamı olarak elde edilir. Atom numaralarına veya kimyasal sembollere göre seçilen elementlerin gamma radyasyonu zırhlama

yeteneği WinXCOM'da öngörülebilmektedir. Hesaplamalar için element, bileşik veya karışım ( $Z \leq 100$ ) programdaki atom numaralarına göre tanımlanır. Daha sonra program belirlenen enerjilerde çalışır [22].

Bu çalışma için belirlenen 6 adet mineralin ağırlıkça yüzde oranları ayrı ayrı WinXCOM programına girilerek belirlenen enerji değerlerinde öncelikle kütle azaltma katsayıları belirlendi. ( $\mu/\rho$ ), referans alınarak her bir mineral için YDK, ODK,  $\mu$  ve OSY parametreleri belirlendi. Kullanılan minerallerin bileşimindeki elementlerin ağırlıkça yüzde oranları Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Minerallerin yoğunlukları ve kimyasal bileşimindeki elementlerin ağırlıkça yüzde oranları

Mineral Adı	Element (%)			Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Belleoite	Cu	Se		7,03
	61,68	31,32		
Berndite	Sn	S		4,50
	64,92	35,08		
Altaite	Pb	Te		8,14
	38,11	68,89		
Cadmoselite	Cd	Se		5,66
	58,74	41,26		
Dilithium	Li	Te		3,30
	90,19	9,81		
Eskebornite	Cu	Fe	Se	5,25
	22,91	20,14	56,95	

## 2.1 Radyasyon zırlama parametrelerinin belirlenmesi

Eşitlik (1) malzemelerin kütle zayıflama katsayısının belirlenmesine yardımcı olan Lambert-Beer yasasını temsil eder. Bu eşitlikte  $I$  ve  $I_0$  sırasıyla başlangıçtaki ve zırlama malzemesinden geçtikten sonraki (zayıflatılmış) foton yoğunluklarını ifade etmektedir.  $\mu$ ,  $\mu/\rho$  ve  $\rho$  sırasıyla malzemenin lineer zayıflatma katsayısını, kütle zayıflama katsayısını ve yoğunluğunu ifade etmektedir.

$$\mu / \rho = \frac{1}{\rho x} \ln \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (1)$$

Kütle azaltma katsayısı malzemenin yoğunluğundan etkilenmezken, lineer azaltma katsayısı malzemenin yoğunluğundan etkilenmektedir. Dolayısı ile malzemenin fiziksel yapısından etkilenmeyen kütle azaltma katsayısı daha kullanışlıdır [23-25]. Kütle zayıflama katsayısı referans alınarak radyasyon azaltma parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu parametrelerin birincisi olan lineer zayıflama katsayısı, kütle zayıflama katsayısının malzeme yoğunluğuna bölünmesiyle (eşitlik 1) elde edilebilir. Kütle zayıflama katsayısı zırlama malzemesi ile etkileşime giren fotonların sayısının ölçüsünü ifade etmektedir. Radyasyon zırlamada önemli olan bir diğer parametre olan yarı değer kalınlığı, gelen fotonun başlangıçtaki yoğunluğunun



yarısının zayıflatıldığı malzemenin kalınlığının bir ölçüsüdür. Başlangıçtaki radyasyon yoğunluğunun % 10 oranında geçtiği zırlama malzemesinin kalınlığını cm cinsinden ifade eden ölçüsüne onda\_bir değer kalınlık ile ifade edilebilir. Ortalama serbest yol parametresi ise bir fotonun etkileşim gerçekleşmeden önce ortam içinde kat ettiği ortalama mesafedir. Bu parametreler zırlama malzemesinin seçilmesinde etkindir [26-29]. Lineer azaltma katsayısı belirlendikten sonra, yarı değer kalınlık, onda\_bir değer kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri sırası ile eşitlik (2), (3) ve (4) aracılığıyla belirlenebilmektedir.

$$YDK = \ln 2 / \mu \quad (2)$$

$$ODK = \ln 10 / \mu \quad (3)$$

$$OSY = 1 / \mu \quad (4)$$

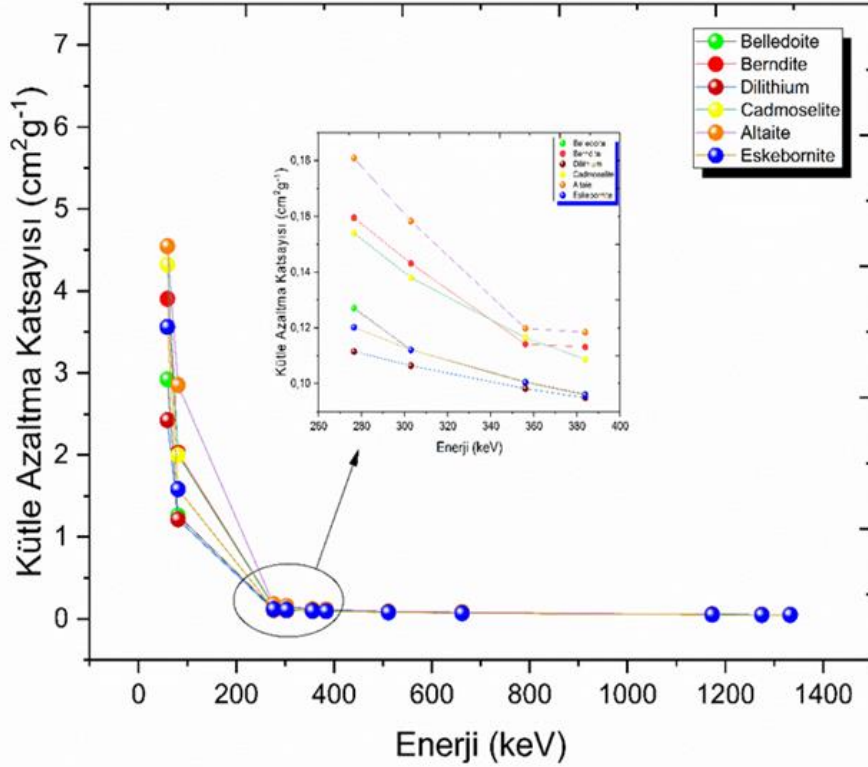
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada belledoite, berndite, altaite, cadmoselite, dilithium ve eskebornite minerallerinin 59,5-1332,5 keV gamma enerjisi aralığında kütle azaltma katsayısı, lineer azaltma katsayısı, YDK, ODK ve OSY parametreleri incelenmiştir. Kütle azaltma katsayıları bakımından 6 adet mineral ayrı ayrı incelendiğinde 59,5 keV enerji değerinde en düşük kütle azaltma katsayısına  $2,4250 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  ile dilithium sahip olurken en yüksek kütle azaltma katsayısı  $4,5462 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  altaite mineraline ait olduğu gözlemlenmiştir.

Kütle azaltma katsayıları bakımından Tablo 2’de verilen 6 adet minerali küçükten büyüğe doğru sıralarsak dilithium < belledoite < eskebornite < berndite < cadmoselite < altaite sonucu görülmektedir. En yüksek değer ile en düşük değer arasında % 87,47 oranında fark vardır. Düşük enerjide kütle azaltma katsayısı değerleri, çalışılan minerallerin kimyasal bileşimine önemli bir bağımlılık göstermiştir. Gamma enerjisi artıkça kütle azaltma katsayılarında düşüş gerçekleşmektedir. Kütle azaltma katsayılarında gerçekleşen azalmaya düşük enerji bölgesinde fotoelektrik etkinin neden olduğu söylenebilir. Bu bölgede kütle azaltma katsayıları fotoelektrik etki neden olduğu  $E^{-3,5}$  ile orantılı olarak değişmektedir. Ayrıca düşük enerji bölgesinde  $Z^{4-5}$  orantılı bir fotoelektrik etkiden bahsebiliriz. Orta enerji bölgesinde ise compton saçılımı etkilidir ve  $E^{-1}$  orantılı olarak kütle azaltma katsayılarında hızlı olan bir düşüş gözlenmiştir. Yüksek enerji bölgelerinde ise çift oluşumu baskın süreçtir ve bu bölgede  $Z^2$  ile orantılıdır. Bu bağımlılık bu bölgede de kütle azaltma katsayılarındaki değişimi hızlandırmaktadır. Çalışılan bütün minerallerin kütle azaltma katsayıları sırasıyla bizmitli betonlarla karşılaştırıldığında radyasyon zırlama bakımından daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir [30-34]. Çalışılan belledoite (B1), berndite (B2), dilithium (D1), cadmoselite (C1), altaite (A1) ve eskebornite (E1) minerallerinin teorik olarak incelenen kütle azaltma katsayısı değerleri Tablo 2’de ve Şekil 1’de verilmiştir.

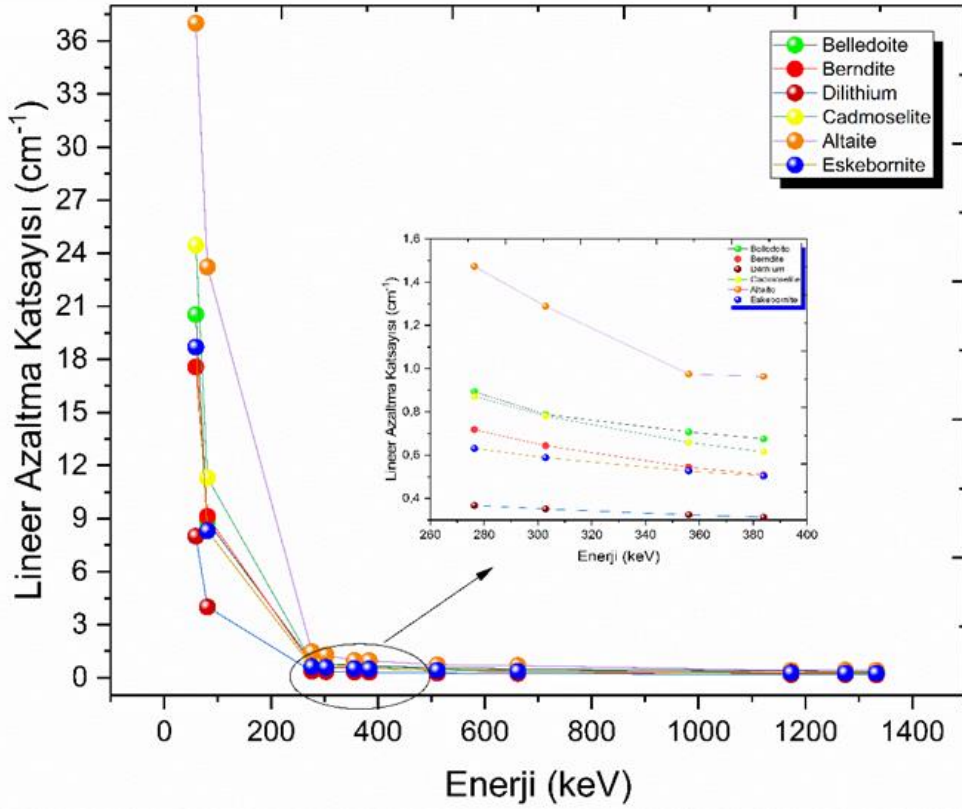
**Tablo 2.** Seçilen minerallerin enerjiye göre değişen kütle azaltma katsayıları ( $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ )

Mineral Adı						
Enerji	B1	B2	D1	C1	A1	E1
59,54	2,9220	3,9060	2,4250	4,3210	4,5462	3,5610
81,00	1,2613	2,0291	1,2160	1,9990	2,8530	1,5830
276,40	0,1271	0,1595	0,1115	0,1540	0,1809	0,1202
302,85	0,1121	0,1431	0,1064	0,1380	0,1583	0,1121
356,02	0,1006	0,1210	0,0982	0,1164	0,1198	0,1004
383,85	0,0961	0,1131	0,0949	0,1087	0,1184	0,0959
511,00	0,0817	0,0903	0,0829	0,0865	0,0899	0,0815
661,66	0,0715	0,0763	0,0736	0,0731	0,0839	0,0712
1173,24	0,0533	0,0549	0,0559	0,0525	0,0514	0,0530
1274,53	0,0511	0,0525	0,0533	0,0502	0,0531	0,0505
1332,50	0,0496	0,0513	0,0521	0,0491	0,0518	0,0497



**Şekil 1.** Seçilen minerallerin enerjiye göre değişen karşılaştırmalı kütle azaltma katsayıları ( $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ )

İncelenen mineral türlerinin lineer azaltma katsayısı arasındaki farklılığın minerallerin yoğunluğu ile ilişkilendirilebilir. Bütün minerallerin yoğunluğu ortalama değer alınarak hesaplanabilmektedir. Lineer azaltma katsayısını belirleme çalışmalarında 59,5 keV gamma enerjisinde  $37,0061 \text{ cm}^{-1}$  ile altaite mineralin en yüksek lineer azaltma katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir. Geri kalan mineraller arasında yine 59,5 keV gamma enerjisinde  $8,0025 \text{ cm}^{-1}$  ile dilithium mineralinin en düşük lineer azaltma katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir. Lineer azaltma katsayıları arasındaki farkın, minerallerin yoğunluklarından ve mineral bileşimindeki elementlerin radyasyonu soğurabilme kapasiteleri ilgili olduğu söylenebilir. Elde edilen lineer azaltma katsayısı sonuçları şekil 2’de gösterilmiştir.

