



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

***CANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY  
JOURNAL OF ADVANCED  
RESEARCH IN NATURAL AND  
APPLIED SCIENCES***



ISSN 2757-5195

**Journal of Advanced Research in Natural  
and Applied Sciences**

**e-ISSN: 2757-5195**

**Volume 7 / Issue 2**

**Sayı 7 / Cilt 2**

**2021-Haziran/June**

**Sahibi/Owner:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

**Rektör /Rector:** Prof. Dr. Sedat MURAT

**Yayıncı/Publisher:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

**Enstitü Müdürü / Director of Institute:** Prof. Dr. Pelin KANTEN

**Dergi Editör Kurulu /Editorial Board**

Doç. Dr. Filiz UĞUR NİĞİZ (Editor-in-Chief)

Dr. Öğretim Üyesi Ayça AYDOĞDU

Dr. Tuğba GÜNGÖR

Doç. Dr. Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Doç. Dr. Necati KAYA

Dr. Öğretim Üyesi Gülçin ÖZCAN ATEŞ

Dr. Öğretim Üyesi Şebnem ÖNDER

Dr. Öğretim Üyesi Doğukan TAŞER

**Sekreteryası/Secretary**

Arş. Gör. Sinem ALTINIŞIK

**Önsöz:**

Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi Fen, Mühendislik, Doğa ve Temel bilimler alanlarında daha önce yayımlanmamış orijinal araştırma makalesi, derleme yazılar, teknik not türünde araştırmaları yayınlayan ulusal ve uluslararası indekslerde taranan, hakemli ve bilimsel bir dergidir. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi Mart, Haziran, Eylül, Aralık olmak üzere yılda dört sayı yayınlanacaktır. Tr-Dizin’de taranan Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi’nin 7.cilt 2.sayısında 11 adet araştırma makalesi yayına kabul edilmiştir.

	<ul style="list-style-type: none"><li>• TÜBİTAK TR DİZİN tarafından taranmaktadır</li><li>• Indexed by TR-DİZİN Database.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• TÜBİTAK-ULAKBİM DergiPark Akademik tarafından yayımlanmaktadır.</li><li>• Published by TÜBİTAK-ULAKBİM Turkish Journal Park Academic Database.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• CROSSREF® Veri Tabanı Tarafından Taranmakta ve Makaleler DOI numarası ile yayımlanmaktadır.</li><li>• Indexed by CROSSREF® Database and Articles are published with DOI number.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Google Scholar'da ve SOBIAD'da taranmaktadır</li><li>• Indexed by Google Scholar and SOBIAD Database.</li></ul>

İletişim Adresi / Publisher Address: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Terzioğlu Yerleşkesi Çanakkale (Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Binası)

Tel: 0286 218 05 23, Belgegeçer / Fax: 0286 218 05 24

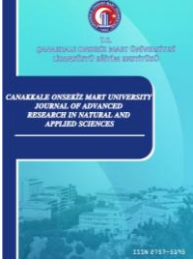
E-posta / E-mail: [jarnas.journal@gmail.com](mailto:jarnas.journal@gmail.com)

Dergi Web Sayfası / Journal Home Page:

<http://jarna.dergi.comu.edu.tr/>

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jarnas>





**CONTENTS / İÇİNDEKİLER**  
(2021, 7:2)

<b>Articles &amp; Authors / Makaleler &amp; Yazarlar</b>	<b>Pages / Sayfa No</b>
<b>Comprehensive Analysis of Alpha-Parametric Set for the Calculation of Intersection Lengths of Radiological Ray Path in Siddon's Algorithm Used in 3D Image Reconstruction</b> Adem Polat* <b>Research/Araştırma</b>	172-181
<b>Yönlendirme Tasarımının Disiplinlerarası Özelliklerinin Belirlenmesi ve İncelenmesi: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Küçükyalı Kampüsü Örneği</b> Mehmet Sinan Yum* <b>Research/Araştırma</b>	182-200
<b>Formula Student Yarış Aracı Şasi Tasarımı ve Analizi</b> Yiğit Alp Oymak, Erol Feyzullahoğlu* <b>Research/Araştırma</b>	201-218
<b>Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi</b> Harun Çiftçi*, Çiğdem Er Çalışkan, Kübra Öztürk <b>Research/Araştırma</b>	219-233
<b>Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Şlam Kömürlerinin Spiral ile Zenginleştirilebilirliğine Tane Boyutunun Etkisi</b> Ali Uçar*, Sevgi Karaca, Nezahat Ediz, Oktay Şahbaz, İ. Göktay Ediz <b>Research/Araştırma</b>	234-243
<b>Sünek Betonarme Perde Duvarların Şekil Değiştirme Esashi Hasar Sınırları</b> Saeid Foroughi*, S. Bahadır Yüksel <b>Research/Araştırma</b>	244-255
<b>Using Granular Waste Tire as a Factor to Increase Shear Strength of Cohesionless Soils</b> Koray Aktürk, Öznur Karaca* <b>Research/Araştırma</b>	256-265



Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences

Haziran (June) 2021 / Cilt (Volume) 7 / Sayı (Issue) 2 / e-ISSN 2757-5195

<b>Lipid Productivity of Marine Microalgae <i>Dunaliella tertiolecta</i> in Marmara Seawater and Johnson's Media with Different Salinities and Evaluation as A Raw Material Source for Biofuel Production</b> Togayhan Kutluk* <b>Research/Araştırma</b>	266-273
<b>Assessment of Habitat Quality of Bozalan Clay Quarry Wetland (Ezine, Çanakkale) Using Macroinvertebrates and Water Quality Parameters</b> Serpil Odabaşı* <b>Research/Araştırma</b>	274-281
<b>Investigation and Comparison of Some Laboratories in Terms of Occupational Health and Safety by ELMERI Observation Method</b> Orkun Dalyan, Nuray Özkaya, Ömer Faruk Öztürk, Mehmet Pişkin* <b>Research/Araştırma</b>	282-294
<b>Study on Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> L.) Response to Salt Stress Environment under Kabul Climatic Conditions, Afghanistan</b> Abdul Walid Salik, Zafer Coşkun*, Mohammad Zaman Amini <b>Research/Araştırma</b>	295-303



# Comprehensive Analysis of Alpha-Parametric Set for the Calculation of Intersection Lengths of Radiological Ray Path in Siddon's Algorithm Used in 3D Image Reconstruction

Adem Polat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

## Article History

Received: 16.12.2020

Accepted: 04.05.2021

Published: 30.06.2021


## Research Article

**Abstract** – The Siddon algorithm is one of the radiological ray path (x-ray) calculation tools used in 3D image reconstruction in medical imaging. In the algorithm, a set of alpha-parametric values is computed containing the length and index values where the voxel array of the x-ray intersects the x-y-z axes. In the alpha-set creation section of the Siddon algorithm, the set elements are sorted from small to large, but some elements have been noticed to have the same value in simulations. These elements are used to calculate which voxels are hit by the ray along the radiological path and at what ratio, but it was recognized that some values of the set were zero, which means some rays did not intersect some voxels at all. This situation may lead to data loss in 3D image reconstructions in medical imaging such as digital breast tomosynthesis (DBT) and computed tomography (CT) especially for huge dimensions such as size up to 800×800×50. Considering the mentioned problems, in this study, the effect of using or eliminating the same repetitive values in the alpha parametric set of the Siddon algorithm on calculations was investigated. To prove our proposal, we performed 3D image reconstruction (lossless and lossy) of a synthetic phantom at a size of 100×100×50. Using special functions that do not take into account the duplicate values in the algorithm, excluding the duplicate values from the calculation solved the stated problems (lossless reconstruction). In this way, data loss that may occur in 3D image reconstruction was reduced since voxel indices and intersection lengths were matched correctly and meaningfully.

**Keywords** – Computed tomography, digital breast tomosynthesis, siddon algorithm, x-ray, 3D image reconstruction

## 1. Introduction

Mainly, iterative and analytical image reconstruction methods are applied in medical imaging modalities such as the optoacoustic tomography (OAT) (or photoacoustic tomography (PAT)) (Paltauf et al., 2002; Wang et al., 2012), the optical tomography (OT) (Dekker, Battista, & Jordan, 2017; Klose & Hielscher, 1999), the diffuse optical tomography (DOT) (Üncü et al., 2017; Sevim et al., 2017; Mercan et al., 2017; Mercan et al., 2019), the computed tomography (CT) (Sidky et al., 2006; Biguri et al., 2017) and the digital breast tomosynthesis (DBT) (Oliveira et al., 2016; Polat & Yildirim, 2018; Polat et al., 2019a). The CT, developed by Hounsfield and Cormack in the 1970s (Nobel Media AB, 2014; Raju, 1999), enables three-dimensional (3D) images of the examined part of the body like the head, chest, and breast. The DBT, an advanced form of x-ray mammography evolved by Gershon-Cohen and others (Kopans, Meyer, & Sadowsky, 1984), focuses on the examination of the breast by scanning at a limited angle (Helvie, 2010; Niklason et al., 1997; Wu et al., 2004). For reconstructing three-dimensional (3D) images of the part of the body, the algebraic reconstruction technique (ART) introduced by (Kaczmarz, 1937) and the simultaneous ART (SART) introduced by (Andersen & Kak, 1984) have been used as iterative algorithms, while the filtered back projection (FBP) which was first advanced by Riddle and Bracewell in 1967 (Bracewell & Riddle, 1967) and independently in 1971, by Lakshminarayanan and Ramchandran (Ramchandran & Lakshminarayanan, 1971) has been used as an analytical algorithm, (Kak, Slaney, & Wang, 2002). Whether it is an iterative or analytical method, in

<sup>1</sup>  adempolat@comu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

modalities such as OAT, OT, DOT, CT and DBT, the geometry of the x-rays sent to the target object should be calculated for 3D image reconstruction system design.

The Siddon algorithm (Siddon, 1985), which effectively calculates the ray path geometry, can be used to calculate the system matrix elements in constructing the 3D image reconstruction space. The Siddon algorithm was applied in many applications in ray-path calculation studies and in medical imaging (Gao, 2012; Jacobs et al., 1998; Li et al., 2008; Polat & Yildirim, 2018; Polat et al., 2019a; Xue, Zhang, & Pan, 2011; Zhao & Reader, 2003). There are six main sections in the Siddon algorithm including calculating the range of alpha-parametric values, calculating the range of the indices at x-y-z axes, calculating the alpha-parametric sets for x-y-z axes, merging sets to form alpha-set, calculating voxel intersection length, and calculating voxel indices, respectively.

In the alpha-set creation section of the Siddon algorithm, the alpha-set elements are sorted from small to large, but some elements have the same value or zero-value. The values in the set are used to calculate the voxel intersection length and voxel indices, therefore it is a critical issue to consider whether eliminating some values of zero and/or identical or not. This situation may lead to data loss in the applications of the Siddon algorithm for 3D image reconstructions in medical imaging such as DBT and CT. Considering the mentioned problems, in this study, we analyzed the creation steps of the alpha-parametric set that affect the calculations of voxel intersection length and voxel indices and investigated the effect of using or eliminating the repetitive and/or zero- values for the calculations in the Siddon algorithm.

## 2. Materials and Methods

The Siddon algorithm introduced an efficient, reliable, and exact calculation of a radiological route through a 3D-array of CT (Siddon, 1985). The schematic of two-dimensional (2D) representation for the 3D CT array of  $(N_x, N_y, N_z)$  voxels is given in Figure 1. A single ray starting from point  $P_1(x_1, y_1)$  to point  $P_2(x_2, y_2)$  passes through the CT array. The radiological path in 3D space, in other words, the ray sum is defined by 2.1.

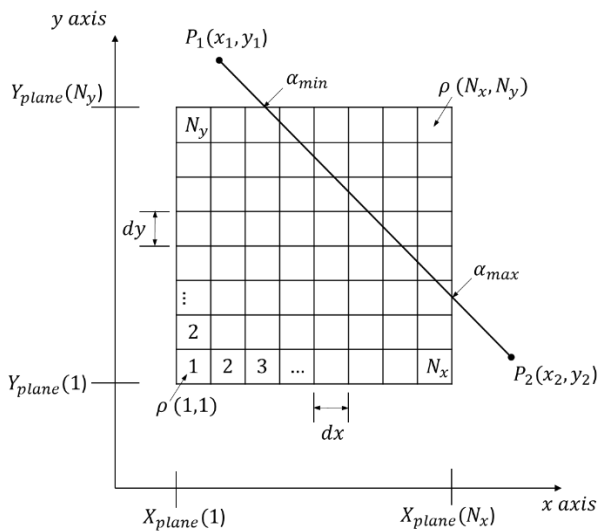


Figure 1. The schematic of two-dimensional (2D) representation for the 3D CT array of  $(N_x, N_y, N_z)$  voxels

$$d = \sum_i \sum_j \sum_k l(i, j, k) \rho(i, j, k) \tag{2.1}$$

where  $l(i, j, k)$  is the voxel intersection length and  $\rho(i, j, k)$  is the density of voxel in the point  $(i, j, k)$ .

In the Siddon algorithm, the ray from  $P_1(x_1, y_1, z_1)$  to  $P_2(x_2, y_2, z_2)$  is described with the alpha-parametric set;  $\alpha$  ( $\alpha_1 = 0$  at  $P_1$  and  $\alpha_2 = 1$  at  $P_2$ ) in 3D space (see 2.2).

$$\begin{aligned}
 X(\alpha) &= X_1 + \alpha(X_2 - X_1) \\
 Y(\alpha) &= Y_1 + \alpha(Y_2 - Y_1) \\
 Z(\alpha) &= Z_1 + \alpha(Z_2 - Z_1)
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Alpha-parameter ( $\alpha$ ) set in the range of  $(\alpha_{min}, \alpha_{max})$  indicates the intersections of the ray with planes. If  $P_1$  or  $P_2$  are within the grid boundaries, then  $\alpha_{min}$  gets zero, and  $\alpha_{max}$  gets one, otherwise they become a nonzero value (see Figure 1).

For the  $(N_x, N_y, N_z)$  voxel array, orthogonal sets of equidistant parallel planes are written as in 2.3.

$$\begin{aligned}
 X_{plane}(i) &= X_{plane}(1) + (i - 1)dx & i &= 1, 2, \dots, N_x \\
 Y_{plane}(j) &= Y_{plane}(1) + (j - 1)dy & j &= 1, 2, \dots, N_y \\
 Z_{plane}(k) &= Z_{plane}(1) + (k - 1)dz & k &= 1, 2, \dots, N_z
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

where  $dx, dy,$  and  $dz$  are the dimensions of the voxel and the distances between the  $x, y, z$  planes.

The  $\alpha$  -parametric values are calculated by 2.4 using 2.2 and 2.3.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } X_2 \neq X_1, \\
 \alpha_x(1) &= [X_{plane}(1) - X_1] / (X_2 - X_1) \\
 \alpha_x(N_x) &= [X_{plane}(N_x) - X_1] / (X_2 - X_1)
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Expressions are similar for  $y$  and  $z$  planes for  $\alpha_y(1), \alpha_y(N_y), \alpha_z(1),$  and  $\alpha_z(N_z)$ . After that  $\alpha_{min}$  and  $\alpha_{max}$  are calculated by 2.5.

$$\begin{aligned}
 \alpha_{min} &= \max\{1, \min[\alpha_x(1), \alpha_x(N_x)], \min[\alpha_y(1), \alpha_y(N_y)], \min[\alpha_z(1), \alpha_z(N_z)]\} \\
 \alpha_{max} &= \min\{1, \max[\alpha_x(1), \alpha_x(N_x)], \max[\alpha_y(1), \alpha_y(N_y)], \max[\alpha_z(1), \alpha_z(N_z)]\}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

In the case  $\alpha_{min}$  is greater than or equal to  $\alpha_{max}$ , the voxels are not intersected by the ray.  $\alpha_{min}$  and  $\alpha_{max}$  values are used to calculate the indices range of  $(i_{min}, i_{max}), (j_{min}, j_{max})$  and  $(k_{min}, k_{max})$ , which intersect the planes (2.6).

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (X_2 - X_1) \geq 0, \\
 i_{min} &= N_x - [X_{plane}(N_x) - \alpha_{min}(X_2 - X_1) - X_1] / dx \\
 i_{max} &= 1 + [X_1 + \alpha_{max}(X_2 - X_1) - X_{plane}(1)] / dx \\
 & \text{if } (X_2 - X_1) \leq 0, \\
 i_{min} &= N_x - [X_{plane}(N_x) - \alpha_{max}(X_2 - X_1) - X_1] / dx \\
 i_{max} &= 1 + [X_1 + \alpha_{min}(X_2 - X_1) - X_{plane}(1)] / dx
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

The similar notations are written for  $j_{min}, j_{max}, k_{min},$  and  $k_{max}$ . Using these indices, the sets of alpha values  $(\{\alpha_x\}, \{\alpha_y\}, \{\alpha_z\})$  which represent the intersections of the ray with the  $x, y, z$  planes are calculated as in 2.7 for  $\{\alpha_x\}$ , and with similar expressions for  $\{\alpha_y\}$ , and  $\{\alpha_z\}$ .

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (X_2 - X_1) > 0, \\
 \{\alpha_x\} &= \{\alpha_x(i_{min}), \dots, \alpha_x(i_{max})\} \\
 & \text{if } (X_2 - X_1) < 0, \\
 \{\alpha_x\} &= \{\alpha_x(i_{max}), \dots, \alpha_x(i_{min})\}
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

The definite intersections are determined by merging the sets  $(\alpha_{min}, \alpha_{max}), \{\alpha_x\}, \{\alpha_y\},$  and  $\{\alpha_z\}$  as alpha-parametric set. The merged alpha-parametric set  $\{\alpha\}$  that has  $n + 1$  elements is expressed as in 2.8.

$$\begin{aligned} \{\alpha\} &= \{\alpha_{min}, merge[\{\alpha_x\}, \{\alpha_y\}, \{\alpha_z\}], \alpha_{max}\} \\ \{\alpha\} &= \{\alpha(0), \alpha(1), \dots, \alpha(n)\} \end{aligned} \quad (2.8)$$

The difference of two consecutive terms in the alpha set is used to calculate the intersection length  $l(m)$  in 2.9.  $d_{12}$  in 2.9 is the Euclidian distance (the total length) of the ray from  $P_1$  to  $P_2$ , and the formulation of it is given in 2.10. Once the  $\{\alpha\}$  array is formed, the exploring of the voxels that are hit with the ray and the calculations of their intersection lengths are possible. The  $m$ th and  $(m - 1)$ th values of the  $\{\alpha\}$  array, which are the parametric weights of the intersected voxels, form the intersection length as in 2.9.

$$l(m) = d_{12}[\alpha(m) - \alpha(m - 1)] \quad \text{for } m = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.9)$$

$$d_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (2.10)$$

The voxel indices  $[i(m), j(m), k(m)]$  which intersected by the ray are calculated using the midpoint of two consecutive intersections ( $m$ th and  $(m - 1)$ th alpha) as in 2.11.

$$\begin{aligned} i(m) &= 1 + [X_1 + \alpha_{mid}(X_2 - X_1) - X_{plane}(1)]/dx \\ j(m) &= 1 + [Y_1 + \alpha_{mid}(Y_2 - Y_1) - Y_{plane}(1)]/dy \\ k(m) &= 1 + [Z_1 + \alpha_{mid}(Z_2 - Z_1) - Z_{plane}(1)]/dz \end{aligned} \quad (2.11)$$

where the  $\alpha_{mid}$  is the midpoint of the  $m$ th and  $(m - 1)$ th alpha and is given by 2.12.

$$\alpha_{mid} = [\alpha(m) + \alpha(m - 1)]/2 \quad (2.12)$$

Finally, the projection value,  $P_\theta$ , which is the radiological route can be obtained by summing over the  $n$  elements of the length array  $l(m)$  obtained from  $(n + 1)$  elements of  $\{\alpha\}$ -parametric set multiplied by the densities of the voxels as in 2.13.

$$P_\theta = \sum_{m=1}^n l(m)\rho[i(m), j(m), k(m)] \quad (2.13)$$

where  $\rho[i(m), j(m), k(m)]$  is the  $m$ th voxel density and  $\theta$  is the projection angle.

The intersection lengths  $l(m)$  for each ray are used to build up a system matrix  $\mathbf{A}$  for all projections (in this study, three projections,  $\theta = -25^\circ, 0^\circ, +25^\circ$ ), and this system matrix  $\mathbf{A}$  is used to provide a solution for linear algebraic equation system given by 2.14, which models 3D image reconstruction. In 2.14,  $P_\theta$  is the projections acquired from a target via a medical imaging modality such as CT and DBT,  $v$  is the vector form of the voxels of the target, and  $\mathbf{A}$  is the system matrix calculated by the Siddon algorithm.

$$P_\theta = \mathbf{A} \cdot v \quad (2.14)$$

To build up a system matrix ( $\mathbf{A}$ ) using the Siddon algorithm, we created a  $2 \times 2 \times 2$ -size voxel cube model (8 voxels) by assigning  $N_x = 2$ ,  $N_y = 2$ , and  $N_z = 2$  to analyze the calculated alpha-parametric set. Then we set a central ray starting point from  $P_1(0,0,7)$  to  $P_2(0,0,-2)$  to scan  $2 \times 2 \times 2$ -size voxel cube. We also rotated the ray with  $-25^\circ$  and  $+25^\circ$  around the rotating point  $(0,0,0)$  which is the center of the cube model, thus obtained three projections for data acquisitions of the cube. The visualization of 3-projected system is given in Figure 2.