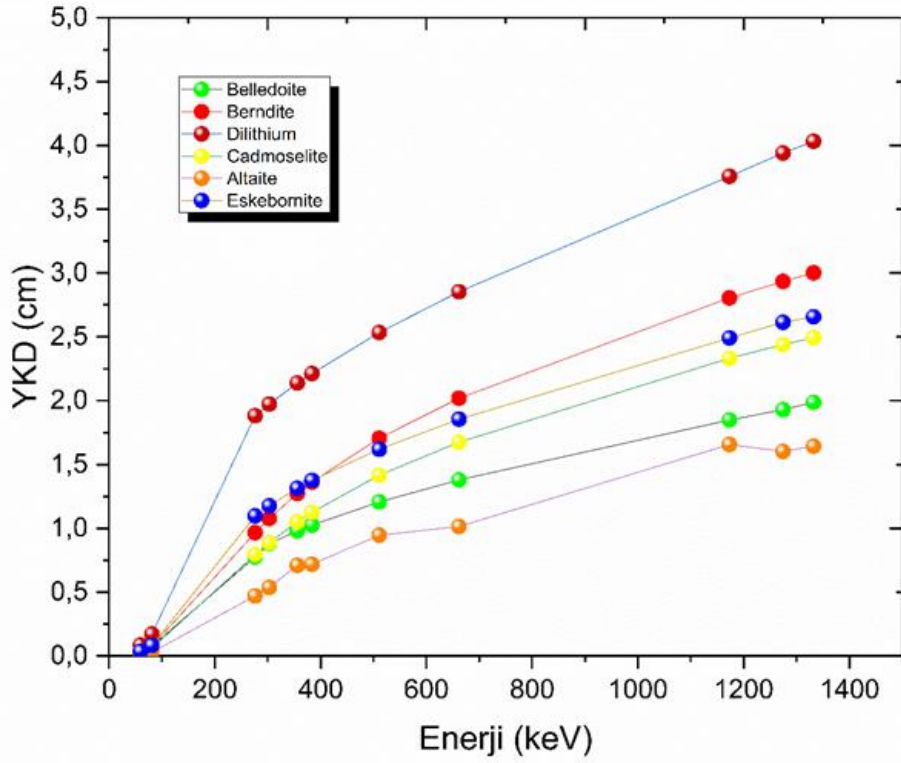


Şekil 2. Seçilen minerallerin enerjiye göre değişen karşılaştırmalı lineer azaltma katsayıları ( $\text{cm}^{-1}$ )

İncelenen minerallerin zırlama yeteneklerinin yarı değer kalınlığı (YDK) açısından analizinin de yapılması önemlidir. Etkin bir zırlama malzemesinin küçük YDK'ya sahip olması gereklidir. İncelenen mineral türlerinin YDK'sı  $59,0 \text{ keV} < E < 1,333 \text{ MeV}$  enerji aralığında hesaplanmıştır. Gamma enerjisinin artması ile birlikte YDK'nın da arttığı gözlenmiştir.

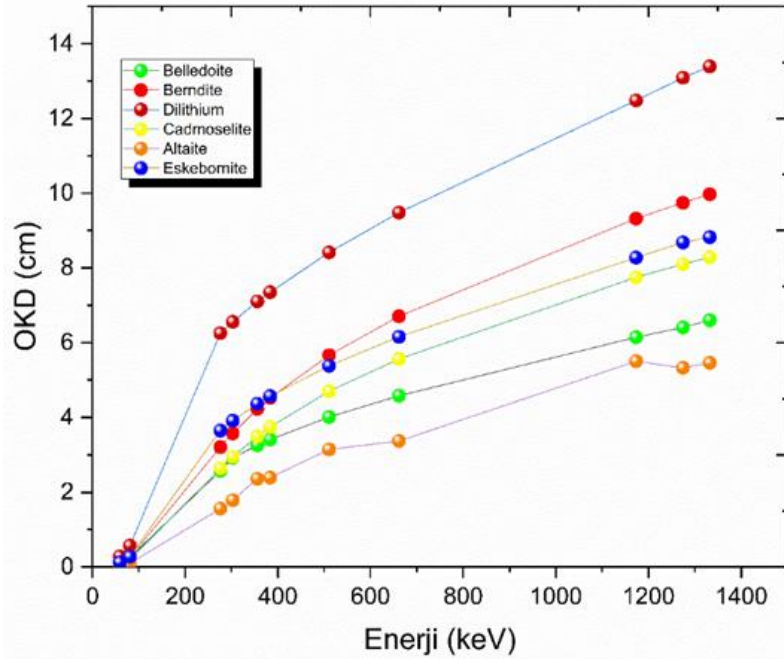
Elde edilen sonuçlara göre, çalışılan enerji aralığında altaite ve cadmoselite minerallerinin sahip olduğu YDK'nın, bizmit ve karışık manyetit-bizmit beton agregaları ile manyetit-bazalt agregalarının sahip olduğu YDK'dan [34] daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen minerallerin YDK'ları 0,0187 ile 4,0316 arasında değişmektedir. Örneğin 59,5 keV gamma enerjisinde altaite için YDK 0,0187 cm olurken cadmoselite için 0,0283 cm olarak gözlemlenmiştir. Bu diğer mineraller için de benzer düşük YDK değerleri görülmüştür.

YDK açısından en iyi sonucu veren altaite mineralinin değişimi 0,0187 ile 1,6439 cm arasındadır. Bu sonuca göre altaite mineralinin radyasyon tutuculuğunun yüksek olduğu söylenebilir. Sonuçlar grafiksel olarak şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Enerji değerlerine göre incelenen minerallerin YKD'larına ait araştırma bulguları

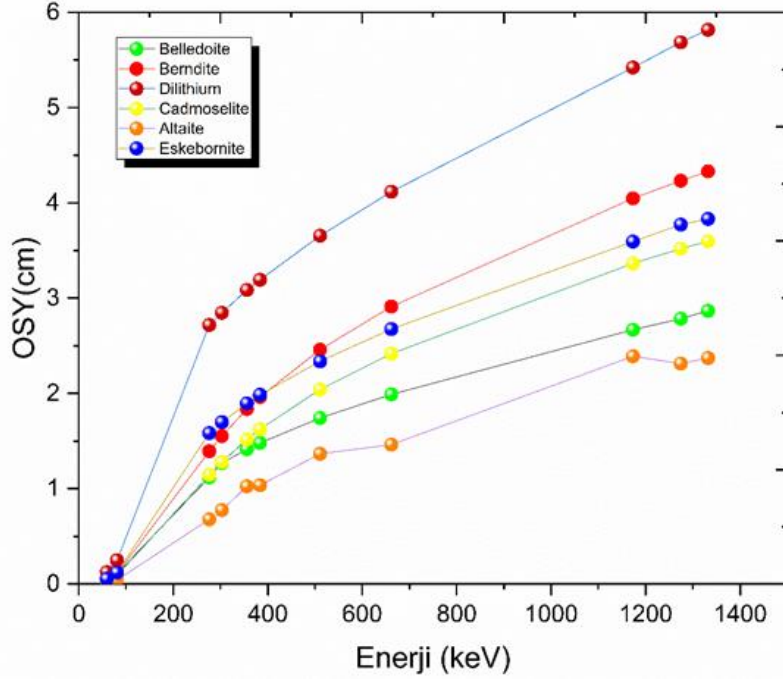
ODK parametresinde de YKD parametresine benzer olarak altaite mineralinin en iyi sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Altaite'nin 0,0622 ile 5,4609 cm arasında değişen sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çizilen grafikler şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Enerji değerlerine göre incelenen minerallerin OKD'larına ait araştırma bulguları

Şekil 3.5 ise incelenen minerallerin OSY değerlerindeki değişimi göstermektedir. Şekil 5 altaite ve dilithium minerallerinin ve 0,0595 MeV ila 1,333 MeV enerji aralığında sırasıyla 0,0270 ila 2,3716 cm ve 0,1250 ila 5,8163 cm arasında değişen en yüksek ve en düşük OSY'ye sahip olduğunu açıkça göstermektedir.

100 keV'den düşük foton enerjilerinde, incelenen tüm mineraller için OSY parametresi, fotoelektrik etkileşim nedeni ile foton enerjilerinin artmasıyla hızla artmaktadır. 0,1 MeV < E < 1,4 MeV arasında ise compton etkileşimi ve çift oluşumu süreçlerinin daha çok baskın olması nedeniyle, OSY parametresi gamma gamma enerjisinin artmasıyla birlikte kademeli olarak artış göstermiştir.



Şekil 5. Enerji değerlerine göre incelenen minerallerin OSY parametrelerine ait araştırma bulguları

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kütle azaltma katsayısı değerleri, bellodoite, berndite, dilithium, cadmoselite, altaite ve eskebornite olmak üzere 6 adet mineral için WinXCOM programı kullanılarak 59,5 keV ila 1333 keV enerji aralığında incelendi. Elde edilen sonuçlara göre, kütle azaltma katsayısı üzerinde gamma enerjisinin belirleyici olduğu sonucu varılmıştır. Altaite ve cadmoselite minerallerinin incelenen bütün parametreler için en yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. İncelenen diğer parametrelerde de gamma enerjisindeki artıştan olumsuz etkilenmiştir. Radyasyon koruma kapasitesinin en yüksek altaite, en düşük dilithium mineraline ait olduğu açıktır. İncelenen minerallerden dilithium dışındaki minerallerin betona katkı maddesi olarak sıklıkla tercih edilen bizmutit, manyetit, limonit gibi katkı maddelerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Altaite başta olmak üzere incelenen minerallerin radyasyondan korunma için radyasyon barındıran tesislerde zırhlama malzemesi olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mikhailova, A. F., & Tashlykov, O. L. (2020). The ways of implementation of the optimization principle in the personnel radiological protection, *Physics of Atomic Nuclei*, 83, 1718-1726.
- [2] Tashlykov, O. L., Shcheklein, S. E., Russkikh, I. M., Seleznev, E. N., & Kozlov, A. V. (2017). Composition optimization of homogeneous radiation-protective materials for planned irradiation conditions, *Atomic Energy*, 121, 303-307.
- [3] Russkikh, I. M., Seleznev, E. N., Tashlykov, O. L., & Shcheklein, S. E. (2015). Experimental and theoretical study of organometallic radiation-protective materials adapted to radiation sources with a complex isotopic composition, *Physics of Atomic Nuclei*, 78, 1451-1456.
- [4] Elmahroug, Y., Almatari, M., Sayyed, MI, Dong, MG ve Tekin, HO (2018). Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TeO<sub>2</sub> cam sisteminin radyasyondan korunma özelliklerinin MCNP5 kodu kullanılarak araştırılması, *Kristal Olmayan Katılar Dergisi* , 499 , 32-40.
- [5] Kouhara, Y., Yoshida, M., Takei, T., Iwasaki, H., Takemiya, T., Hatate, Y., ... & Mizuta, K. (2008). Application of lead-free vanadium sealing glasses to the flat fluorescence lump, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 34(2), 287-290.
- [6] Zakaly, H. M., Saudi, H. A., Issa, S. A., Rashad, M., Elazaka, A. I., Tekin, H. O., & Saddeek, Y. B. (2021). Alteration of optical, structural, mechanical durability and nuclear radiation attenuation properties of barium borosilicate glasses through BaO reinforcement: Experimental and numerical analyses, *Ceramics International*, 47(4), 5587-5596.
- [7] Issa, S. A., Zakaly, H. M., Tekin, H. O., Saudi, H. A., Badawi, A., Pyshkina, M., ... & Ene, A. (2021). Exploring the FTIR, optical and nuclear radiation shielding properties of samarium-borate glass: a characterization through experimental and simulation methods, *Nanomaterials*, 11(7), 1713.
- [8] El-Nahal, M. A., Elsafi, M., Sayyed, M. I., Khandaker, M. U., Osman, H., Elesawy, B. H., ... & Abbas, M. I. (2021). Understanding the effect of introducing micro-and nanoparticle bismuth oxide (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on the gamma ray shielding performance of novel concrete. *Materials*, 14(21), 6487.
- [9] Aktas, B., Acikgoz, A., Yilmaz, D., Yalcin, S., Dogru, K., & Yorulmaz, N. (2022). The role of TeO<sub>2</sub> insertion on the radiation shielding, structural and physical properties of borosilicate glasses. *Journal of Nuclear Materials*, 563, 153619.
- [10] Al-Ghamdi, H., Elsafi, M., Sayyed, M. I., Almuqrin, A. H., & Tamayo, P. (2022). Performance of newly developed concretes incorporating WO<sub>3</sub> and barite as radiation shielding material. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 4103-4114.