We calculated and sorted in ascending order the alpha-parametric set for the  $2 \times 2 \times 2$  model applying the Siddon algorithm. However due to the creation of the same values after performing 2.8, in the length calculation (2.9), the term  $\alpha(m) - \alpha(m - 1)$  produced 0 that also cause the 0 value of  $l(m)$ . To get rid of zero-value intersection length problem which causes data loss in the system matrix of 3D image reconstruction modality

as defined in 2.14, we applied a function after performing 2.8, for ensuring two consecutive elements in the alpha-parametric set were not having of the same value. The unique function in Matlab 2018b (license number: 40731897) was applied to the alpha set for eliminating the same values in order not to cause data loss. The flowchart of the proposed method is demonstrated in Figure 3.

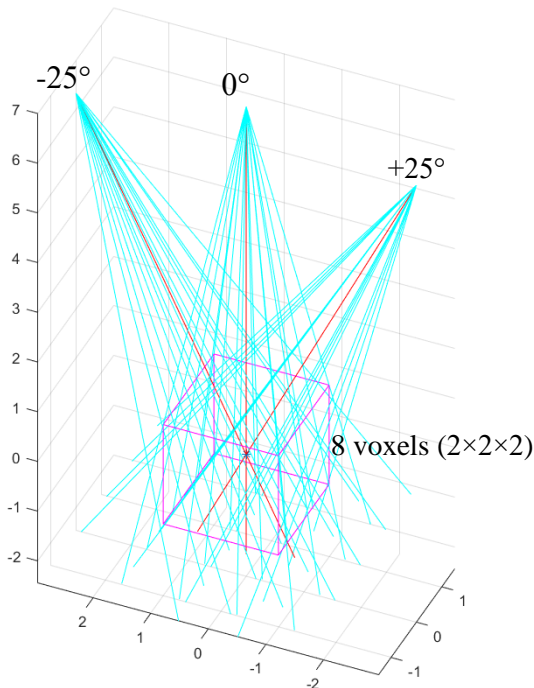


Figure 2. The visualization of the projection acquisition at  $\theta=-25^\circ, 0^\circ, +25^\circ$  for  $2 \times 2 \times 2$ -size (8 voxels) model of the Siddon algorithm

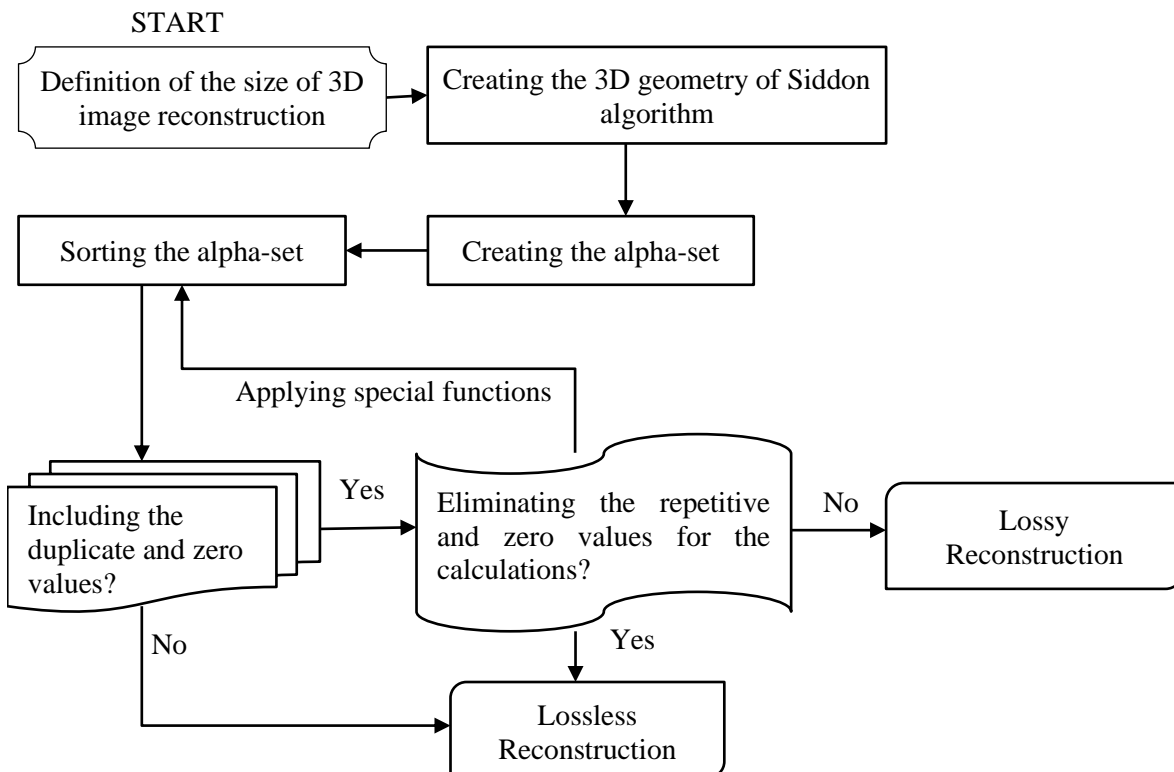


Figure 3. The flowchart of the proposed method



For a further and detailed analysis of data loss within the scope of the investigation of the alpha-parametric set, we 3D-reconstructed the images (with the size of  $100 \times 100 \times 50$ ) of a synthetic multilayer phantom ( $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 500 \mu\text{m}$ ) mimicking different microchannel (with  $\sim 200 \mu\text{m}$  width and thickness) media separated with the various geometric structures (a circle, a square, and a diamond). For 3D image reconstruction, the 11 projection images (2D:  $100 \times 100$ ) of the synthetic phantom obtained from the mini-Opto tomography platform (Polat et al., 2019b) in the range of  $\pm 25^\circ$  were used. The representation of the reference projection ( $100 \times 100$ ) of the phantom both in the mini-Opto tomography platform imager and in Matlab 2018b is given in Figure 4.

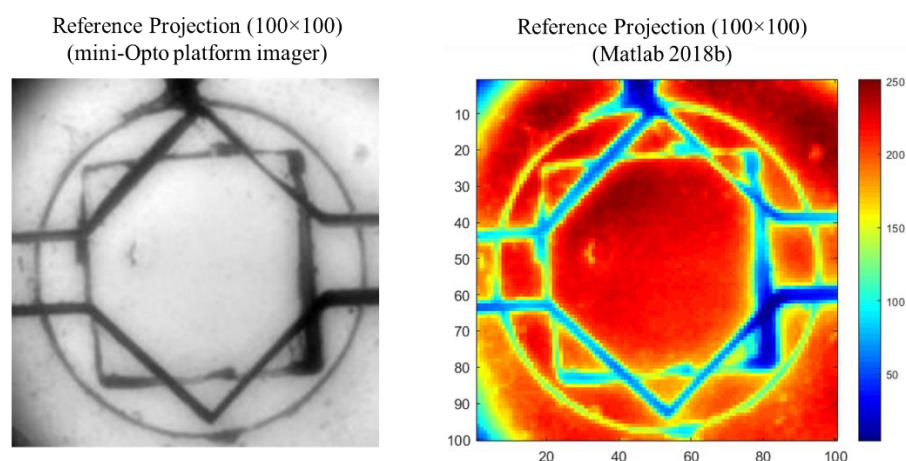


Figure 4. The representation of the reference projection ( $100 \times 100$ ) of the synthetic multilayer phantom mimicking different microchannel media separated with various geometric structures as a circle, a square, and a diamond both in the mini-Opto tomography platform imager (left) and in Matlab 2018b (right)

### 3. Results and Discussion

According to the acquisition geometry ( $2 \times 2 \times 2$ ) described in the section of Materials and Methods, alpha-parametric set was calculated using (2.8) for the projections of  $-25^\circ$ ,  $0^\circ$ , and  $+25^\circ$ , and is given in the column of sorted alpha values without the unique function (column-2) in Table 1. It is clear that the repetitive values (0.6667, 0.8889, 2.0 for 6th ray, 0.6667, 0.8889 for 7th and 10th rays, 0.0, 0.6667, 0.8889 for 11th ray) that cause data loss in the system matrix were created in the set (system matrix without the unique function column in Table 2). The values of voxels of 1, 2, 3, and 4 at rays 6, 7, 10, and 11, respectively, shown in the column of system matrix without the unique function (8 voxels) were 0.0, which means data lost. Moreover, this situation may lead to huge data loss in 3D image reconstructions in medical imaging especially for huge dimensions such as size up to  $800 \times 800 \times 50$ . However, using the unique function, we eliminated the same values from the set so that the system matrix conserves the data, which is used in 3D image reconstruction. Additionally, using (2.5) the range alpha-set is limited between the values of min-alpha (0.6667) and max-alpha (0.8889), thus the values of 0.0 and 2.0 were also eliminated from final alpha set which is given in the last column, sorted alpha values with the unique function, of Table 1. Thanks to this result, the values (1.003) of voxels of 1, 2, 3, and 4 at rays 6, 7, 10, and 11, respectively, shown in the column of system matrix with the unique function (8 voxels) in Table 2, were created and data loss was prevented.

Table 1

Sorted alpha-set with and without the unique function at the projections of  $-25^\circ$ ,  $0^\circ$ , and  $+25^\circ$

Ray values	Sorted alpha values without the unique function	Min-alpha	Max-alpha	Sorted alpha values with the unique function
6	0.6667, 0.6667, 0.7778, 0.8889, 0.8889, 2.0, 2.0	0.6667	0.8889	0.6667, 0.7778, 0.8889
7	0.0, 0.6667, 0.6667, 0.7778, 0.8889, 0.8889, 2.0	0.6667	0.8889	0.6667, 0.7778, 0.8889
10	0.0, 0.6667, 0.6667, 0.7778, 0.8889, 0.8889, 2.0	0.6667	0.8889	0.6667, 0.7778, 0.8889
11	0.0, 0.0, 0.6667, 0.6667, 0.7778, 0.8889, 0.8889	0.6667	0.8889	0.6667, 0.7778, 0.8889

Table 2  
System matrix with and without the unique function at the projections of  $-25^\circ$ ,  $0^\circ$ , and  $+25^\circ$

Ray	System matrix without the unique function (8 voxels)							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>	0.0	<b>1.003</b>
Ray	System matrix with the unique function (8 voxels)							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>	0.0	0.0	0.0	<b>1.003</b>

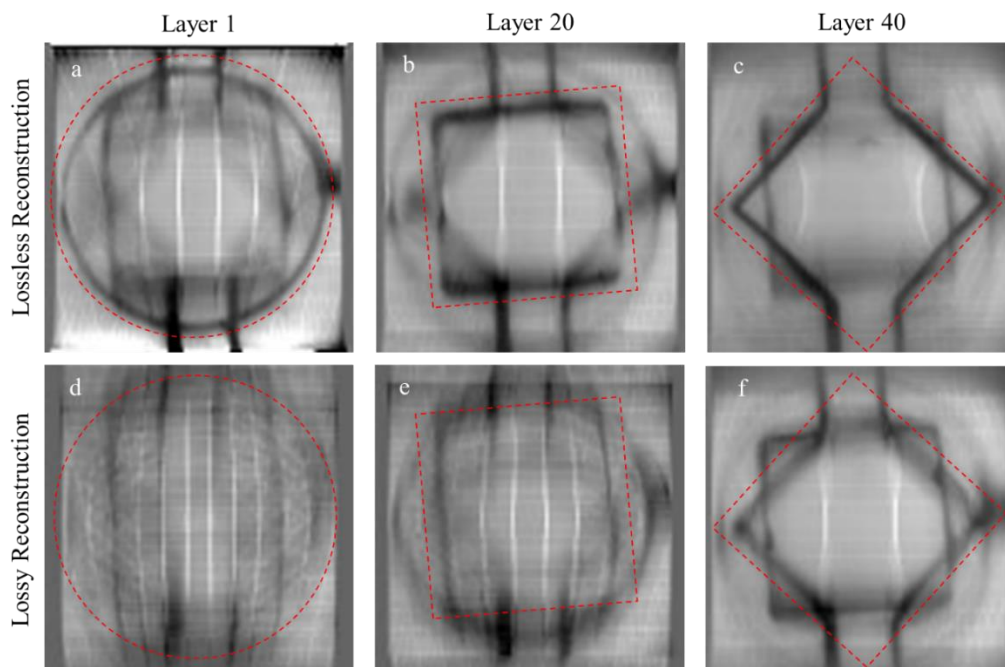


Figure 5. Lossless (first row: a, b, and c) and lossy (second row: d, e, and f) reconstruction. The geometric structures of the circle (a), the square (b), and the diamond (c) were captured in the layers of 1 (a), 20 (b), and 40 (c), respectively applying system matrix with the unique function (lossless reconstruction). The geometric structures of the circle (d), the square (e), and the diamond (f) could not captured in the layers of 1 (d), 20 (e), and 40 (f), respectively applying system matrix without the unique function (lossy reconstruction)

In this study, we tested and validated the effects of alpha-set on reconstructed images of the synthetic multilayer phantom that includes the geometric structures of the circle, the square, and the diamond with the size of  $100 \times 100 \times 50$  (Figure 5). When Figure 5 is examined, the first row (a, b, and c) are the lossless reconstruction, which means the system matrix was implemented with the unique function. However, the second row (d, e, and f) are the lossy reconstruction, which means the system matrix was implemented without the unique function. In the qualitative assessment, it is clear that the circle, the square, and the diamond shapes in the lossless reconstruction were captured in the layers of 1, 20, and 40, respectively. Applying special functions in Matlab 2018b (e.i. unique function), the repetitive and zero-values of the alpha-parametric set were eliminated for the ray path calculations and lossless reconstruction. Therefore, the importance and the effect of alpha-set analysis in Siddon algorithm on reconstructed images should be taken into consideration in medical imaging modalities to avoid lossy reconstruction.

Evaluating the calculation values of alpha set and system matrix, we strongly recommend using the unique function after (2.8) step in the Siddon algorithm to avoid loss in data in system matrix for the 3D image reconstruction modality.

#### **4. Conclusion**

The Siddon algorithm provides an efficient radiological path calculation for building up the system matrix which is used in 3D image reconstruction applications such as computed tomography (CT) and digital breast tomosynthesis (DBT) modalities. The system matrix includes the voxel array and intersection length array for the interaction of the ray with the target object and is used to reconstruct the projections acquired from the target for 3D imaging. Thus, obtaining correct data in the system matrix by the Siddon algorithm is a very critical issue. The value of the elements of the system matrix is calculated by performing the calculation step of alpha-set parameters in the Siddon algorithm. Due to appearing the consecutive values of some elements, the intersection length calculation produces zero values that cause data loss in 3D image reconstruction. In this study, we proposed an additional step in order to eliminate the same values of the consecutive values of the alpha-parameter set which cause zero-valued intersection lengths. We performed both the Siddon algorithm in the regular process and the Siddon algorithm with the additional step we proposed to avoid zero-valued of the intersection length. Comparing the results in the system matrix for both methods, our proposal for the Siddon algorithm provided not produce zero-valued of intersection length, thus avoiding the data loss in the system matrix which is used in 3D image reconstructions in medical imaging. We proved our proposal by validating the concept with the lossy and lossless 3D image reconstruction of a  $100 \times 100 \times 50$  size-synthetic phantom. For future work, we aim to perform and test our proposal for the Siddon algorithm for the increased dimensions of the system and applying it to the realistic phantoms

#### **Acknowledgement**

This work was supported by TUBITAK, the Scientific and Research Council of Turkey, under the project number 119E388.

#### **Author Contributions**

Adem Polat: Conceived the original concept, designed the analysis and wrote the manuscript.

#### **Conflicts of Interest**

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Andersen, A. H., & Kak, A. C. (1984). Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SART): A Superior Implementation of the Art Algorithm. *Ultrason. Imag.* 6(1), 81–94. DOI: [https://doi.org/10.1016/0161-7346\(84\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0161-7346(84)90008-7)
- Biguri, A., Dosanjh, M., Hancock, S., & Soleimani, M. (2017). A general method for motion compensation in x-ray computed tomography. *Physics in Medicine & Biology*, 62(16), 6532. Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/aa7675/meta>
- Bracewell, R. N., & Riddle, A. C. (1967). Inversion of Fan-Beam Scans in Radio Astronomy. *The Astrophysic. Journ.* 150:427. Retrieved from: <http://adsabs.harvard.edu/full/1967ApJ...150..427B>
- Dekker, K. H., Battista, J. J., & Jordan, K. J. (2017). Evaluation of an iterative reconstruction algorithm for optical CT radiation dosimetry. *Medical physics*, 44(12), 6678-6689. DOI: <https://doi.org/10.1002/mp.12635>
- Gao, Hao. (2012). Fast Parallel Algorithms for the X-Ray Transform and Its Adjoint. *Medical Physics* 39(11), 7110–20. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.4761867>
- Helvie, M. A. (2010). Digital Mammography Imaging: Breast Tomosynthesis and Advanced Applications. *Radiolog. Clin. of North America* 48(5), 917–29. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.rcl.2010.06.009>
- Jacobs, F., Sundermann, E., Sutter, B. D., Christiaens, M., & Lemahieu, I. (1998). A Fast Algorithm to Calculate the Exact Radiological Path through a Pixel or Voxel Space. *J. of Computing and Information Technology* 6(1), 89–94. Retrieved from: [https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=221195&lang=en](https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=221195&lang=en)
- Kaczmarz, S. (1937). Angenäherte Auflösung von Systemen Linearer Gleichungen (English Translation by Jason Stockmann: Approximate Solution of Systems of Linear Equations). *Bulletin International de l'Académie Polonaise Des Sciences et Des Lettres.* 35, 355–357. Retrieved from: <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/UCRLTRANS10985.xhtml>
- Kak, A. C., Slaney, M., & Wang, G. (2002). Principles of Computerized Tomographic Imaging. *Medical Physics* 29(1), 107–107. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.1455742>
- Klose, A. D., & Hielscher, A. H. (1999). Iterative reconstruction scheme for optical tomography based on the equation of radiative transfer. *Medical Physics*, 26(8), 1698-1707. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.598661>
- Kopans, D. B., Meyer, J. E., & Sadowsky, N. (1984). Breast Imaging. *New England Journal of Medicine* 310(15), 960–67. DOI: 10.1056/NEJM198404123101506. Retrieved from: <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJM198404123101506>
- Li, N., Zhao, H. X., Cho, S. H., Choi, J. G. & Kim, M. H. (2008). A Fast Algorithm for Voxel-Based Deterministic Simulation of X-Ray Imaging. *Computer Physics Communications* 178(7), 518–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2007.11.008>
- Mercan, T., Sevim, G., Kazancı, H. Ö., Üncü, Y. A., & Canpolat, M. (2017). Comparison of Images Produced by Diffuse Optical Tomography with Two Different Backscatter Techniques. In *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)* (pp. i-iv). IEEE. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8479038>
- Mercan, T., Sevim, G., Üncü, Y. A., Serkan, U. S. L. U., Kazancı, H. Ö., & Canpolat, M. (2019). The Comparison of Reconstruction Algorithms for Diffuse Optical Tomography. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 14(2), 285-295. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sdufeffd/issue/50336/549528>
- Niklason, L. T., Christian, B. T., Niklason, L. E., Kopans, D. B., Castleberry, D. E., Opsahl-Ong, B. H., ... & Wirth, R. F. (1997). Digital Tomosynthesis in Breast Imaging. *Radiology* 205(2), 399–406. Retrieved from: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiology.205.2.9356620>
- Nobel Media AB. 2014. “The Official Website of the Nobel Prize - NobelPrize.Org.” *Godfrey N. Hounsfield – Biographical.* Nobel Media AB. Retrieved from: <https://www.nobelprize.org/>
- Oliveira, N., Mota, A. M., Matela, N., Janeiro, L., & Almeida, P. (2016). Dynamic relaxation in algebraic reconstruction technique (ART) for breast tomosynthesis imaging. *Computer methods and programs in*