- [11] Gashti, M. F., Mousavinejad, S. H. G., & Khaleghi, S. J. (2023). Evaluation of gamma and neutron radiation shielding properties of the GGBFS based geopolymers concrete. *Construction and Building Materials*, 367, 130308.
- [12] Khan, M. N. A., Yaqub, M., & Malik, A. H. (2022). High density concrete incorporating grit scale aggregates for 4th generation nuclear power plants. *Construction and Building Materials*, 337, 127578.
- [13] Alzahrani, J.S., Alrowaili, Z.A., Alqahtani, M.S. et al. Influence of Alkaline Earth Metals on the Optical Properties and Radiation-Shielding Effectiveness of Sm<sup>3+</sup>-Doped Zinc Borophosphate Glasses. *J. Electron. Mater.* 52, 7794–7806 (2023).
- [14] UmashankaraRaja, R., Manjunatha, H.C., Vidya, Y.S. et al. Effect of chromium substitution on the gamma and neutron radiation shielding properties of calcium hexaferrite nanoparticles. *Appl. Phys. A* 129, 709 (2023).
- [15] Hesham M.H. Zakaly, Islam M. Nabil, Shams A.M. Issa, N. Almousa, Z.Y. Khattari, Y.S. Rammah, Probing the elasticity and radiation protection potential of neodymium(III) doped zinc and niobium tellurite glasses: An integrated simulated and applied physics perspective, *Materials Today Communications*, Volume 37, 2023.
- [16] M.S. AlBuriahi, H.H. Hegazy, Faisal Alresheedi, I.O. Olarinoye, H. Algarni, H.O. Tekin, H.A. Saudi, Effect of CdO addition on photon, electron, and neutron attenuation properties of boro-tellurite glasses, *Ceramics International*, Volume 47, Issue 5, 2021.
- [17] Alsaab, A. H., & Zeghib, S. (2023). Study of Prepared Lead-Free Polymer Nanocomposites for X-and Gamma-ray Shielding in Healthcare Applications. *Polymers*, 15(9), 2142.
- [18] More, C. V., Alsayed, Z., Badawi, M. S., Thabet, A. A., & Pawar, P. P. (2021). Polymeric composite materials for radiation shielding: a review. *Environmental chemistry letters*, 19, 2057-2090.
- [19] Alshahri, S., Alsuhybani, M., Alosime, E., Almurayshid, M., Alrwais, A., & Alotaibi, S. (2021). LDPE/bismuth oxide nanocomposite: Preparation, characterization and application in X-ray shielding. *Polymers*, 13(18), 3081.
- [20] Kumar, K., & Davim, J. P. (Eds.). (2018). *Composites and advanced materials for industrial applications*. IGI Global.
- [21] Chang, L., Zhang, Y., Liu, Y., Fang, J., Luan, W., Yang, X., & Zhang, W. (2015). Preparation and characterization of tungsten/epoxy composites for  $\gamma$ -rays radiation shielding. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 356, 88-93.
- [22] Mohamed A. Saafan, Zeinab A. Etman, Abdelrahman S. Jaballah, Mohamed A. Abdelati, Strength and nuclear shielding performance of heavyweight concrete experimental and theoretical analysis using WinXCOM program, *Progress in Nuclear Energy*, Volume 160, 2023.
- [23] Basha, B., Alsufyani, S. J., Olarinoye, I. O., Alrowaili, Z. A., Sadeq, M. S., Misbah, M. H., ... & Al-Buriahi, M. S. (2023). Synthesis, physical, optical, and radiation attenuation

- efficiency of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ SrF<sub>2</sub>+ Li<sub>2</sub>O glass system. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(4), 100676.
- [24] Khan, S. U. D., Khan, S. U. D., Almutairi, Z., Haider, S., & Ali, S. M. (2020). Development of theoretical-computational model for radiation shielding. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 13(1), 606-615.
- [25] Knoll, G.F. (2010) Radiation Detection and Measurement. 4th Edition, Wiley, Hoboken, 217.
- [26] Muhammad, N. A., Armynah, B., & Tahir, D. (2022). High transparent wood composite for effective X-ray shielding applications. *Materials Research Bulletin*, 154, 111930.
- [27] Sayyed, M. I. (2017). Half value layer, mean free path and exposure buildup factor for tellurite glasses with different oxide compositions. *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 3191-3197.
- [28] El-Sayed A. Waly, Michael A. Fusco, Mohamed A. Bourham, Gamma-ray mass attenuation coefficient and half value layer factor of some oxide glass shielding materials, *Annals of Nuclear Energy*, Volume 96, 2016, Pages 26-30.
- [29] Almurayshid, M., Alsaqabi, S., Alssalim, Y., Alotaibi, Z., & Almsalam, R. (2021). Feasibility of polymer-based composite materials as radiation shield. *Radiation Physics and Chemistry*, 183, 109425.
- [30] Islam, S., Mahmoud, K. A., Sayyed, M. I., Alim, B., Rahman, M. M., & Mollah, A. S. (2020). Study on the radiation attenuation properties of locally available bees-wax as a tissue equivalent bolus material in radiotherapy. *Radiation Physics and Chemistry*, 172, 108559.
- [31] Al-Hadeethi, Y., Sayyed, M. I., Mohammed, H., & Rimondini, L. (2020). X-ray photons attenuation characteristics for two tellurite based glass systems at dental diagnostic energies. *Ceramics International*, 46(1), 251-257.
- [32] Akman F., Durak R., Turhan MF., Kaçal M.R., 2015. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Applied Radiation and Isotopes*, 101: 10.
- [33] Mahmoud, K. A., Tashlykov, O. L., El Wakil, A. F., Zakaly, H. M., & El Aassy, I. E. (2019, December). Investigation of radiation shielding properties for some building materials reinforced by basalt powder. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2174, No. 1).
- [34] Application of the MCNP5 code to simulate the shielding features of concrete samples with different aggregates, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 174, 2020.



## Türkiye'de Enerji Verimliliği için BEP-TR Yöntemi Kullanımının Maliyet ve Malzeme Analizi: Örnek Bir Model Değerlendirmesi

Başak ZENGİN<sup>1\*</sup>, Hasan POLAT<sup>2</sup>, Uğur Eren YURTCAN<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Istiklal Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0003-3719-9423, e-mail: basakzengin@istiklal.edu.tr

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0003-1521-0695, e-mail: hpolat@bingol.edu.tr

<sup>3</sup>Bingöl Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Bingöl/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0001-5040-2786, e-mail: ueyurtcan@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 06.10.2023, Kabul/Acceptance: 16.11.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### Özet

Son yıllarda dünya genelinde enerji kaynaklarının azalmaya başlaması, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının ihtiyaca cevap verememesi nedeniyle, insanlık enerjiyi daha verimli kullanma konusunda çaba harcamaya başlamıştır. Bunun için ülkeler karbon salınımı ve emisyon düzeylerini kontrol altına almak için yönetmelik ve sistemler geliştirmektedir. Ülkemizde ise enerji verimliliğini artırmak için yapılarda enerji kimliklendirme çalışmaları zorunlu hale getirilmiştir. Yapılarda enerji kimliklendirme çalışmaları için kurulan sitem doğrultusunda uzman ekiplerle birlikte binalara enerji kimlikleri oluşturulmaktadır. Bu çalışmada ise enerji kimlik belgelendirmede BEP-TR uygulamasının örnek bir denemesi yapılmıştır. Enerji verimliliği ile malzeme ilişkisi kıyaslanıp maliyet analizi yapılmıştır. Seçilen örnek bir yapı üzerinde malzemeler değiştirilerek hem kimliklendirme işlemi hem de maliyetler kıyaslanmıştır. Enerji verimliliği için yapılan bu çalışmada BEP-TR uygulamasıysa enerjideki tasarruf modeli geliştirilmiş ve yapıların uygunluğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji verimliliği, Enerji kimlik belgesi, BEP-TR yazılımı, Malzeme ve maliyet analizi

### Cost and Material Analysis of Using BEP-TR Method for Energy Efficiency in Turkey: A Sample Model Evaluation

#### Abstract

In recent years, due to the global decline in energy resources and the inability of renewable and alternative energy sources to meet demand, humanity has begun to make efforts to use energy more efficiently. For this reason, countries are developing regulations and systems to control carbon emissions and emission levels. Energy identification studies have been made compulsory in buildings to increase energy efficiency in our country. Energy identities for buildings are created by teams of experts according to the system established for energy identification studies in buildings. In this study, we tested the BEP-TR app for energy certification. The relationship between energy and material efficiency is compared and a cost analysis is performed. By changing the materials on a selected sample structure, both the identification process and the costs were compared. In this energy efficiency study, the BEP-TR application, an energy saving model was developed and the suitability of the buildings was determined.

**Keywords:** Energy efficiency, Energy identity certificate, BEP-TR software, Material and cost analysis

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın yaşamını sürdürmesi ve ekonomik anlamda gelişmenin sağlana bilinmesinde temel gereksinimlerden biri enerjidir [1]. Gelişen teknolojiyle birlikte insanların yaşam tarzı ve düşünce biçimleri değişmiş, daha fazla teknolojik ürün kullanılmaya başlanmıştır. 21. yüzyılı yaşarken, bu teknolojik gelişmelerle birlikte insan yaşamı konforuyla beraber enerji tüketimi de artmıştır [2]. Artan enerji tüketimini azaltmak ve enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmak için yalnız enerjinin sağlanması ve üretilmesi değil, aynı zamanda çevreye duyarlı temiz enerji kullanımının da sağlanmasına yönelik planlamaların yapılması gerekmektedir [3]. Ulusal düzeyde önemi bir değere sahip olan enerji verimliliği kavramı, enerji fiyatları, enerji arzı, enerji güvenliği, iklim değişikliği, teknolojik gelişmeler gibi çalışmaların temelini oluşturmaktadır [4].

Günümüzde enerji verimliliğine yönelik çalışmaların artmakta ve sürdürülebilir kalkınmanın önemi daha çok anlam ifade etmektedir. Enerji verimliliğinin enerji (üretim, iletim ve tüketim) aşmalarında yanlış kullanımın azaltılması enerji politikalarının önemli bir bileşeni olmuştur [5-6].

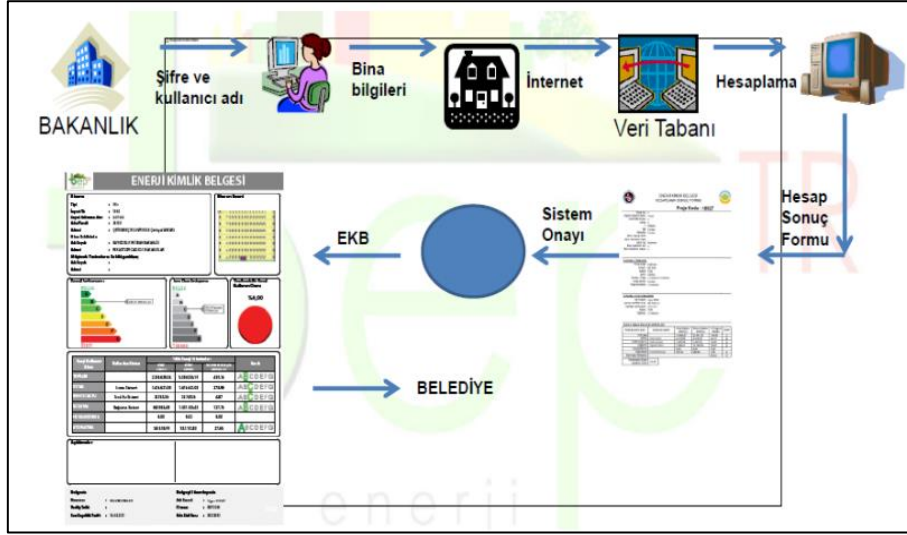
2008'de kabul edilen Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında, Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği uyarınca, her binanın Avrupa Direktifi gereği Enerji Kimlik Belgesi alması zorunlu hale getirilmiştir [7]. 05.12.2008'de hayata geçirilen Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 01.01.2011'den itibaren binalarda enerji kimlik belgesi uygulamasının başlamasını öngörmektedir. Bu belgeler, BEP-TR yazılımı kullanılarak oluşturulmaktadır [8].

Yapılan bu çalışmada seçilen üç örnek yapıdan BEP-TR uygulaması kullanılarak binaların enerji verimliliği hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca farklı malzemelerle maliyet analizi de yapılmış olup maliyet enerji verimiyle ilişkisi yorumlanmıştır.

## 2. METOD

### 2.1. BEP-TR yazılımı

Yapıların sera gazı ve enerji sınıfını belirlemek için kullanılan BEP-TR programı internet kullanılarak çalışan programdır. BEP-TR programına ait görsel Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. BEP-TR döngüsü görseli [9]

BEP-TR’de bir binanın enerji performansının belirlenmesinde aşağıda belirtilen adımlar izlenilmektedir;

- Yıllık enerji tüketimi belirlenir ( $m^2$  başına düşen) [10],
- Belirlenen değere göre  $CO_2$  salımı hesaplanır,
- Değerler, referans bir binanın değerleri ile karşılaştırılır,
- Karşılaştırma sonucunda, bina A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilir.

Farklı enerji sınıfları kullanılarak bina enerji performansını belirlenir. Belirlenen bu enerji sınıfları sırasıyla A, B, C, D, E, F ve G harflerinden meydana gelmektedir. Enerji sınıfları ve enerji performansları Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’deki veriler incelendiğinde, A sınıfının en düşük enerji tüketimine sahip olduğu, karşılığında ise G sınıfının en yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir.

BEP-TR programına kaydedilen bina verileri, binanın enerji sınıfını belirlemek için kullanılır. Binaların enerji performansının kabul edilebilir bir düzeyde olması için en düşük olarak C sınıfında olmaları beklenir [11].

Tablo 1. Enerji Sınıfı Değerleri

Enerji sınıfı	$E_p$ aralıkları
<b>A</b>	0-39
<b>B</b>	40-79
<b>C</b>	80-99
<b>D</b>	100-119
<b>E</b>	120-139
<b>F</b>	140-174
<b>G</b>	175-..

## 2.2. Enerji Kimlik Belgesi (EKB)

Enerji ihtiyaçları, enerji sınıflandırması, izolasyon özellikleri ve ısıtma/soğutma sistemlerinin etkinliği gibi bilgileri içeren Enerji Kimlik Belgesi (EKB), BEP-TR yazılımıyla hazırlanır [12].

Verilerin girilmesiyle, 'Enerji Kimlik Belgesi' oluşturulur; bu belgede birim metrekare başına düşen yıllık enerji harcaması hesaplanır ve buna bağılı olarak CO<sub>2</sub> salınımı ölçülür. Enerji Kimlik Belgesi (EKB), yıllık olarak hesaplanan aydınlatma, havalandırma, ısıtma, soğutma ve su ısıtma için birincil enerji tüketimini içerir. Bu değerler, bir referans binasının değerleri ile karşılaştırılarak, yapının enerji sınıfı 'A' ile 'G' arasındaki harfle belirlenir.

## 2.3. Örnek Uygulama

Enerji tüketimini sınırlamak için alınabilecek basit önlemlere dikkat çekebilmek adına enerji kavramı temel alınarak BEP-TR uygulaması farklı malzemelerle denenmiştir. Elde edilen verilerle enerji performansını etkileyen malzemeler ve bu malzemelerin maliyetleri göz önüne alınarak analiz yapılmıştır.

Enerji kimliklendirmede enerji tüketimlerinin kıyaslanıp değerlendirilmesini yapabilmek için Kahramanmaraş'ta farklı özelliklerde üç bina seçilmiştir ve bunların kimliklendirilmesi yapılmıştır. Bu üç binanın enerji sınıfı için ısıtma, sıcak su, soğutma ve aydınlatma enerjileri hesaplanmıştır. Binaların birim alan başına göre hesapları tamamlandıktan sonra binalar için enerji kimlikleri elde edilmiştir. Bu binalardan iki tanesinin enerji sınıfı 'C' ve diğeri 'B' olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşama olarak iki katlı yeni bir yapı seçilmiştir. Bu yapının üretiminde iki farklı malzemeye göre tasarım yapılmıştır. Böylece malzeme özellikleri farklı örnek iki tip bina ile çalışılmıştır. Malzeme özelliklerinin binanın yalıtım sistemini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu da binanın enerji performansını etkilemiştir. Malzeme ve maliyet analizi verilerini değerlendirebilmek için binaların enerji kimlik verisi 'C' olarak belirlenmiştir. Bina tasarımlarında minimum sınır 'C' seviyesidir. Bina üretiminde maliyet analizi yapılmış ve iki farklı malzemeye göre binalar kıyaslanmıştır.

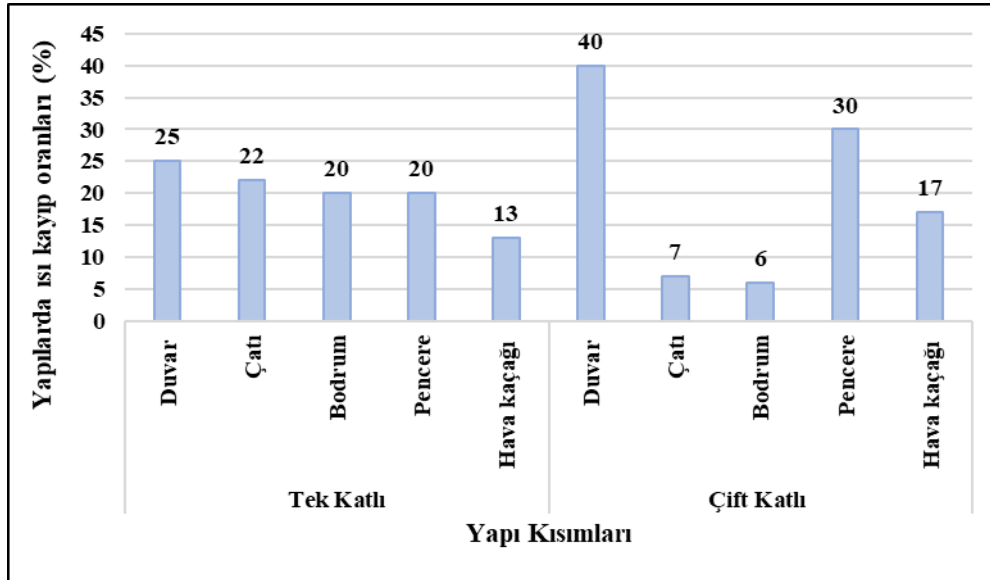
## 3. BULGULAR

Yapıların enerji kimlik seviyelerine göre, yapılan inceleme sonucunda iki bina yapıların alması zorunlu minimum seviye olan C ye uygun kimlik elde edilirken bir binada ise B seviye uygun kimliklendirme elde edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda birim alan başına harcanan enerjinin performans sınıfına etkisi Tablo 2'de gösterilmiştir.

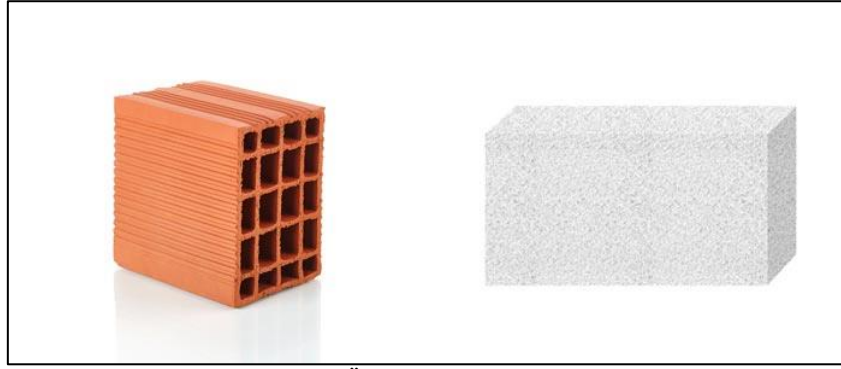
**Tablo 2.** Alan başına harcanan enerjinin göre performans sınıfının belirlenmesi

SİSTEMLER	YILLIK ENERJİ TÜKETİMLERİ								
	1.BİNA Alan: 2250M <sup>2</sup>			2.BİNA Alan: 1178M <sup>2</sup>			3.BİNA Alan: 7592M <sup>2</sup>		
	Birincil(kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)	SINIFI	Birincil(kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)	SINIFI	Birincil(kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)	SINIFI
Toplam	264879,29	117,74	C	135955,17	115,37	C	697074,86	91,81	B
Isıtma	145247,28	64,56	C	72396,89	61,43	C	346933,10	45,70	D
Sıcak Su	38969,19	17,32	C	19528,36	16,57	C	159766,61	21,04	C
Soğutma	76567,21	34,03	C	42140,23	35,76	C	151272,10	19,92	B
Aydınlatma	4095,61	1,82	A	1889,69	1,60	A	39103,05	5,15	A

Kimliklendirme sürecinden sonra C seviyesinde belge alan bir binada malzeme ve maliyet analizi yapılmıştır. Duvar yapı elemanlarının ısı değişimleri üzerinde odaklanılarak, yıllık enerji kayıpları detaylı bir şekilde araştırılmaktadır. Bu hedefe yönelik olarak, Şekil 2'de gösterilen tuğla ve gaz beton malzemeleri kullanıldı. Şekil 2'de gösterilen yapıların ısı kayıp oranlarına bakıldığında, en yüksek kayıpların hem çok katlı hem de tek katlı binalarda duvar kısımlarından kaynaklandığı görülmüştür. Bu sebeple, bu çalışma kapsamında binalarda kullanılan duvar yapı malzemelerinin ısı değişimleri ve yıllık enerji kayıpları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kullanılan örnek bina malzemeleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Yapılarda ısı kayıp oranları [13]



Şekil 3. Örnek bina malzemeleri

Hafif agrega içeren ve sıva kullanılan duvar kesitlerinde, kireç-çimento harcı, duvar malzemesi, polistiren köpük ve anorganik esaslı malzemelerin özelliklerine göre, binalar BEP-TR yazılımı ile modelleme yapılmıştır. İki yapının karşılaştırılabilmesi için enerji kimlikleri C sınıfında tutulmuştur.

Tablo 3. Binaların Enerji Sınıfları

Malzeme Türü	Enerji Performansı	Sera Gazı Emisyonu
Tuğla	C-95	C-96
Gaz Beton	C-95	C-96

Duvar kalınlığının ısı kayba etkisini belirlemek için tuğla 13.5 tuğla +5cm yalıtım malzemesi, gaz beton 20 cm malzemeler için hesaplamalar yapılmıştır. Malzeme kesitleri incelendiğinde kolon- kiriş, kireç-çimento harcı, donatılı beton, polistiren köpük esaslı hafif malzemelerden yapılmış sıvadan oluşmakta ve ayrıca kesitlerde tavan ve tavan kesitleri tüm analizler sabit tutulmuştur. Malzemelerin enerji ve boyut değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Malzemenin enerji ve boyut değerleri (kWh/m<sup>3</sup>)

Malzeme	Boyut	Duvar Isı Kaybı	Kolon Isı Kaybı	Toplam Isı Kaybı	Yıllık Kaybı	Isı
Tuğla	13,5	108,41	59,58	130,32	1563,84	
Gaz beton	20	108,41	59,58	130,32	1563,84	

Tablo 4’deki değerler incelendiğinde 13,5 cm tuğla + 5 cm yalıtım ve gaz beton ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda tuğla için 13,5 cm + 5 cm yalıtım da 108,41 kWh/m<sup>3</sup> ısı kaybı 20 cm gaz beton da aynı enerji kaybı yaşanmaktadır.

Tablo 5. Bina Maliyetleri

Malzeme	Boyut	Dış Duvar Alan	Yalıtım Miktar (5 cm yalıtım)	Toplam birim fiyat (yalıtım dahil TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Tutar
Tuğla	13,5	300,41	300,41	385	115.657,85
Gazbeton	20	300,41		310	93.127,10

Bina maliyet tablosu incelendiğinde ise 13 cm'lik tuğla + 5 cm yalıtımın toplam maliyeti 115.657,85 TL, 20 cm'lik gaz beton maliyeti 93.127,10 TL yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Bu analize göre gaz betonun bina üretiminde enerji tasarrufu açısından daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler şeklinde sıralanmıştır.

- Çalışma kapsamında bulunan değerler, değerlendirildiğinde duvarlarda farklı malzemelerin olmasına rağmen ısı kaybı ve enerji sınıfı benzer değerler göstermiştir. Malzemeler karşılaştırıldığında, tuğlada 5 cm 'lik yapılmadığı takdirde ısı kaybı fazla olacağı gözlemlenmektedir.
- Malzeme boyutu, ısı kayıplarını en aza indirmek için önemli bir faktör olarak belirlenmiştir. Isı kayıpları, malzeme boyutuyla doğru orantılı olarak azalır; ancak malzeme boyutunun artması maliyeti artırır. Maliyetlerle ısı kayıpları arasında önemli bir fark olduğu rapor edilmiştir.
- Ekonomik açıdan olumsuz bir durum oluşturduğu gözlemlenen, 20 cm kalınlığındaki gaz betonun yapım maliyeti ile karşılaştırıldığında, 13,5 cm tuğla + 5 cm yalıtımın kullanılması, gaz betonunun daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır.
- Gaz betonun uygun fiyatı ve düşük işçilik maliyeti nedeniyle yaygın bir malzeme olarak kullanılabilir. Diğer taraftan, tuğlanın ısı kayıplar açısından zayıf olması ve kolay ulaşılabilir olması tercih nedenidir. Fakat tuğla tek başına ısı yalıtımı sağlamadığından dolayı ek yalıtım gerektirmektedir. Gaz beton, düşük maliyet değeri ve farklı malzemelere göre daha uygun fiyata sahip olması birçok yapıda kullanılabilir potansiyele sahiptir. Daha fazla bina ve daha farklı yapı malzemeleri için incelemeler yapılması ileride yapılacak olan çalışmalar için tavsiye edilmektedir.

#### KAYNAKLAR

[1] Odası, M. M. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu, 2008.

[2] Oğan, H., Yıllankırkan, N. Türkiye’nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 2015. 3(1), 375-384.

[3] Flavin, C., Lenssen, N. Enerjide Arayışlar, Çeviren: Yaman Köseoğlu Tema Vakfı, Yayın No: 12, 1994.

[4] Hardcastle, A., Waterman-Hoey, S. Energy Efficiency Industry Trends and Workforce Development in Washington State, Washington State University. 2009.

[5] Sağbaşı A., Başbuğ B., “Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Enerji Verimliliği Uygulamaları: Türkiye Değerlendirmesi”, European Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, 1: 43-50,

- [6] Demirsoy G., Sözen A. Binalarda enerji verimliliğinin toplam faktör etkinliği, Politeknik Dergisi, 2022, 1.1.
- [7] Aydın, Ö., Canım, D. S. Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR1)'in Kullanılabilirliğinin ve EKB Uygulamasının Değerlendirilmesi. Mimarlık ve Yaşam, 2017, 2(2), 265-277.
- [8] Acarkan, B., & Yiğit, K. Bep-tr yazılımı ile konutlarda enerji kimlik belgesi uygulaması ve aydınlatmaya yönelik tüketilen enerjinin tasarruf potansiyelinin belirlenmesi. 2013.
- [9] Bep-Tr Yazılımı, [www.bep.gov.tr](http://www.bep.gov.tr), 2023.
- [10] Erikci, S. N., & Gedik, G. Z. Bina enerji performansı hesaplama yöntemi (bep-tr) kapsamında, farklı iklim bölgelerinde yapı biçimi dönüşümünün ve zon sayısı hesabının değerlendirilmesi, 12. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi – 8-11 Nisan 2015/İzmir.
- [11] İsmet, Y., Sadık, Ö., Koçer, A., Güngör, A. Binalarda enerji performansının belirlenmesinde farklı illerin karşılaştırılması, Küresel mühendislik çalışmaları dergisi, 2016, 3(2), 127-135.
- [12] Akın, C. T., Kaplan, S. Enerji kimlik belgelerinin enerji etkin mimari tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, ss. 2019373-384
- [13] Bayer, G. Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.