- biomedicine, 132, 189-196. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260715301590>
- Paltauf, G., Viator, J. A., Prah, S. A., & Jacques, S. L. (2002). Iterative reconstruction algorithm for optoacoustic imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112(4), 1536-1544. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.1501898>
- Polat, A., & Yildirim, I. (2018). An Iterative Reconstruction Algorithm for Digital Breast Tomosynthesis Imaging Using Real Data at Three Radiation Doses. *Journal of X-Ray Science and Technology* 26(3), 347–60. DOI: 10.3233/XST-17320. Retrieved from: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-x-ray-science-and-technology/xst17320>
- Polat, A., Matela N., Dinler, A., Zhang, Y. S. & Yildirim, I. (2019a). Digital Breast Tomosynthesis Imaging Using Compressed Sensing Based Reconstruction for 10 Radiation Doses Real Data. *Biomedical Signal Processing and Control* 48, 26–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.08.036>
- Polat, A., Hassan, S., Yildirim, I., Oliver, L. E., Mostafaei, M., Kumar, S., ... & Zhang, Y. S. (2019b). A miniaturized optical tomography platform for volumetric imaging of engineered living systems. *Lab on a Chip*, 19(4), 550-561. DOI: 10.1039/C8LC01190G. Retrieved from: <https://pubs.rsc.org/no/content/articlehtml/2019/lc/c8lc01190g>
- Raju, T. N. (1999). The Nobel Chronicles. 1979: Allan MacLeod Cormack (b 1924); and Sir Godfrey Newbold Hounsfield (b 1919). *Lancet* 354(9190), 1653. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)77147-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)77147-6)
- Ramachandran, G. N., & Lakshminarayanan, A. V. (1971). Three-Dimensional Reconstruction from Radiographs and Electron Micrographs: Application of Convolutions Instead of Fourier Transforms. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 68(9), 2236-2240. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.68.9.2236>
- Sevim, G., Merçan, T., Üncü, Y. A., & Canpolat, M. (2017). A new reconstruction technique used in Diffuse Optical Tomography System. In *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)* (pp. i-iv). IEEE. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8478965>
- Siddon, R. L. (1985). Fast Calculation of the Exact Radiological Path for a Three-dimensional CT Array. *Medical Physics* 12(2), 252–55. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.595715>
- Sidky, E. Y., Kao, C. M., & Pan, X. (2006). Accurate image reconstruction from few-views and limited-angle data in divergent-beam CT. *Journal of X-ray Science and Technology*, 14(2), 119-139. Retrieved from: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-x-ray-science-and-technology/xst00155>
- Üncü, Y. A., Merçan, T., Canpolat, M., & Sevim, G. (2017). A new approach to image processing in diffuse optical tomography and 3-D image. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7960192>
- Wang, K., Su, R., Oraevsky, A. A., & Anastasio, M. A. (2012). Investigation of iterative image reconstruction in three-dimensional optoacoustic tomography. *Physics in Medicine & Biology*, 57(17), 5399. Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/57/17/5399/pdf>
- Wu, T., Moore, R. H., Rafferty, E. A., & Kopans, D. B. (2004). A Comparison of Reconstruction Algorithms for Breast Tomosynthesis. *Medical Physics* 31(9), 2636–47. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.1786692>
- Xue, Z., Zhang, L., & Pan, J. (2011). A New Algorithm for Calculating the Radiological Path in CT Image Reconstruction. *Proceedings of 2011 International Confer. on Electronic and Mechanical Eng. and Information Technology* (pp. 4527–30). Harbin. DOI: 10.1109/EMEIT.2011.6024036. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6024036>
- Zhao, H., & Reader, A.J. (2003). Fast Ray-Tracing Technique to Calculate Line Integral Paths in Voxel Arrays. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (IEEE Cat. No.03CH37515)*. (pp. 2808–12). Portland, OR, USA. DOI: 10.1109/NSSMIC.2003.1352469. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1352469>



## Yönlendirme Tasarımının Disiplinlerarası Özelliklerinin Belirlenmesi ve İncelenmesi: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Küçükyalı Kampüsü Örneği

Mehmet Sinan Yum<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Endüstriyel Tasarım Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 13.11.2020  
Kabul: 27.04.2021  
Yayın: 30.06.2021

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Teknolojik gelişmelerle beraber, mekansal tasarım yaklaşımları, kullanıcı deneyimi ekseninde ele alınmaya başlanmıştır. Tasarım dili ve okunabilirlik kavramı, teknoloji ve üretim yöntemlerindeki gelişmeler sonucunda değişim geçirmektedir. Mobil teknolojilerin günlük yaşama entegrasyonu, özellikle grafik dilin güncelleşmesine yol açarken, piktogram ve sembollerin kullanımına yönelik yeni yöntemler sağlamaktadır. Kamusal yapılarda düzenleyici mesajlar iletmek için alternatif yollar bulunması amacıyla görsel tasarımda yenilikçi iletişim yaklaşımları yaygınlaşmaktadır. Bu durum, daha işlevsel ve kalıcı bir iletişim yöntemi yaratarak sağlanan etkileşimin yeniden kavramsallaştırılmasına yol açmaktadır. Müzeler, havaalanları, oteller gibi kamuya açık alanlarda yön bulma senaryosunun etkin kavramsal gelişimi, projelerde hedeflenen iletişim değerleri ve kullanıcı deneyimi hedeflerine ilişkin istenen tasarım sonuçlarının elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Yönlendirme tasarımı, hedef kitleye göre geliştirilmesi gereken, mekana uygunluk oluşturan ve yapısal unsurlarla uyum içinde var olan disiplinlerarası bir tasarım yaklaşımıdır. Mimarlık eğitimi, yeni uzmanlıkların getirdiği uygulamalı eğitim modelleriyle bütünleşerek güncel ve çağdaş bir nitelik kazanmaktadır. Mimarlık ve tasarım kavramlarının ele alınış biçimleri açısından kullanıcı deneyimi odağında gerçekleşen yaklaşımların başında, yönlendirme tasarımı gelmektedir. Yönlendirme tasarımının sonucu, mimari merkezli kullanıcı deneyimi olarak yorumlanabilecek karma bir yaklaşımdır. Kalitatif bir yöntemle makalede sunulan örnek çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümünde yürütücü yazar ve öğrenciler tarafından sürdürülen 14 haftalık ders çıktılarıdır. Araştırma, açıklanan projenin seçilen literatürle ilişkilendirilmesi yoluyla yönlendirme tasarımına ait disiplinlerarası tasarım özellikleri ve kullanıcı deneyimi niteliklerinin belirlenmesini amaçlayarak, lisans eğitiminde sağlanan kazanımlarla ilgili bilgi sağlanmasını hedeflenmektedir. Bu bağlamda, tasarım stüdyolarına danışmanlık hizmeti sağlayan yazarın, yönlendirme tasarımı konusu ekseninde, eğitmen kimliğiyle bağlı olduğu kurumda gerçekleştirdiği uygulamalı dersin detaylı açıklamaları ve sonuçları paylaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Deneyim, eğitim, grafik, kimlik, yönlendirme

## Determination and Examination of the Interdisciplinary Characteristics of Wayfinding Design: Istanbul Commerce University, Küçükyalı Campus Case

<sup>1</sup>Department of Industrial Design, Faculty of Architecture and Design, Istanbul Commerce University, Istanbul, Turkey

### Article History

Received: 13.11.2020  
Accepted: 27.04.2021  
Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – Design language and readability concepts change rapidly as a result of advancements in technology and production methods. Along with technological developments, spatial design approaches have started to be considered centered on user experience. As a result of this change, architectural approaches gain an up-to-date and contemporary quality with the applied education models brought by a new expertise. Wayfinding design is one of the main expertises focused on user experience, merging architecture and graphic design into one. It is an interdisciplinary design approach that needs to be developed according to the target audience, providing suitability for the space and existing in harmony with structural elements. The result of wayfinding design is a hybrid product that can be interpreted as an architecture-centric user experience. The case study presented in the article is the 14-week course outcomes carried out by the author and students at the Istanbul Commerce University, interior architecture class. The research aims to identify the interdisciplinary design features and user experience qualities of wayfinding design by associating the described project with the selected literature, and to provide information on the educational achievements in undergraduate education. In the study, detailed explanations and results relevant to the applied 14 week-long project based on wayfinding design that has been managed by the author, are presented. The primary originality of the research is the aim of explaining the orientation of wayfinding design method in terms of an integrated approach to graphic design and architecture, in line with the objectives of the study.

**Keywords** – Education, experience, graphics, identity, wayfinding

<sup>1</sup> msyum@ticaret.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Tasarım disiplini açısından yön bulma kavramı, yönlendirme olarak adlandırılır. Yönlendirme (wayfinding) teriminin ilk kullanımı Kevin Lynch (1960) tarafından gerçekleştirilerek, kavram 'The Image of the City' kitabında deneyimi geliştirmek için bir fırsat olarak açıklanmıştır. Lynch, (1960), yönlendirme kavramını 'dış çevreden alınan belirli duyuşsal ipuçlarının tutarlı kullanımı ve organizasyonu' olarak tanımlamaktadır. Yazar kitabında cadde adlarını, bina numaralarını, haritaları ve ilgili nesnelere, kentsel yön bulma öğeleri olarak ifade etmiştir. Kitap, kentsel planlama ve mimaride yeni bir yaklaşım sunarak tasarım alanına *Belirgin Yer Objesi* terimini hediye etmiştir. Bu fikir, yön bulmayla ilgili tutarlı bir tasarım senaryosu elde etmek için belirli navigasyon unsurlarını vurgulama ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Yönlendirme tasarımı, benzersiz bir sonuç üretmek için farklı tasarım biçimlerini birleştiren zorlu ve yaratıcı bir fırsattır. Piaget ve Inhelder, (1967), yön bulmanın çocuklukta öğrenilen ve yetişkinliğe kadar gelişen bir yetenek olduğunu ifade etmektedir. Fizyolojik olarak yön bulma, koku alma, duyma, görme, dokunma ve hatta tat alma gibi duyuşlar aracılığıyla gerçekleşebilir. Bu süreç, bireysel farklılıklar sonucunda kişiden kişiye farklılık gösterebilen, bilişsel yeteneklerle ilgili bir deneyimdir. Toplumda etkin bir şekilde hizmet verebilmek için yönlendirme senaryolarının projenin başından itibaren tasarım süreçlerine dahil edilmesi ve uygulanması gerekliliğinin nedeni budur. Alışveriş merkezi, otel, havaalanı, akvaryum, müze ve okul gibi kamuya açık binalarda, yapının bütünlüğüne uygun marka kimliğiyle uyumlu bir yönlendirme stratejisi tasarlanmalıdır. Çalışmanın literatür bölümünde, temel kavramlar anahtar kelimelerle ilişkilendirilerek araştırmanın nedenselliğine uygun düşecek şekilde sunulmaktadır. Araştırmanın temel özgünlüğü, grafik tasarım ve mimarinin bütünlük biçiminde ele alınmasına olanak veren yönlendirme tasarımı yönteminin eğitim kurumlarında uygulanmasıyla ilgilidir. Bu amaçla kurumlarda geleneksel mimarlık eğitimi içeriğinde bulunmayan tasarım yaklaşımı, ilk defa yürütücü tarafından yönetilen ders dahilinde uygulanarak, tartışma bölümünde değerlendirme bulguları ışığında yöntemin eğitimdeki yerinin ve öneminin açıklanması hedeflenmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın yazarı akademik görevinin yanı sıra saygın bir tasarım stüdyosunda uluslararası öneme sahip projelere yönlendirme tasarımı konusunda danışmanlık vermektedir. Yazarın bağlı olduğu eğitim kurumunda verilen mimarlık eğitiminde, ilk defa olarak bir ders yönlendirme tasarımı odağında hazırlanmıştır. Çalışmada, tartışma kısmında sunulan örnek projelere dayanarak, öğrencilerin disiplinlerarası tasarım becerileriyle ilgili kazanımlar sağlanmasına yönelik açıklamalarda bulunmaktadır. Araştırmanın temel amacı, tasarımın disiplinlerarası doğasının ortaya konulması amacıyla farklı tasarım dallarını birleştiren özgün projelerin, çalışmanın hedefleri doğrultusunda literatürle ilişki içinde değerlendirilmesinin sağladığı bulgulara ulaşılmasıdır. Bu bağlamda kalitatif bir araştırma olarak ele alınan çalışma, yönlendirme tasarımının disiplinlerarası özelliklerinin belirlenmesi hedefiyle kurgulanmıştır. Mimarlık, grafik ve ürün tasarımı ekseninde oluşan kullanıcı deneyimine ait etkileşim özelliklerinin belirlenmesi, yönlendirme tasarımının disiplinlerarası doğasının açıklanmasına olanak sağlayabilir. Araştırmanın sunduğu ana hipotez 'yönlendirme tasarımının disiplinlerarası bir tasarım yöntemi' olduğudur. Takip eden bölümlerde açıklandığı üzere yönlendirme tasarımı, yaratıcı disiplinlerin yanı sıra sosyoloji ve psikoloji gibi sosyal bilimlerin de etkisi altındadır. Bu durumun temel sebebi yönlendirme tasarımının yüksek kullanıcı deneyimi özelliklerinin bulunmasıdır. Çalışmada kullanılan malzemenin iki grupta açıklanması mümkündür. Birinci grup, çalışmayla ilgili başlık, hipotez ve hedefler ile ilişkili olarak seçilen literatürden oluşmaktadır. İkinci grup ise çalışmanın başlığında sunulan İstanbul Ticaret Üniversitesi, Küçükyağlı Kampüsüne yönelik gerçekleştirilen projelerin tartışma bölümünde açıklanmasında oluşmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın tartışma bölümü, sunulan projelerin literatürle ilişki içinde değerlendirilmesini, sonuç bölümü ise bulguların açıklanmasını kapsamaktadır.