## Hazır Beton Santralinin Karbon Emisyonlarının Belirlenmesi

Umut ÇÜMEN<sup>1</sup>, Hakan SARIKAYA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0000-0003-3036-633X, e-mail: umutcumen7@gmail.com

<sup>2\*</sup>Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Uşak, Türkiye  
ORCID No: 0000-0002-8043-3302, e-mail: hakan.sarikaya@usak.edu.tr

(Alınış/Arrival: 07.11.2023, Kabul/Acceptance: 08.12.2023, Yayınlanma/Published: 15.12.2023)

### Özet

19. yüzyıldaki sanayi devriminden sonra artan İnsan faaliyetlerinin sonucu olarak ortaya çıkan sera gazlarının atmosferde birikmesi olayına küresel ısınma denilmektedir. Küresel ısınma küresel iklim değişikliğinin de sebebidir. İnşaat sektörü insan faaliyetlerinin yoğun olduğu bir alandır. Ekonomimizdeki payı da giderek artmaktadır. Yapılan bu çalışmada, İnşaatın temel yapı elemanlarından biri olan betonun üretilmesi ve ulaştırılması süreçlerinde karbon emisyonu tCO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır. Elektrik, su, nakliye aşamasında dizel yakıt ve ısınma da linyit kömürü kullanımından elde edilen enerji tüketim verileri Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) ve İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA) metodlarıyla hesaplanmış ve toplam karbon emisyonu 250.891 tCO<sub>2</sub>e bulunmuştur. CO<sub>2</sub> in sera gazları içindeki oranı daha fazla çıkmıştır. Bu oran %98.611 (247,405 tCO<sub>2</sub>e) dir. CH<sub>4</sub> emisyonu %0,154 (0.387 tCO<sub>2</sub>e) NO<sub>2</sub> ise %1,236 (3.099 tCO<sub>2</sub>e) dir. Hazır beton üretim tesisinin faaliyetleri göz önünde bulundurularak en çok karbon emisyonu nakliye aşamasında ortaya çıkmıştır. Nakliye aşamasında %67.31 (168.857 tCO<sub>2</sub>e), ısınmada %24.11 (60.494 tCO<sub>2</sub>e), elektrik kullanımında %7.56 (18.947 tCO<sub>2</sub>e), su kullanımında %1.04 (2.603 tCO<sub>2</sub>e) olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hazır beton, Karbon ayak izi, Uşak.

### Determination Of Carbon Emissions Of Ready-Mixed Concrete Plants

#### Abstract

After the 19th century industrial revolution, the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere as a result of increasing human activities is called global warming. Global warming is also the cause of global climate change. The construction sector is an area where human activities are intense. Its share in our economy is also increasing. In this study, carbon emission was calculated as tCO<sub>2</sub>e in the processes of production and transportation of concrete, one of the basic building elements of construction. Energy consumption data obtained from the use of electricity, water, diesel fuel during transportation and lignite coal for heating were calculated with Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) methods and total carbon emission was found to be 250.891 tCO<sub>2</sub>e. The proportion of CO<sub>2</sub> in greenhouse gases was higher. This rate is 98.611% (247.405 tCO<sub>2</sub>e). CH<sub>4</sub> emission is 0.154% (0.387 tCO<sub>2</sub>e) and NO<sub>2</sub> is 1.236% (3.099 tCO<sub>2</sub>e). Considering the activities of the ready-mixed concrete production plant, the highest carbon emission occurred during the transportation phase. It was determined as 67.31% (168.857 tCO<sub>2</sub>e) in transportation, 24.11% (60.494 tCO<sub>2</sub>e) in heating, 7.56% (18.947 tCO<sub>2</sub>e) in electricity use, 1.04% (2.603 tCO<sub>2</sub>e) in water use.

**Keywords:** Ready-Mixed Concrete, Carbon Footprint, Uşak.

## 1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra insan etkisiyle sera gazları üretimi artmış ve endüstriyel fabrikalara yer açmak ve kentleşmenin hızlanmasıyla ormanlar tahrip edilmiştir. Ulaşım, ısınma, barınma ve endüstriyel fabrikaların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan sera gazları dünyanın ısınmasına ve bu ısınmanın sonucu olarak iklim değişikliğine sebep olmuştur. Sera gazları, (karbondioksit, su buharı ve diğer gazlar) dünyanın ısısının ayarlanmasında ve korunmasında önemlidir. Sera gazları, güneşten yansıyan ışınların dünyadan hemen ayrılmasını engelleyerek dünyanın canlılığını sağlar. Sera etkisi olarak adlandırılan bu durum iklim sisteminin bir parçasıdır ancak son zamanlara hızla artan sera gazları, yeryüzünde güneşten gelen ışınların uzaya yansımaya engel olmakta; sera etkisinin görülmesine ve bunun sonucunda yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışa (küresel ısınmaya) ve iklimde inanılmaz değişikliklere neden olmaktadır.

İklim sistemi bir bütün olarak uzun yıllar boyunca süren ve izlenen doğa olaylarını kapsamaktadır. Bu sistemin değişmesi orada yaşayan canlılar için bir tehdit oluşturmaktadır. Yapılan bazı araştırmalarda dünyanın ikliminin ısındığı gözlemlenmektedir. Bu ısınma böyle devam ederse 2060 yılında 4°C seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu değişiklik küçük gibi görünse de dünyada bu denli bir ısınmanın etkilerinin büyük olabileceği ve bu ısınmanın önümüzdeki 100 yılda artmaya devam edeceği düşünülmektedir. Sanayi devriminden bu yana atmosferdeki (CO<sub>2</sub>) %30, Metan (CH<sub>4</sub>) %200 den fazla, (N<sub>2</sub>O) ise %15 kadar artmıştır [1].

Bu gazların oranının atmosferde artışı yeryüzünde sıcaklığın gittikçe artmasına sebep olmaktadır. Bütün canlıların ve dolayısıyla fosil yakıtların temelini oluşturan karbon canlıların solunum faaliyetleri, topraktaki mikroorganizmaların faaliyetleri ve antropojenik yanma aktiviteleri sonucu CO<sub>2</sub> olarak atmosfere salınmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli en düşük fakat atmosferdeki miktarı bakımından en önemli sera gazı olan CO<sub>2</sub> sera gazlarının başında gelmektedir [2].

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre; "Sistemi ısınmaya zorlayan en önemli faktör atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazın artışıdır ve tabii ki bu artış insan kaynaklıdır. İnsan etkisi, 21. yüzyıl boyunca atmosfer bileşimini değiştirmeye devam edecektir. CO<sub>2</sub>, insan aktivitelerinden kaynaklanan en geniş ölçekteki sera gazıdır. Fosil yakıtlarının yakılması ya da biokütlelenin yakıt olarak kullanılması yakılması, örneğin arazi genişletme sırasında ormanların yakılması ve bazı endüstriyel ve kaynak çıkarma işlemleri ile karbondioksit salınır" [3].

Karbondioksit sera gazları içerisinde en büyük orana sahip olduğundan "Karbon Ayak İzi" hesaplamasında ana bileşen olarak kabul edilerek kullanılır. Karbon ayak izi kavramı ilk olarak William E. Rees ve Mathis Wackernagel tarafından ekolojik ayak izi kavramının bir parçası olarak ortaya çıkmıştır [4].

Karbon ayak izi, atmosfere yaşamsal faaliyetler sonucu salınan gazlardan karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu gazların sera gazları adı altında en büyük orana sahip karbondioksit cinsinden eş değer CO<sub>2</sub> miktarı gram (CO<sub>2</sub>e) olarak değerlendirilerek hesaplanmasıdır. Bireylerin ya da toplumların tüm yaşamsal faaliyetleri sonucunda doğaya salınan (CO<sub>2</sub>) emisyon miktarına/eşdeğerine o bireyin ya da topluluğun karbon ayak izi denilmektedir [5].

Modern yaşama geçiş ve nüfus artışı ile öne çıkan sera gazı kaynakları, enerji üretimi ve kaynak kullanımı, taşıt ve toplu taşıma, sanayi ve tarımsal kullanımlar ve benzeri diğer insan faaliyetleri sonucu oluşan emisyonlardır. Karbon ayak izi temelde iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar birincil ve ikincil karbon ayak izi olarak adlandırılır. Birincil karbon ayak izinde temel bileşen

evsel ve endüstriyel ısınma ve aydınlatma, enerji tüketimi ve ulaşım ve taşıma sonucu oluşan doğrudan fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır. İkincil karbon ayak izi ise kullanıma sunulana kadar tüm üretim kullanım ve tabiatta bozulma sonucunda ortaya çıkan dolaylı CO<sub>2</sub> emisyonları olarak ifade edilmektedir. Bu verilerle karbon ayak izi hesabında hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre 3 ana yaklaşım ile hesaplama yapılır. *Tier* adı verilen bu yaklaşımlar 3 farklı kategoriden oluşur. Bunlar *Tier 1*, *Tier 2* ve *Tier 3* yaklaşımlarıdır. *Tier 1* yaklaşımında, ülkenin enerji istatistiklerinden alınan veriler ve kullanılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ile emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapılır. *Tier 2* yaklaşımında ise *Tier 1*'e belirlenmiş ve ülkeye veya belirli bölgelere ait özel emisyon faktörleri ile yakma teknolojileri kullanılır. *Tier 3* yaklaşımında ise, yakıt istatistikleri ve yakma teknolojisine göre belirlenmiş teknolojiye bağlı emisyon faktörleri ile yakma tesislerinin yakıtı ait ısı güçleri ve istatistiksel bilgiler kullanılır [6].

İnsan faaliyetlerinin yoğun olduğu meslek kollarını içermektedir. İnşaat sektörünün ülkemizdeki gelişimi son yıllarda hızla artmakta ve ekonomimizde hatırı sayılır bir yer edinmektedir. Bu nedenle yoğun faaliyetlerin olduğu bu alanın insan yaşamına etkilerini incelemek ve olası olumsuz etkilerini tespit etmek önem arz etmektedir. İnşaat sektörünün en çok kullandığı yapı malzemesi olan betonun üretildiği kurumların, sayılarının her geçen gün artması ve şehirlere yakın olması nedeniyle incelenmesi gerekmektedir.

Betonun insanların barınmasındaki payı çok fazladır. Kişi başına yaklaşık yılda 1 m<sup>3</sup> beton düşmektedir. Beton ülkemizin doğal kaynaklarıyla üretilebilmesi nedeniyle ülkemiz için vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Son yıllarda büyük miktarlarda üretilen bu malzemenin karbon ayak izinin tespiti için, kullanımını daha sürdürülebilir olması nedeni ve stratejilerin belirlenmesindeki önemi nedeniyle giderek beton teknolojisi olarak daha fazla önem kazanmaktadır [7]. Beton santrallerindeki üretimin karbon salınımındaki payının bilinmesi, azaltılması için önlemlerin alınmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma da Uşak ilindeki bir hazır beton üretim tesisinin beton üretimi aşamalarında ve betonun kullanılacağı alana nakliyesi sırasındaki enerji tüketiminin bir sonucu olarak atmosfere salınan sera gazlarının oranını Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) ve İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA) gibi uluslararası hesaplama yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın insan faaliyetleri sonucu artan sera gazlarının inşaat sektörü açısından değerlendirilme ve önlem alma çalışmalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

## 2. METOD

Bu çalışmada Uşak ilinde bulunan bir beton santralının betonun üretilmesi, nakliyesi aşamalarındaki karbon ayak izi IPCC Tier 1 metoduyla hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesabında hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre 3 ana yaklaşım ile hesaplama yapılır. Tier adı verilen bu yaklaşımlar 3 farklı kategoriden oluşur. Bunlar Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarıdır. Tier 1 yaklaşımında, ülkenin enerji istatistiklerinden alınan veriler ve kullanılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ile emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapılır. Tier 2 yaklaşımında ise Tier 1'e belirlenmiş ve ülkeye veya belirli bölgelere ait özel emisyon faktörleri ile yakma teknolojileri kullanılır. Tier 3 yaklaşımında ise, yakıt istatistikleri ve yakma teknolojisine göre belirlenmiş teknolojiye bağlı emisyon faktörleri ile yakma tesislerinin yakıtı ait ısı güçleri ve istatistiksel bilgiler kullanılır [8]. Bu santral Uşak ilindeki yedi tane santralden biridir. Santralin, insanların yaşadığı yerde olması sebebiyle seçilmiştir. Santralde elektrik kullanımının yanında ısınma için kömür, nakliye aşamalarında

ise dizel yakıt kullanılmaktadır. Bir yılı hesaplamak için 2022 yılındaki verilerden yararlanılmıştır.

Hazır beton üretim süreci, hazır betonun bilgisayar sistemleri ile belirlenen miktarlarda üretilmesi, taşınması ve şantiye ortamında dökümü ve yerleştirilmesi aşamalarını içermektedir. Hazır beton santralinde çimento depolamak için silolar, agrega depolamak için bunkerler, tartım için tartı bunkerleri, su depolamak için su tankları, katkı depolamak için tanklar ve panmikser bulunmaktadır [9].

## 2.1. Beton Santralinin Yıllık Tüketim Verileri

Beton santralin de bantların, karıştırıcıların ve suyun geri dönüşümü için elektrik, Isınma için kömür, nakliye için dizel yakıt ve betonda ve toz emisyonunda su kullanılmaktadır. Bu aşamalarda üretilen karbon ayak izini belirleyebilmek için santral kayıtlarından yararlanılmıştır. Tablo 1’ de beton santralinin yıllık verileri verilmiştir. Bu veriler ışığında hesaplamalar yapılarak CO<sub>2</sub> ve CO<sub>2e</sub> emisyon miktarlarına kısaca beton santralinin karbon ayak izine ulaşılmıştır.