## 2.1. Yönlendirme Tasarımı

Yönlendirme tasarımı, şehirlerde navigasyonu artırmaya yönelik metodik bir yaklaşımdır. [Gibson, \(2009\)](#) tarafından belirtildiği üzere, kavram, grafik tasarım ve mimari tasarımla ilgili mekansal uygulamaya yönelik herhangi bir iletişimi tanımlamak için tercih edilen genel bir terim haline gelmiştir. Kamusal yapılar, parklar ve alanlar, ziyaretçiler için numaralandırma, işaret ve diğer dijital grafik uygulamalar yoluyla kolay dolaşımın sağlanması için gelişkin yönlendirme sistemleri sunarlar. Ziyaretçilerin ilk defa ziyaret etikleri bir yapıda doğru rotayı kaybetmesi sıklıkla yaşanan bir durumdur. Eksik veya gelişmemiş yönlendirme senaryoları, yön bulma ve dolaşım ile ilgili belirli sorunlara yol açabilir. Yönlendirme sistemlerinin özellikleri, bireysel verimi artırması ve geliştirmesiyle ilgili birçok araştırma yapılmaktadır ([Hölscher vd., 2007](#)). Bu durum, yönlendirme senaryosunun konumsal önemi ile kamusal alanlarda kullanılan ürünlerin sahip olduğu nitelikler arasında bulunması gereken tutarlılığın incelenmesinin gerekliliğini ifade etmektedir. Kamusal yapılarda bulunan yönlendirme elemanları aracılığıyla iletilen mesajlar, sağladığı konumlandırma ve yön bulma bilgisiyle ziyaretçi ve personel trafiğini düzenler. Yönlendirme ürünleri konumlarının büyük ölçüde yönlendirme senaryosuna bağlı olması sebebiyle, tüm elemanların yapının özelliklerine ve hedeflerine uygun şekilde yerleştirilmeleri gerekir. Yapıya finansal değer katan yönlendirme tasarımı, sunduğu estetik ve bilgilendirici uygulamalarla bireysel sosyal deneyimi artırmanın yanı sıra, güvenlik, bilgi ve gezinme gibi ihtiyaçlara yönelik çözümler sunar. Yönlendirme tasarımı senaryoları özellikle acil durumlarda yüksek hizmet değeri taşır. Bu nedenle yönlendirme elemanlarının, olası bir krizin kontrol altına alınması ve karışıklık yaratılmadan halkın düzenlenmesi hedefiyle açık bilgiler ve direkt mesajlar sağlaması gerekmektedir. [Şekil 1](#)'de yapıların iç mekanlarında konumlandırılan kat yönlendirmesi görülebilmektedir.



Şekil 1. Somerset yönlendirme elemanı. ([Whybrow.co.uk](http://Whybrow.co.uk))

[Montello ve Sas, \(2006\)](#), yönlendirme tasarımı hedefiyle yapılarda kullanılan işaretlerin net olmadığı ve bilginin çok karmaşık aktarıldığı durumların olduğunu ifade etmektedir. Aktarılan bilginin hedef kitle için düzensiz olduğu veya tutarsız şekilde iletilindiği durumlarda, yön bulma elemanları düzensizlik veya panik yaratabilir. Bu tür durumlarda yön bulmanın bilişsel olarak işlenmesi kafa karıştırıcı olabilir, yani kişi mekan içinde oryantasyonunu kaybedebilir. Sorunların çözümü, yönlendirme senaryosuna ait tutarlı bir içerik, iletişimsel birlik ve özgün bir kullanıcı deneyimi sağlanmasıdır. Etkin bir yönlendirme sağlanması için tasarım ölçütlerine ait değerler liste halinde sunulmaktadır.

- 1) Mimari Değerler: Yapısal ve kavramsal şartnamelerin uygunluğu.
- 2) Mekansal Değerler: Yapı içinde kolay dolaşım sağlanması.
- 3) Grafik ve Estetik Değerler: Görsel ve iletişimsel tutarlılık.
- 4) Güvenlik Değerleri: Acil durumlar için düzenleyici bilgi sağlanması.
- 5) Hizmet Merkezli Değerler: Kamu ve hizmet rehberliğinin düzenlenmesi.
- 6) Peyzaj Değerleri: İç ve dış çevre uygulamalarının bütünselliği.

Toplumsal açıdan algılanan değerler sıklıkla estetik ile ilgili özellikler olsa da, projelerin gerçek önemi büyük ölçüde güvenlik ve hizmet temelli değerlere bağlıdır. Listelenen tüm değerlerin bütünselliği, sunulan deneyimin kalitesini tutarlı bir şekilde garanti etmekte, yüksek kullanıcı deneyimini sağlamaktadır.

### 2.1.1. Yön Bulma Tasarımının Özellikleri ve Aşamaları

Klippel, (2004), yönlendirme senaryosunun mekansal bir dil oluşturulması için toplanan rota bilgilerinin işlevsel bir karakterizasyonu hedeflediğini ifade etmektedir. Bu ifadeye dayanarak yönlendirme tasarımının özellikleri hakkında davranışsal-deneysel alanla ilgili belirlemeler yapılabilmektedir. Yönlendirme biçimlerinin zihinsel kavramsallaştırmaları, bireysel davranış kalıplarına dayanır. Bu durum, yönlendirme hedefiyle, yol bulma ve rota bilgisinin iletişimi bağlamında yapısal kavramlardan ziyade bilişsel işlemlerin hakim olduğu anlamına gelir. Yönlendirme, rotaların kavramsal uzamsal işlenmeleridir. Bilişsel işlemlerin aktive olması için gereken bilgi iletişimi, birçok durumda dijital etkileşimli sistemler tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2). Dijital uygulamalar, bilişsel işlemin zorluk seviyesini kullanıcı kimliklerine göre düzenleyerek, yönlendirme verimini artırmaktadır.



Şekil 2. [Airdesign](#) tarafından tasarlanan Kanyon dijital yönlendirme elemanı

Yönlendirme senaryosu tasarlanırken dikkate alınması gereken bazı adımlar vardır. Tutarlı bir tasarım oluşturmanın yanı sıra kullanıcı deneyimi hedeflerine ulaşabilmek için, yönlendirme senaryosuna ait ana temanın, yapısal tema ile önceden tanımlanmış kavramlar üzerinden ilişkili bir bağ ve anlamı olmalıdır. Kamu hizmetler hedefleyen işletmelerin, sunulan deneyimi kazançlı gelirler getirecek şekilde yapılandırması gerekir. Yönlendirme temalarının uyum sağlaması gereken tasarımsal bazı değerler bulunmaktadır. Öncelikle okunabilirlik ve algılanabilirlik, yönlendirme tasarımının en önemli özellikleridir. Senaryo elemanları doğru konumlarda başlangıç noktasından varış noktasına kadar etkin bir rota oluşturmalıdır. Yönlendirme senaryolarında görsel bir kirlilik yaratmadan gereken sayıda yönlendirme elemanı kullanılmalı, ürünler kolayca fark edilebilecekleri noktalara, belirlenen adetlerde, mümkün olduğu ölçüde kısmen gizlenerek yerleştirilmelidir. Böylelikle bütünsel mekan algısını bozmadan ihtiyaç duyulduğu anlarda algılanabilecek ürünler, sunulan deneyime katkı sağlayabilirler. Kamusal yapılarda kullanılan yönlendirme senaryosu, genel olarak numaralandırma sistemi, kurumsal kimlik, tipografi tasarımı, piktogram seti tasarımı, iç mekan ve dış mekan tabelaları, dijital ve etkileşimli tabelalar ve otopark işaretlerinden oluşur. Etkili yönlendirme ürünü tasarlarırken uygulanması gereken bazı prensipler mevcuttur, bu prensipler liste halinde sunulmaktadır.

- 1) Okunabilirlik: Tabelaların metinsel ve görsel netliği.
- 2) Üretim Kolaylığı: Maliyet etkinliği ve üretilebilirlik.
- 3) Erişilebilirlik: Arayüz tasarımının kullanıcı kimlikleri açısından uygunluğu.
- 4) Kullanım Kolaylığı: Kullanıcı dostu ergonomik ve antropometrik özellikler.

- 5) Algılanabilirlik: Kolaylıkla tanınan ve algılanabilen ürünler.
- 6) Teşvik Sağlama: İkna edici iletişim kullanımı.
- 7) Tutarlılık: Rota oluşturmak için konumların ilişkilendirilmesi.
- 8) Karlılık: Estetik değerlerin finansal faydaları.

Havaalanı, alışveriş merkezi ve müze gibi geniş kullanıcı kimliklerine hizmet sağlayan yapılarda ziyaretçi kimlikleri farklılıklar gösterebilmektedir. Bu amaçla herkesle iletişim kuran kaliteli ve geniş kapsamlı bir senaryo sağlanması son derece önemlidir. Çoğu ziyaretçinin ortak dil konuşmaması veya aynı alfabe kullanmaması sebebiyle, kamusal yapılarda sağlanan iletişim büyük ölçüde piktogram adı verilen grafik sembollere bağlıdır. Piktogramlar, herkes tarafından görülebilme, farkedilebilme ve algılanabilme özellikleri ile çok çeşitli iletişimsel çözümler sunarlar. Ayrıca yapının algılanan kimliğine vektör temelli özellikleriyle yüksek kaliteli görsel değer katarken, mesajın iletilmesi için metine göre fiziksel olarak daha az yer kaplarlar. İletişim amacıyla kullanılan yönlendirme elemanları, proje gereksinimlerine bağlı olarak teknoloji, tip ve sayı bakımından farklılık gösterebilir. Önemli olan projenin ihtiyaç duyduğu sayıda ve özellikte elemanların tasarlanarak kurumsal senaryo doğrultusunda kullanılmalarıdır.

### 2.1.2. Mimari ve Yönlendirme

Arthur ve Passini, (1992), bireyci bakış açısından yön bulmayı bilgiyi işleme, karar verme (planlama) ve yürütme aşamalarından oluşan kavramsal bir problem olarak ele almaktadır. Bu ifadeye göre kamusal yapılarda gezinti rotası boyunca ilerlenmesi için, ilerlemeye (locomotion) dair sürecin ve aşamaların proje esnasında detaylandırılması gerekmektedir. Her bireyin farklı düzeyde bilişsel yeteneklere sahip olması nedeniyle yönlendirme tasarımının değişen kullanıcı gereksinimlerine uygun stratejiyle geliştirilmesi gerekmektedir. İç mekânlarda kullanılan grafik öğeler, yoğunlukla merkezin içeriğine bağlı olarak iletişimsel hedeflerle kısa ve uzun vadeli çözümler biçiminde hizmet vermektedir. Kalıcı tabelalar yön, dolaşım, içerik ve güvenlik ile ilgili temel bilgileri sağlar. Merkezin stratejisine bağlı olarak bazı sergilerde kullanılan geçici yönlendirme elemanları, kalıcı elemanlar işlevinde de kullanılabilir. Dönemsel ve mevsimsel sergiler, deneyimi geliştirmek için sıklıkla sergi konusunda bilgilendirici grafik elemanlar kullanmaktadır. Yönlendirme, yol bulma ve rota seçimi, problem çözme ve karar verme yeteneklerini içerir (Montello ve Sas, 2006). Bu durum, yönlendirmenin esas olarak bilişsel yeteneği tetiklediğini ve ardından yürütme sürecini gerçekleştiren psiko-motor becerilerin devreye girdiğini ifade etmektedir. İdeal bir yön bulma senaryosu, yapısal projeye senkronize olarak tasarlanabilir. Binaların iç duvarlarına konumlandırılan yönlendirme elemanları ve piktogramlar yapıyla birleşerek mekânın bütünleşik algılanmasını sağlamaktadır (Şekil 3). Bu tip uygulamalar sayesinde hedeflenen uygulama kalitesi ve sağlanan deneyim, merkez ve ziyaretçi açısından karşılıklı olarak tatmin edici bir seviyeye ulaşılabilmektedir.



Şekil 3. İç mekân yönlendirme uygulaması, North Glasgow College ([Weareendpoint.com](http://www.weareendpoint.com))

Şehirlerdeki nüfus artışı, günlük yaşamın belirli dinamiklerini ve ihtiyaçlarını yeniden düşünmenin gerekliliğine yol açmıştır. Kamusal yapılarda artan yatay ve dikey alanların bir sonucu olarak, dolaşımın düzenlenmesi gereksinimi, organizasyonel bir çözüm ihtiyacı doğurmaktadır. Mekansal yönlendirme çözümleri, işlevsel bir hareket sağlanması için dikey ve yatay sirkülasyonu (dolaşım) planlar. Yatay sirkülasyon kat ve alanlarında gerçekleşirken, dikey sirkülasyon asansör, merdiven ve yürüyen merdivenlerde meydana gelir. İç mekanlar sıklıkla daha küçük odalara bölünebildiğinden, görüş alanı dar olabilir. Özellikle deneyimsiz ziyaretçiler için dikey sirkülasyonu algılamak her zaman kolay olmamaktadır, ancak dikey dolaşım, bireysel ve toplu dolaşım için yön bulma performansını artırmada pratiklik sağlamaktadır. Yönlendirme elemanlarının ziyaretçilerin düzenlenmesi amacıyla merdiven ve asansör gibi potansiyel olarak aşırı kalabalık dikey sirkülasyon noktalarına konumlandırılması, yığılmaları büyük ölçüde önleyebilmektedir. Çok sayıda galeri ve iniş platformundan oluşan alışveriş merkezleri ve havalimanları gibi yapılarda, kaybolunması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu gibi durumlarda, yolcular otomatik olarak bir referans veya danışma noktası arayışına geçerler. Genellikle tanıyan birinin yönlendirmesi veya toplanma noktası yönlendirmeleri, kaybolan yolcuların bireysel rotalarına dönebilmeleri için gereken bilgiyi sağlayabilmektedir.

[Calori ve Vanden-Eynden, \(2015\)](#), yön bulma için kullanılan belirgin yer objelerini 'mekan içinde benzersiz bir fiziksel görüntü yaratan ürünler' biçiminde ifade etmektedir. Belirgin yer objeleri net görüş hattı ile kesişen yüksek görünürlüğe sahip nesnelere oluşur ve yapı içinde bulunan kavşaklara yerleştirilir. İlk defa merkeze gelen ziyaretçiler için bilinmeyen bir alanda ilerlemek genellikle zor olduğundan, yer değiştirirken başkaları tarafından sağlanan bilişsel haritalara (tarif), yönlendirme elemanlarına veya yön duygularına güvenirler. Başkaları tarafından sağlanan talimat ve tarifler çoğunlukla bir belirgin yer objesinin kullanımını içermektedir. Görseller, grafikler, metinler ve reklam panoları gibi iletişimsel elemanlar, rotayı oluşturan iki nokta arasında gerekli yardımcı bilgileri sağlayabilir. Yapının içindeki bilişsel yönelim sürecini takiben ziyaretçi, hangi rotayı takip edeceği hakkında zihinsel bir harita oluşturabilir. Yönlendirmenin temel amacı, ön deneyimi bulunmayan ziyaretçilerin kendi kendilerine yön bulmasına olanak sağlamaktır. Yönlendirme tasarımının sunduğu verilerin farklı geçmişlere sahip ziyaretçiler tarafından ilişkilendirilebilecek bir biçime dönüştürülmesi, çok katmanlı bir tasarım stratejisinin geniş bir şekilde uygulanmasını gerektirmektedir.

## **2.2. Mekansal Yön Bulma Elemanları**

Passini (1984), bilginin bilişsel olarak değerlendirilmesini karar verme, yürütme ve işleme olarak üç aşamada sınıflandırmaktadır. Kamusal bir yapıda ziyaretçilerin bilgileri işleyebilmesi için gereken içerik, haritalar, semboller, piktogramlar ve tabelalar gibi elemanlar tarafından iletilir. Bilgi tasarımında en etkin yaklaşım, mimari ve grafik tasarımın yönlendirme senaryosu açısından bütünlük biçimde ele alınmasıdır. Yönlendirme amacı için kullanılan elemanlar, grafik ve endüstriyel ürün tasarımı disiplinlerinin karma sonuçlarıdır. Hareketli grafikler, stok video ve ses içerikleri, güncel uygulamalarda görsel olarak tutarlı iletişimi destekleyen tekniklerdir. Sıklıkla iletişimin kısa ve direkt tutulması amacıyla infografikler ve piktogramlar kullanılmaktadır. Uygun bir tipografi, mimari düzenlemelerle tutarlılığın yanı sıra yön bulma stratejisine de katkı sağlar. Tasarlanan tipografik deneyim geliştirilerek, yapısal içerikle uyumlu olmalıdır ([Şekil 3](#)). Yönlendirme tasarımında en önemli özelliğin okunabilirlik olması nedeniyle, kullanıcı dostu ve algılanması kolay arayüzler, misafirlerin merkezle daha kolay bağlantı kurmasını sağlayabilmektedir. Kolay dolaşım sağlanması amacıyla yapılarda kullanılan ürün temelli grafik ve tipografik uygulamalar, merkezle ilgili yönlendirme bilgilerini sunmaktadır ([Şekil 4](#)).

Yönlendirme tasarımı, sembollerin, piktogramların ve infografiklerin kullanımından oluşur. [Lankow vd., \(2012\)](#) infografiklerin her türlü veriyi, içeriği, kronolojiyi ve hiyerarşiyi görsel olarak aktarabildiğini belirtmektedir. Sembollerin ve piktogramların temel doğası en basit bilgi biçimini taşıırken, infografikler herhangi bir boyuttaki verisel içeriği düzenlenmiş bir şekilde, bilgi kaybı olmadan aktarabilen grafik düzenlemelerdir. Piktogramlar genellikle sağladıkları anlık algı nedeniyle yoğun hareketliliğin olduğu alanlarda tercih edilirler. Özellikle acil ve güvenlik durumlarında her kamusal alanda kullanılan güvenilir yönlendirme elemanlarının

taşıdığı içerikler piktogramlardan oluşur. Yönlendirme elemanlarının, amaç, işlev, konum ve içeriğe bağlı olarak bir sınıflandırılması mümkündür.

- 1) Yönlendirici elemanlar, ziyaretçilerin hareket akışını ve hızını düzenler. Örneğin bir terminal binasında yolcuların zaman kaybı olmadan biniş kapılarına ulaşmaları beklenir. Yatay ve dikey alanlara yerleştirilmiş yönlendirme elemanları, yazılı metne ihtiyaç duyulmaksızın numaralandırma sistemleri ve piktogramlar aracılığıyla temel bilgileri sağlayarak yolcuları yönlendirirler.
- 2) Tanımlayıcı elemanlar, bebek bezi değiştirme odası gibi alanların varlığını ve işlevselliğini sunarlar.
- 3) Bilgilendirici elemanlar, basılı medya ve dijital kioskları kullanarak bilgi sağlarlar. Bu tür içerik, düzenli olarak güncellenebilir.
- 4) Düzenleyici elemanlar, kullanım koşulları, uyarılar, güvenlik düzenlemeleri ve yasal kuralları hakkında bilgi sağlarlar. Örneğin, otopark alanlarındaki hız sınırı uyarıları ve yasal düzenlemelerle ilgili bilgilendirmeler, düzenleyici iletişimlerdir.