**Tablo 1.** Beton santrali yıllık tüketim verileri

<u>Tüketim</u>	<u>Miktar</u>
Elektrik	97965 kw/yıl
Dizel Yakıt	62340 lt/yıl
Su	17472 lt/yıl
<u>Katı Yakıt (Linyit kömür)</u>	<u>55000 kg/yıl</u>

## 2.2. Karbon Ayak İzi Hesaplama Metodu

Bu çalışmada, hazır beton santralinde bilgisayar sistemleri ile belirlenen miktarlarda üretim ve nakliye sonucu ulaşım ve ısınmadan aynı zamanda elektrik ve sudan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu yapılan çalışmada karbon ayak izi hesaplamaları için IPCC kılavuzunda yer alan Tier-1 yaklaşımının hesaplama metodolojisi ve emisyon faktörleri seçimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [3]. Tier 1 yaklaşımı, 2006 IPCC Rehberinde varsayılan emisyon faktörleriyle yapılan hesaplamaları içermektedir. Denklem 1 ile elde edilen sonuçlar sera gazı emisyon miktarını vermektedir. Yakıtların yanması sırasında CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının üretimi de olduğunda hesaplamaya dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının CO<sub>2</sub> miktarları dikkate alınmıştır. Hesaplamalar yapılırken IPCC raporunda her yakıt için ayrı ayrı verilmiş emisyon faktörleri, kalorifik değerleri esas alınmıştır. Elektrik tüketimi ve su tüketimine bağlı karbon ayak izi hesaplamasında DEFRA tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri kullanılmıştır. Fosil yakıtlar için karbon ayak izi hesaplanırken yanma işleminden kaynaklanan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak CO<sub>2</sub> eşdeğerine çevrilerek hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesaplamasında kullanılacak denklemler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** IPCC Tier 1 yöntemi denklemleri

---

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

---

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [TC/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \times 10^{-3} \quad (2)$$

---

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [Gg C]} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (3)$$

---

$$\text{Karbondioksit Emisyonu [Gg CO}_2\text{]} = \text{Karbon emisyonu [Gg C]} \times 44/12 \quad (4)$$

---

**Tesiste elektrik kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi için denklem;**

$$\text{Karbondioksit Emisyonu [ton CO}_2\text{]} = \text{Elektrik Tük. [KW]} \times \text{Emisyon Fak. [kg/kW]} \quad (5)$$

---

**Su kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi ise;**

$$\text{Karbondioksit Emisyonu [kg CO}_2\text{]} = \text{Emisyon Faktörü [kg/L]} \times \text{Su Tük. [L]} \quad (6)$$

---

Hesaplamalarda yakıt tüketimi ton üzerinden hesaplandığı için dizel yakıtın hacimden ağırlığa dönüştürülmesi gerekmektedir. TSE tarafından yayınlanan TS EN 590 standart otomotive yakıtları ile ilgili standartları belirlemektedir [10]. Bu standarttaki değerler referans alınarak dizel yakıtın yoğunluğu 0,830 g/l olarak alınmıştır. Yakıtların net kalorifik değerleri Tablo 3’ te verilmiştir.

**Tablo 3.** Yakıtların Net Kalorifik Değerleri

---

Yakıt	Net kalori değeri $KD_{net}$
Dizel	43 tonJ / Gg
Linyit	
Kömür	11,90 tonJ / Gg

---

Yakıtların emisyon faktörleri, IPCC ve DEFRA’dan derlenerek Tablo 4’ de verilmiş ve bu değerler kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

**Tablo 4.** Yakıtların Emisyon Faktörleri

---

	Birim	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Kaynak
Dizel	Kg/tJ	74100	3,9	3,9	(IPCC, 2006)
Linyit Kömür	Kg/tJ	101000	10	1,5	(IPCC, 2006)
Elektrik	Kg/KW	0,19121	0,0008	0,00137	Defra2022
Su	Kg/m <sup>3</sup>	0,149	0	0	Defra2022

---

### 3. BULGULAR

Hazır beton üretim tesisinin enerji tüketim verileri Tablo 5’ de verilmiştir.

**Tablo 5.** Enerji Tüketimi Verileri

	Tüketim	Tüketim TG(Gg)	Net Kalorifik Değerleri $KD_{NET}$ (tonJ/Gg)	Enerji Tüketimi TE (ton J)
Dizel	62340 lt/yıl	0,051742	43 tonJ / Gg	2,224
Linyit	55000 kg/yıl	0,05	11,90 tonJ / Gg	0,595

Hazır beton üretim tesisinin 2022 yılı Enerji tüketiminden kaynaklanan sera emisyonları hesabı Tablo 6’ de verilmiştir. Toplam sera gazı emisyonları ise Tablo 7’ de verilmiştir.

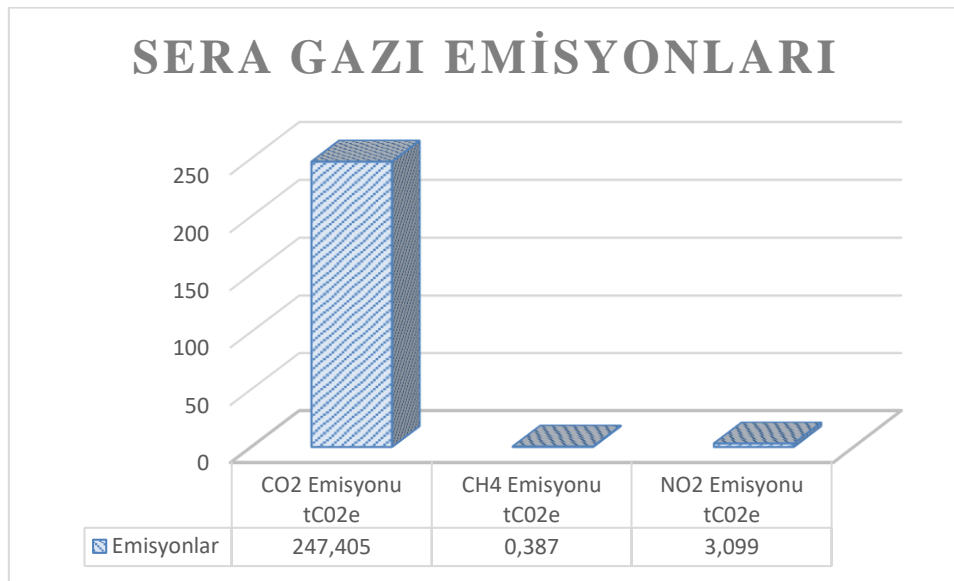
**Tablo 6.** IPCC Tier 1 Yaklaşımına Göre 2021 Yılı Karbon Ayak İzi Hesabı

<b>CO<sub>2</sub></b>					
	Oksitlenme oranı pc	Emisyon faktörü EF	Gaz Emisyonu kg E	GWP G	CO <sub>2</sub> e Emisyonu t CO <sub>2</sub> E <sub>CO<sub>2</sub></sub>
Dizel	1	74100kg CO <sub>2</sub> / ton J	165984	1	165,984
Linyit	1	101000kg CO <sub>2</sub> / ton J	60095	1	60,095
Elektrik		0,19121kg CO <sub>2</sub> e/KW	18723,169		18,7232
Su		0,149 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	2603,328		2,603
<b>CH<sub>4</sub></b>					
	Oksitlenme oranı pc	Emisyon faktörü EF	Gaz Emisyonu Kg E	GWP G	CO <sub>2</sub> e Emisyonu t CO <sub>2</sub> E <sub>CO<sub>2</sub></sub>
Dizel	1	3,9kg CO <sub>2</sub> / ton J	8,674	21	0,183
Linyit	1	10kg CO <sub>2</sub> / ton J	5,95	21	0,125
Elektrik		0,0008 kg CO <sub>2</sub> e/KW	78,372		0,079
Su		0 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0		0
<b>NO<sub>2</sub></b>					
	Oksitlenme oranı pc	Emisyon faktörü EF	Gaz Emisyonu kg E	GWP G	CO <sub>2</sub> e Emisyonu t CO <sub>2</sub> E <sub>CO<sub>2</sub></sub>
Dizel	1	3,9kg CO <sub>2</sub> / ton J	8,674	310	2,69
Linyit	1	1,5 kg CO <sub>2</sub> / ton J	0,893	310	0,274
Elektrik		0,00137 kg CO <sub>2</sub> e/KW	135		0,135
Su		0 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0		0

**Tablo 7. Hazır Beton Santralinin Sera Gazı Emisyonları**

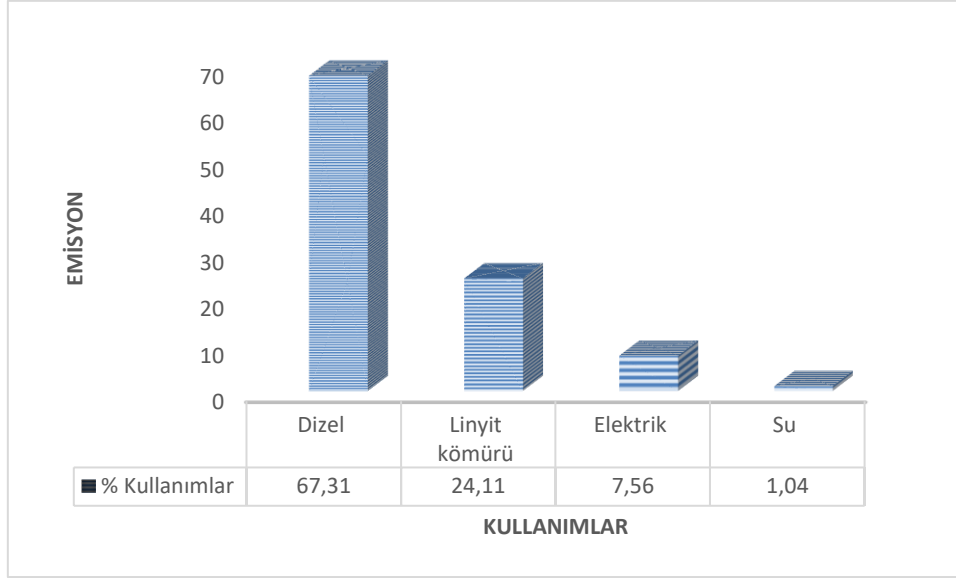
<b>Emisyonlar</b>	<b>Miktarlar tCO2e</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emisyonu</b>	
Dizel	165,984
Linyit	60,095
Elektrik	18,7232
Su	2,603
<b>CH<sub>4</sub> Emisyonu</b>	
Dizel	0,183
Linyit	0,125
Elektrik	0,079
Su	0
<b>NO<sub>2</sub> Emisyonu</b>	
Dizel	2,69
Linyit	0,274
Elektrik	0,135
Su	0
<b>Toplam</b>	<b>250,891</b>

Hazır beton tesisin enerji kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonu hesaplanmış ve toplam karbon emisyonu 250,891 tCO<sub>2</sub>e bulunmuştur. Sera gazları içinde karbondioksit diğer gazlara oranla daha fazla salınmıştır. Bu oran %98,611 (247,405 tCO<sub>2</sub>e)'dir. CH<sub>4</sub> emisyonu %0,154 (0,387 tCO<sub>2</sub>e) NO<sub>2</sub> ise %1,236 (3,099 tCO<sub>2</sub>e)'dir. Hesaplanan sera gazı emisyonları Şekil 1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



**Şekil 1. Hazır beton tesisinin sera gazı emisyonları**

Hazır beton santralinde faaliyetlere göre karbon emisyonu karşılaştırması Şekil 2 de verilmiştir. Nakliye aşamasında %67,31(168,857 tCO<sub>2</sub>e), ısınmada %24,11 (60,494 tCO<sub>2</sub>e), elektrik kullanımında %7,56 (18,947 tCO<sub>2</sub>e), su kullanımında %1,04 (2,603 tCO<sub>2</sub>e) olarak tespit edilmiştir.



. Şekil 2. Hazır beton tesisinin karbon emisyonu karşılaştırması

#### 4. SONUÇLAR

Atmosferde artan ve yaşamı tehdit eden sera gazlarından büyük oranda insan faaliyetleri sorumludur. İnsan faaliyetlerinin çeşitli olması ile birlikte araştırılması ve karbon ayak izinin belirlenmesi gerekmektedir. Yakın bir gelecekte iklim değişikliği sonucu insanlığı zor zamanlar beklemektedir. Bu araştırma da bu düşünceden yola çıkılarak bir insan faaliyeti olan ve en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun üretim tesisinin sera gazı emisyonunu tCO<sub>2</sub>e cinsinden hesaplanmıştır. Barınma ihtiyacı her geçen gün nüfusa oranla artmakta ve bu durumla doğru orantılı olarak beton üretimi de artmaktadır. Hazır beton üretim tesislerinin artan sayıları ve şehre yakın hatta içlerinde yer almaları göz önünde bulunduğunda bu çalışma önem kazanmaktadır. Tesisin ısınmasında linyit kömürü, malzemelerin karışması için bantların ve karışan malzemenin miksera aktarılması, atık suyun dönüşümü için elektrik, nakliye aşamasında dizel yakıt ve beton karışımında ve toz emisyonunun sağlanması için su kullanılmaktadır. Bu değerler santralin yıllık kayıtlarından elde edilmiştir. IPCC ve DEFRA gibi uluslararası hesaplama metodları kullanılarak tier 1 yöntemiyle hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplama da toplam karbon emisyonu 250,891 tCO<sub>2</sub>e bulunmuştur. Sera gazları içinde karbondioksit diğer gazlara oranla daha fazla salınmıştır. Bu oran %98,611 (247,405 tCO<sub>2</sub>e)'dir. CH<sub>4</sub> emisyonu %0,154 (0,387 tCO<sub>2</sub>e) NO<sub>2</sub> ise %1,236 (3,099 tCO<sub>2</sub>e)'dir. Karbondioksitin sera gazları içinde en fazla orana sahip gaz olduğu bu çalışmada da gözler önüne serilmiştir. Santralin faaliyetleri içinde en fazla sera gazı salınımı nakliye aşamasında gerçekleşmiştir. Nakliye aşamasında %67,31(168,857 tCO<sub>2</sub>e), ısınmada %24,11 (60,494



tCO<sub>2</sub>e), elektrik kullanımında %7,56 (18,947 tCO<sub>2</sub>e), su kullanımında %1,04 (2,603 tCO<sub>2</sub>e) olarak tespit edilmiştir. Bu durum betonun üretiminden çok nakliyesinin sera gazı üretiminden büyük oranda sorumlusu olduğunu göstermiştir. Yerel bir firma olması ve üretim kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle büyük şehirlerdeki daha büyük ve daha çok beton üreten santrallere göre sonuçların sınırlı olduğunu söylemeliyiz. Daha fazla beton üreten santrallerde enerji tüketimi daha fazla olacak dolayısıyla atmosfere saldıkları sera gazları da daha fazla olacaktır. Nakliye aşamasında tüketimi azaltmak santralin karbon emisyonunu büyük oranda azaltacaktır.

Elde edilen veriler ışığında beton santrali için küresel ısınmadan kaynaklı karbon emisyonunu azaltacak ve ileriki çalışmalara kaynak olacak öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Karbon emisyonunun hazır beton santralleri için bir zorunluluk olarak yasa da yer alması ve firmaların düzenli olarak sonuçlarını açıklanması sağlanmalıdır.
- Küresel ısınma kaynaklı karbon emisyonu farkındalığı için personele seminerler düzenlenmeli açıklayıcı bilgiler verilmelidir.
- Karbon ayak izini direk etkileyen doğal gaz/kömür, elektrik, ısınma, ulaşım gibi konularda tasarruf sağlayıcı düzenlemeler yapılmalıdır.
- En çok karbon emisyonunun nakliye aşamasında olduğu elde edilen verilerden görülmektedir. Nakliye aşamasında araçların bakımını yaptıрма, gereksiz çalışmasını önleme, tam beton miktarının söylenmesini isteyerek ilave beton oluşmasını önleme, betonun kıvamını doğru ayarlama geri dönmesi ihtimalini azaltma gibi önlemler alınabilir. Gelecekte teknolojinin gelişmesiyle elektrikli trans mikserlerin piyasaya sürüleceği düşünülmektedir. Bu durum daha çevre dostu bir nakliye aşaması oluşturacaktır.
- Elektrik kullanımını azaltmak için güneş enerjisine bağlı paneller kurulmalı, elektriğini kendi üretir konuma gelmeli ve gereksiz kullanımdan kaçınılmalıdır.
- Beton Santrallerindeki tüm elektronik araçların bakımları yapılmalıdır.
- Isınma için kömür kullanımını yerine daha çevre dostu olan doğalgaz kullanımına geçilmelidir.
- Gereksiz su kullanımından kaçınılmalıdır. Atık suların geri dönüşümü sağlanmalıdır.
- Santral çevresi ağaçlandırılmalıdır.

Bu öneriler sonucunda sürdürülebilir bir gelecek için beton santralinde karbon emisyonunun azalacağı düşünülmektedir. Ülkemizin son yıllarda betonarme yapı da yoğunlaşan üretimin çevreye olan etkilerinin azaltmak için bu öneriler yeterli değildir. Karbon emisyonu için daha kapsamlı önlemler alınması, gelişen teknoloji ile birlikte karbon emisyonunun tehlike arz edecek seviyelerden düşürülmesi gerekmektedir. Dünyanın geleceğini korumak adına yapılan çalışmalar değerlidir. Ülkelerin uyguladığı standartların genişletilmesi, yenilerinin yürürlüğe koyulması, ülkelerin bu konuya daha ciddi yaklaşması sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir. Karbon emisyonunun azaltılması için daha çok yolumuzun olduğu asıl işin şimdi başladığı gelecek için araştırmaların devam etmesi gerektiği unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] wwf.org.tr., (2022). İklim Değişikliği.  
[https://www.wwf.org.tr/ne\\_yapiyoruz/iklim\\_degisikligi\\_ve\\_enerji/iklim\\_degisikligi/](https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/iklim_degisikligi/)  
(02.01.2023)
- [2] Dulkadioğlu, H., (2018). Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 67-74.
- [3] IPCC., (2006.) Intergovernmental Panel on Climate Change: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3). IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris.  
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- [4] Bazan, G., (1997). Our Ecological Footprint: reducing human impact on the earth. Electronic Green Journal, 1(7). doi:10.5070/g31710273
- [5] Chen, R., Zhang, R. ve Han, H., (2021). Where has carbon footprint research gone? Ecological Indicators, 120, 106882. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106882>
- [6] Kotchen, M. & Mansur, E., (2016). Reassessing the contribution of natural gas to US CO2 emission reductions since 2007. Nature Communications, 7, 10648. doi:10.1038/ncomms10648
- [7] Yılmaz, D., (2019). Elektronik Atık Geri Dönüşüm Tesisinde Yaşam Döngüsü Yönetimi: Karbon Ayak İzinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [8] Kotchen, M. & Mansur, E., (2016). Reassessing the contribution of natural gas to US CO2 emission reductions since 2007. Nature Communications, 7, 10648.
- [9] Orhon A.V. (2012). Tasarımdan Yapıma, Sürdürülebilir Beton Yaklaşımları, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, Urla, Bildiriler Kitabı, 700-706.
- [10] TS EN 590, 2023. Otomotiv yakıtları - Dizel (motorin) - Gereklere ve deney yöntemleri. Ankara.

## **Bingöl İlçelerinden Elde Edilen Süzme Çiçek Ballarında İnvert Şeker Miktarının Belirlenmesi**

**Buket ARICI<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Bingöl University, Central Laboratory Application and Research Center, Bingöl/Türkiye.  
ORCID No: 0000-0003-2570-0524, e-mail: barici@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 10.11.2023, Kabul/Acceptance: 07.12.2023, Yayınlanma/Published: 17.12.2023)

### **Özet**

Bu çalışmada Bingöl ili Adaklı, Genç ve Karlıova ilçelerinden temin edilen sekiz adet süzme çiçek bal örneğinin invert şeker oranlarının tespiti ve Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne uygunluklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada bal örneklerinin hepsinin Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'nde çiçek balları için belirtilen yasal limite uygun olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal, İnvert şeker, Bingöl, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği

## **Determination of Invert Sugar Amount in Filtered Blossom Honey Obtained from Bingöl Districts**

### **Abstract**

In this study, it was aimed to determine the invert sugar ratios of eight filtered blossom honey samples obtained from Adaklı, Genç and Karlıova districts of Bingöl province and to determine their compliance with the Turkish Food Codex Honey Communiqué. In the study, it was determined that all honey samples comply with the limit value specified for blossom honey in the Turkish Food Codex Honey Communiqué.

**Keywords:** Honey, Invert sugar, Bingöl, Turkish Food Codex Honey Communiqué

### **1. INTRODUCTION**

Türkiye has four different seasons, topographic structure, pine forests, extensive vegetation, industrial plants such as cotton and sunflower, plateaus, pastures, forage crops, and the presence of many different tree species such as acacia, eucalyptus, linden, chestnut, and oleaster. It is an extremely advantageous country in terms of natural resources. Having such extensive vegetation is very important for the diversity and production of honey. Thanks to these geographical features, beekeeping have become one of the oldest and most widespread production sectors in Anatolia [1]. Honey, the most well-known and most consumed beekeeping product, has antioxidant and antimicrobial properties due to the components which contains and prevents the growth of fungi and bacteria [2]. There are 200 different types of compounds in the structure of honey. Honey is an easy-to-digest, nutritious, protective and therapeutic food against various diseases, thanks to the minerals, organic acids, vitamins, flavonoids, amino acids, phenolic acids and enzymes [3,4].

According to the 2021 data of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Turkey ranks second with its annual honey production of 96 344 tons and third with the number of colonies as 8 733 394 in the world [5]. This information is in **Table 1.1.** presented.

**Table 1.1.** Countries that rank in the top five in world honey production and number of colonies

<b>Countries</b>	<b>Honey Production (Ton)</b>	<b>Countries</b>	<b>Number of Colonies (Pieces)</b>
<b>China</b>	472 700	India	12 848 197
<b>Türkiye</b>	96 344	China	9 216 664
<b>Iran</b>	77 152	Türkiye	8 733 394
<b>Argentina</b>	71 318	Iran	7 527 258
<b>Ukraine</b>	68 558	Ethiopia	7 105 876
<b>World</b>	1771944,36		101 624 052

In addition to being used as a food source, honey has also been used as medicine throughout human history [6]. Apitherapy, a field of complementary medicine based on honey and other bee products, has gained popularity recently and has offered developments that provide treatment against a wide range of diseases.

Kukurova et al. (2008), the climate of the region where honey is harvested, plant species, bee species, environmental variables, honey harvest technique and post-harvest storage conditions affect the composition, quality, color and taste of honey. Honey consists of approximately 80% sugar, 17% water, 3% enzymes and other components [7].

Sugar is one of the most important elements in the composition of honey .Sugars have an impact on physical quality indices such as viscosity, crystallization and moisture absorption [8]. The sugar profile of honey may vary depending on its botanical source, processing and storage conditions, and the climate of the place where it is produced . This sugar profile is important to determine the qualities of honeys of different origins [8]. The type and amount of sugar in honey affects the hygroscopic properties, energy content, crystallization tendency and viscosity of honey [8]. The sugar content of honey is also an important factor in determining adulterated honey [9] .

95-99% of the dry matter content of honey consists of sugars, the most abundant simple sugars in its structure are fructose and glucose. Glucose and fructose are formed as a result of honey bees breaking down the sucrose in nectar by taking in water with the help of acid and invertase enzymes. The glucose and fructose formed are called invert sugar [10,11]. The amounts of these sugars and their ratios can be used as determinants when categorizing monofloral honeys. However, the fructose:glucose ratio is also taken into account in the crystallization stage of honey because the solubility of glucose in water is less than fructose [12].

Many studies have been published in the literature on the sugar concentration of honey, and sugar compositions can vary significantly depending on nectar sources and production region [13]. Although the amount of sugar in honey varies depending on the variety, fructose is generally found in higher amounts than other sugars [12]. According to the Turkish Food Codex Honey Communiqué, the fructose + glucose ratio in blossom honey should be at least 60% [14].

## 2. MATERIALS AND METHODS

In 2021, eight honey samples harvested from Adaklı, Genç and Karlıova districts of Bingöl province were taken. After each honey sample was coded, it was stored in dry glass jars at room temperature, away from direct light, during the analysis process. Honey samples were homogenized before analysis.

### 2.1. Determination of the Amount of Invert Sugar

The determination of invert sugar in honey was made according to the methods specified by TS3036 [15].

A certain volume of Copper (II) sulfate pentahydrate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) solution, which equivalent in invert sugar is known, was titrated against the methylene blue indicator with the aqueous solution prepared from honey in a basic environment. While the glucose and fructose (invert sugar) in honey are oxidized by losing two electrons per molecule, copper (II) ions are reduced to copper (I). The percentage of reducing sugar (invert sugar) in honey was calculated from the volume of honey solution spent in this titration. The solutions used are presented in **Table 2.1**.

**Table 2.1.** Solutions used in the determination of invert sugar

<b>Carrez I solution</b>	<b>Stock invert sugar solution</b>
<b>Carrez II solution</b>	<b>Standard invert sugar solution</b>
<b>2% methylene blue solution</b>	<b>5 M sodium hydroxide (NaOH) solution</b>
<b>1% phenolphthalein solution</b>	

#### 2.1.1. 5 M Sodium hydroxide (NaOH) solution

50 g NaOH was weighed into a 250 mL volumetric flask, 180 mL ultrapure water was added and dissolved. After the resulting solution was cooled in a cold water bath, it was completed up to the marking line with ultrapure water and the mouth of the volumetric flask was tightly closed.

#### 2.1.2. 2% methylene blue solution

In a 1000 mL volumetric flask, 2 g of methylene blue ( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) was dissolved with some ultrapure water and then completed up to the mark line with ultrapure water.

### 2.1.3. 1% phenolphthalein solution

0.5 g of phenolphthalein was weighed into a 100 mL volumetric flask and prepared by dissolving it in a 50% ethyl alcohol-ultra pure water mixture.

### 2.1.4. Stock invert sugar solution (10g/L)

9.5 g of pure sucrose was dissolved in a suitable conical flask with 40 mL of water. After adding 5 mL of concentrated hydrochloric acid ( $\text{HCl} = 1.19 \text{ g/mL}$ ), it was kept in a water bath set at  $60^\circ\text{C}$  for 20 minutes, stirring at regular intervals. The hydrolysis process that took place during the heating process was completed by keeping the solution at room temperature for 24 hours. The invert sugar solution resulting from hydrolysis was placed in a 1000 mL volumetric flask, completed with ultrapure water up to the mark line, and mixed well.

### 2.1.5. Standard invert sugar solution

125 mL of the prepared stock invert sugar solution was taken into a 500 mL volumetric flask and 5–6 drops of phenolphthalein solution were added and mixed. 5 M sodium hydroxide solution taken into the burette was carefully dropped into the resulting solution and titrated until the first drop produced a stable pink color. The volume of the resulting neutral light pink mixture was completed to 500 mL with ultrapure water, its mouth was tightly closed and mixed thoroughly.

### 2.1.6. Adjustment of fehling solution

5 mL Fehling A solution, 5 mL Fehling B, 10 mL pure water and 15 mL standard invert sugar solution were added to the erlen mayer flask and mixed. The solution was mixed with a magnetic stirrer on the heated table and heated until boiling occurred. From the moment the solution started to boil, the boiling process was continued for another two minutes. At the end of two minutes, the solution was taken from the heated table and 10–12 drops of methylene blue solution were added. The resulting solution was titrated until the color changed from blue to red, reaching the end of the titration within 3 minutes. By adding the volume of standard invert sugar solution spent in the titration with the 15 mL added at the beginning, the volume of invert sugar solution (V), which is equivalent to 5 mL Fehling A, was found. The mg amount of invert sugar, equivalent to 5 mL Fehling A, that is, the factor (F), was calculated with the following equation:

$$F = V \cdot 2.5 \quad (1)$$

In this equation;

F = Amount of invert sugar equivalent to 5 mL Fehling A, mg

V = The volume of invert sugar solution equivalent to 5 mL Fehling A, as a result of adding the volume of standard invert sugar solution spent in the titration with the 15 mL added at the beginning, mL

2.5 = It refers to 2.5 mg of invert sugar in 1 mL of the prepared standard reducing sugar solution

### 2.1.7. Preparation of honey solutions

2 g of honey was weighed to the nearest 0.001 in a 250 mL conical flask, and 80–100 mL of ultrapure water was added and mixed to dissolve the honey sample. 1 mL Carrez I and 1 mL

Carrez II solutions were added to the resulting mixture and shaken. The volume was completed to 250 mL with ultrapure water and homogeneity was achieved by mixing. The precipitates formed by the addition of Carrez I and Carrez II solutions were filtered with the help of coarse mesh filter paper. 50 mL of the resulting filtrate was taken and added to a 100 mL conical flask.

### 2.1.8. Titration

The volume of the solution to be used in the determination of invert sugar was completed to 100 mL with ultrapure water. Shaking was done by turning the conical flask upside down to ensure homogenization. 15 mL of the homogenized solution was taken and added to a clean and dry burette.

#### 2.1.8.1. Pre-titration

5 mL Fehling A, 5 mL Fehling B, 10 mL ultrapure water and 5 mL honey solution were added to the 150 mL conical flask. The boiling moment was determined by mixing the conical flask placed on the heated table with the help of a magnetic stirrer. From the moment boiling started, the heating process continued for another two minutes. At the end of two minutes, 10-12 drops of methylene blue were added to the mixture and mixed. After this process, the titration process was continued with the solution in the burette until the color changed from blue to brick red, with the titration ending within 3 minutes. The total volume of invert sugar solution spent in the pre-titration is the sum of the 5 mL added at the beginning and the volume added by dropping from the burette ( $V_s$ ).

#### 2.1.8.2. Final titration

The preliminary titration process was carried out as a trial. While repeating the titration process, the same solutions were added into the flask, but 5 ml less than the  $V_s$  given above was added to the flask. The same titration was repeated once more and the total standard invert sugar solution volume ( $V_n$ ) in this last titration was found.

### 2.1.9. Calculation

Total invert sugar (IS) in honey was calculated as invert sugar as a percentage by mass with the following equation.

$$IS = \frac{250}{m \cdot V_n} \cdot \frac{100}{50} \cdot \frac{F}{1000} \cdot 100 = \frac{50 \cdot F}{m \cdot V_n} \quad (2)$$

In this equation:

IS: Invert sugar in the sample (% by mass),

F: Amount of invert sugar equivalent to 5 mL Fehling A (mg sugar/5 mL solution),

m: Honey sample, (g),

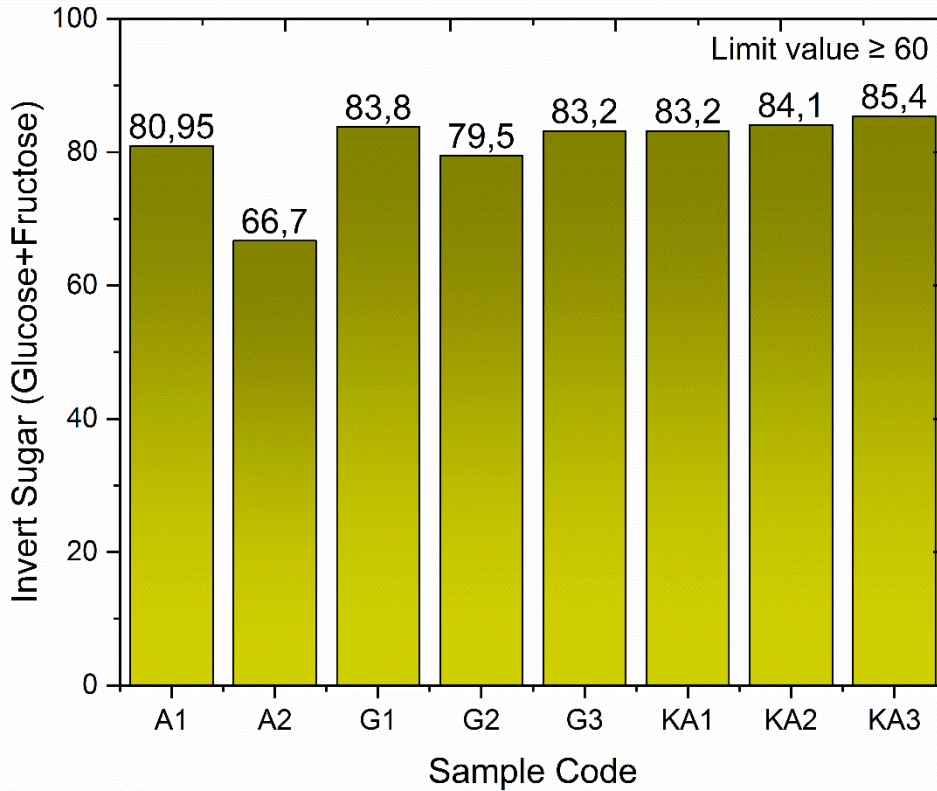
$V_n$ : Volume of standard invert sugar solution spent in the last titration, (mL)

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The mg amount (factor) of invert sugar, which is equivalent to 5 mL Fehling A, was calculated with the equation below and the result was found to be 52.5.

$$F = (15 + 6) \cdot 2.5 = 52.5$$

In the study, invert sugar values ranged between 85.4% and 66.7%, and the average was found to be 80.9%. The distribution of invert sugar values of honey samples is given in **Figure 3.1**. The invert sugar values obtained as a result of the study were found to be above the 60% lower limit value determined for blossom honey in the Turkish Food Codex Honey Communiqué (2020/7) [14].



**Figure 3.1.** Distribution of invert sugar values of honey samples

Merin et al. [16] reported invert sugar values between 70.1% and 79.2% in their study on honey used to sweeten black tea in Israel, Al-Khalifa and Al-Arifly [17] reported 16.7% to 73.3% in their study on Saudi Arabian honey, Yılmaz et al. [18] The invert sugar content of 30 honey samples obtained from the Southeastern Anatolia region was between 64.1% and 76.7%, Şahinler et al. [19] found the average invert sugar value as 57.83% as a result of biochemical analysis of 50 honey samples in Hatay province, Ünal et al. [20] in their study in Ankara, found the invert sugar value in flower and pine honeys to be 23.47%, Ouchemoukh et al. [21] in their study with Algerian honey, between 67.83% and 80.25%, Akbulut et al. [22] in their study with honey obtained from Western Anatolia, 77.10%, Kahraman et al. [23] found the average invert sugar value to be 71.9% in their study, while Saxena et al. [24] found the invert sugar value in Indian honey to be between 43.3% and 65.5%, while Derebaşı et al. [25] found the invert sugar value to be  $67.54 \pm 0.49\%$  in honey samples produced in 18 provinces of the Black Sea region. When all these studies were examined, it was seen that our study results were higher than the results of these studies.



Although it is easy to counterfeit honey, it can be difficult to detect fraud. The main factors used to evaluate the quality of honey are its chemical composition and botanical origin. The compositions of honey obtained from various plant sources and produced in different regions also vary. Although Turkey is in the top five in the world in honey production, it faces serious problems in quality, production and export.

Besides pure honey, there are also many fake and adulterated honey in the market. Today, in order to prevent this fraud, honey must be properly controlled using the right techniques. The taste, appearance or smell of honey alone cannot be used to determine whether honey is adulterated or fake. The most accurate approach is to examine the chemical structure of honey. Honey that meets all the conditions specified in the Turkish Food Codex Honey Communiqué is considered real honey. In this context, the sugar components (sucrose, glucose, fructose and maltose) in the honey samples examined must meet the values specified in the notification. In order to protect consumer health, honey that does not comply with the Turkish Food Codex Honey Communiqué must be identified and withdrawn from the market.

### **Acknowledgement**

The author is greatly thankful to Bingöl University “Central Laboratory Application and Research Center” for analysis support.

### **REFERENCES**

- [1] Kekeçođlu M, Gürcan, EK, Soysal Mİ. Türkiye arı yetiştiriciliğinin bal üretimi bakımından durumu. *Tekirdađ Ziraat Fakóltesi Dergisi*. 2007; 4(2), 227-236.
- [2] Karadal F, Yıldırım Y. Balın kalite nitelikleri, beslenme ve sağlık açısından önemi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Dergisi*. 2012; 9.3.
- [3] Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food chemistry*. 2016; 196, 309-323.
- [4] Mutlu C, Erbař M, ve Arslan Tontul S. Bal ve Diğer Arı Ürünlerinin Bazı Özellikleri ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Akademik Gıda*. 2017; 15(1), 75–75.  
<https://doi.org/10.24323/akademik-gida.306074>
- [5] Anonim 2021. FAO Stats, Stat. Reports. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>  
Eriřim tarihi: 21.04.2023
- [6] şahinler N. Arı Ürünleri ve İnsan Sağlığı Açısından Önemi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi*. 2000; 5 (1-2) 139-148.
- [7] Kukurova K, Karoviěová J, Kohajdova Z, Bilikova K. Authentication of honey by multivariate analysis of its physico--chemical parameters. *Journal of Food & Nutrition Research*. 2008; 47(4).
- [8] Kamal MA, Klein P. Determination of sugars in honey by liquid chromatography. *Saudi journal of biological sciences*. 2011; 18(1), 17-21.

- [9] Cengiz MM, Tosun M, ve Topal M. Determination of the physicochemical properties and <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotope ratios of some honeys from the northeast Anatolia region of Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018; 39–44.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.02.007>
- [10] Tetik İ. *Yerli, tabii, süzme ballarımızın besleyici değeri ve gıda tüzüğü yönünden kimyasal bileşimleri üzerine araştırmalar*. Yargıçoğlu Matbaası. 1968
- [11] Muller HG, Tobin G. *Nutrition and food processing*. Croom Helm. 1980
- [12] Güzel N, Bahçeci KS. Çorum Yöresi Ballarının Bazı Kimyasal Kalite Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *Gıda*. 2020; 45(2), 230-241.
- [13] Juan-Borrás M, Domenech E, Hellebrandova M, Escriche I. Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. *Food Research International*. 2014; 60, 86-94.
- [14] Anonim 2020. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2020/7.
- [15] Anonim 2010. BAL. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, TS 3036.
- [16] Merin U, Berstein S, Rosenthal I. A parameter for quality of honey. *Food Chemistry*. 1998; 63: 241–242.
- [17] Al-Khalifa AS, Al-Arifly IA. Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Saudi honeys. *Food Chemistry*. 1999; 67: 21–25.
- [18] Yılmaz H. Composition of honeys collected from eastern and southern Anatolia and effect of storage on HMF content and diastase activity. *J. AgricFor*. 2000; 25: 347349.
- [19] Şahinler N, Şahinler S, Gül A. Hatay yöresi ballarının bileşimi ve biyokimyasal analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2001; 6 (1–2): 93–108.
- [20] Ünal C, Küplülü Ö. Chemical quality of strained honey consumed in Ankara. *Ankara Ziraat Fak.Derg*. 2001; 6: 25-30.
- [21] Ouchemoukh S, Louaileche H, Schweitzer P. Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. *Food Control*. 2007; 18: 52–58.
- [22] Akbulut M, Özcan MM, Çoklar H. Evaluation of antioxidant activity, phenolic, mineral contents and some physicochemical properties of several pine honeys collected from Western Anatolia. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009; 60 (7): 577–589.
- [23] Kahraman T, Büyükcünal SK, Vural A, Altunatmaz SS. Physicochemical properties in honey from different regions of Turkey. *Food Chemistry*. 2010;123: 41–44.
- [24] Saxena S, Gautam S, Sharma A. Physical, biochemical and antioxidant properties of

some Indian honeys. *Food Chemistry*. 2010; 118: 391–397.

- [25] Derebaşı E, Bulut G, Col M, Güney F, Yaşar N, Ertürk Ö. Physicochemical and Residue Analysis of Honey from Black Sea Region of Turkey. *Fresenius Environ Bull*. 2014; 23(1):10-17.