Yönlendirme tasarımının projeye kattığı işlevsel değerlerin yanı sıra, bireysel gezintiyi ve mekansal algıyı geliştiren yapısı, merkezin duygusal ve finansal değerini de artırmaktadır. Bu sebeple kamusal merkezlerde sunulması hedeflenen işlevsel verimlilik, zaman kaybını ve stres kaynaklarını azaltarak olumlu bir kullanıcı deneyimi sağlanmasını amaçlar.



Şekil 4. Kat Planları, North Glasgow College ([Weareendpoint.com](http://Weareendpoint.com))

### 2.3. Yönlendirme Tasarımına Etki Eden Tasarım Disiplinleri

Tüm yönlendirme senaryoları, disiplinlerarası tasarım yaklaşımlarının sonucunda tasarlanan dijital ve fiziksel ürünlerden oluşur. Bu amaçla, yönlendirme stratejisinin sağladığı iletişimin üç farklı açıdan değerlendirilerek sunulan bilginin niteliğinin, konumunun ve ne şekilde iletilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bina yapısının özelliklerine, ziyaretçi kimliklerine ve içeriğe göre konumlandırılan elemanlar belirlenen rota ve alternatifleri boyunca konukları yönlendirirler. Destekleyici bilgiler belirgin yer objesi olarak kullanılan kavşak noktalarında görünür ve akılda kalıcı fiziksel ürünler aracılığıyla sağlanarak farklı rota seçimleri sunarlar (Gärling vd., 1983). Yerleşik şehirlerde navigasyonu sağlayan belirgin yer objeleri anıt, bina veya bir ağaç olabilmektedir. Kentliler bu nesnelere referans olarak kullanarak, yönlendirme sağlayabilir. Bu tip noktalar aynı zamanda toplanma, buluşma veya dinlenme amacıyla kullanılırlar. Viaene vd., (2014), belirgin yer objelerini, yapısal özellikleri vurgulayan mekansal temsil elemanları biçiminde ifade etmektedir. İç ve dış mekanda konumlandırılan anahtar nesnelere, özellikle deneyimsiz konuklar için yol bulma amaçlı bir referans noktası sağlarlar. Baskı ve grafik tasarım ürünlerinin, renk, malzeme, aydınlatma ve doku uygulamalarıyla belirgin yer objeleri olarak kullanılmaları, ürünleri kişiselleştirmenin yanı sıra hızlı algılanmalarına da imkan vermektedir. Grafik kişiselleştirmeler, belirgin yer objesi olarak kullanılan ürünlerin mekan ile ilişkisinin grafik olarak vur-



gulanmasını sağlayarak, farklı, pratik ve estetik çözümlerle elemanların tanımlanabilirliğini artırmaktadır. Yapılarda konumlandırılan bilgilendirici grafik uygulamalar, mimari içine entegre edilen etkin ve estetik iletişim sağlamaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. The Bower, Grafik Uygulaması ([Wearendpoint.com](http://Wearendpoint.com))

Yönlendirme stratejilerinin gerektirdiği ürünler, disiplinlerarası tasarım yaklaşımlarının üretimlerinden oluşmaktadır. Yönlendirme tasarımı, diğer tasarım disiplinleri, sosyal bilimler ve bilişim alanından etkilenen bir yöntemdir. Fiziksel ve sanal etkileşim türlerinin yönlendirme stratejileri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Mimarlık, iç mimarlık, endüstriyel, iletişim, grafik, etkileşim, arayüz ve çevresel tasarımın yanı sıra psikoloji ve sosyoloji, yönlendirme tasarımında bütünlük kullanıcı deneyimini oluşturmaktadır. Bu disiplinlere bağlı olarak kurgulanan yönlendirme stratejisinin özgünlüğü, dijital ve fiziksel olarak üretilen elemanların üretim kalitelerinin korunmasıyla ilişkilidir. Özgün ürünler tasarlanmasının yanı sıra kullanıcı kimlikleriyle etkileşim sağlayan içeriğin tasarlanması ve sunulması, iletişimin kalitesi açısından önem taşımaktadır. Kullanılabilirlik esasları doğrultusunda kullanıcı kimlikleriyle etkileşim kuran ürünlerin başarısı, oluşan kullanıcı deneyiminin başarısında belirleyici etkindir. Disiplinlerarası tasarım süreçlerinin erişilebilirlik kurallarıyla bütünlük şekilde ele alınmasının sağlayacağı etki, yönlendirme senaryosunun kullanıcı deneyimiyle ilgili kazanımlarını ortaya koyar. Bu sebeple yönlendirme tasarımı, farklı tasarım disiplinlerinde uzmanlıkları olan tasarımcıların bütünlük emeği sonucunda geliştirilen bir yöntemdir. Birçok tasarımcı zaman içinde farklı tasarım disiplinlerinde uzmanlaşarak arakesit 'melez' tasarımcı kimliği ve becerisi kazanmaktadır. Uebele, (2007), farklı kimliklerdeki tasarımcıların geliştirdiği projelerde, yüksek kullanıcı deneyimi değerine ulaşmanın ancak mekansal deneyim açısından bütünlük ve tutarlılık sağlayan, üretken bir yön bulma sistemi sayesinde gerçekleşebileceğinden bahseder. Bu ifade, melez tasarımcının rolünü vurgulayarak yönlendirme tasarımının disiplinlerarası niteliklerini yansıtmaktadır. Kullanıcı deneyimi tasarımının sosyal bilimlerle olan ilişkisi neticesinde melez tasarımcıların kullanıcılara ait demografik, psikolojik, sosyolojik ve pedagojik özellikleri değerlendirmeleri, farklı kimliklere uygun yönlendirme tasarımı senaryosu oluşturulması hedefiyle alanların birbirleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

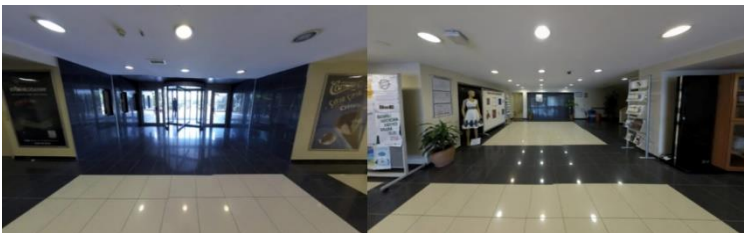
Yönlendirme tasarımının disiplinlerarası doğası, özgün tasarım diline sahip melez ürünlerin geliştirilmesine imkan vermektedir. Araştırmada sunulan proje, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü tarafından uygulanan ve yazar tarafından yürütülen 14 haftalık bir dersin çıktılarıdır. Öğrencilerin bireysel veya ikili gruplar halinde hazırladıkları projelerden seçilen örnekler, literatüre dayanan ve çalışmanın hedefleriyle örtüşecek biçimde farklı başlıklar altında sunulmaktadır. Bu yaklaşımın amacı aynı konularda oluşturulan farklı yaratıcı fikirlerin ortaya konulmasının sağlayacağı özgünlüğün açıklanmasıdır. Çalışmada, ilk aşamada mevcut kurumsal kimliğin incelenmesi, seçilen temalar doğrultusunda yeniden tasarımı ve yönlendirme senaryosuna uygulanmasının sonuçları paylaşılmaktadır. Bu bağlamda araştırma, örnek projelerde sunulan yönlendirme stratejisi ve ürünlerini iletişim merkezli kullanıcı deneyimi tasarımı ekseninde belirlemekte ve incelemektedir.

#### 3.1. Ticaret Üniversitesi Küçükalyalı Kampüsü, Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Küçükalyalı Kampüsü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi ile Mühendislik Fakültesine ev sahipliği yapmaktadır. Üniversite kullanımına uygun olarak inşaa edilmemiş olan komşu yapılar, güncel ihtiyaçlara uygun şekilde düzenlenerek bir eğitim kurumuna hizmet vermektedir. Kampüsün deneyimlenmesiyle ilgili beliren en büyük ihtiyaçların başında dolaşım ile ilgili sorunlar mevcuttur. Özellikle mekansal ön deneyimi olmayan veya az olan ziyaretçiler, genellikle personel yönlendirmeleri ve tariflere dayanarak dolaşım sağlamaktadır. Proje süreci dahilinde tespit edilen ve tanımlanan yönlendirme ihtiyacının giderilmesi amacıyla yapıcı çözümler getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın hedefleri doğrultusunda mevcut durumun ortaya konulması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ana giriş alanında personel, güvenlik ve yönlendirme ihtiyacını karşılamaktadır (Şekil 6). Bahçe girişinde bulunan fakülte tabelaları, görsel ergonomiye uygun şekilde konumlanmamıştır (Şekil 7). Bahçe kısmında belirgin yönlendirme elemanı veya kurumsal uygulama bulunmamaktadır. Bina üstünde olan uygulama yayalara ait görsel ergonomiye göre yüksektir (Şekil 8). Blok ve fakülte tabelaları farklı ve renk tonlarında ve tipografik özelliklerde olmaları sebebiyle kurumsal kimliğe uygun değildir (Şekil 9). Oda numara ve isimleri mevcut kurallara uygun değildir, bir kısmı tabela kalın karakterler ile yazılmıştır (Şekil 10). Üniversitede mevcut kullanımda olan ürünler arasında kurumsal kurallara ortak uygunluk bulunmamaktadır. Bazı ürünlerin kısmen kurumsal kimliğe uygunluğu mevzu bahiskin birçoğunun uyumsuzluğu, Üniversite'nin tüm kampüslerinde kullanılan uygulamaların yeniden ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, gerçekleştirilen projeler arasından seçilen 4 örnek sunulmaktadır.



Şekil 6. Ana giriş alanı



Şekil 7. Bahçe girişi





Şekil 8. Kampüs bahçesi



Şekil 9. Blok ve fakülte tabelaları



Şekil 10. Oda numara ve isimleri

### 3.2. Projeler

Sınıf çalışmalarından seçilen 4 adet proje bölümlere ayrılarak sunulmaktadır. Bu şekilde sunulan projelerle ilgili dersin sağladığı kazanımların ortaya konulmasına çalışılarak, yönlendirme tasarımının disiplinlerarası özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

#### 3.2.1. Kurumsal Kimlik Tasarımı

Kurumsal kimlik tasarımı markaların, bireyleri ve kurumların görsel algı nezdinde kendilerini ifade etmelerine olanak sağlayan grafik kurallardır. Bu hedefle öğrenciler projelerinde farklı yaklaşımlarla kurumsal kimlik tasarımı uygulamaları gerçekleştirmişlerdir. Aşağıda sunulan 4 proje için seçilen kurumsal kimlik detayları paylaşılmaktadır. Üniversitenin mevcut renklerinden yola çıkarak tercih edilen renk gamına ait değerler ve uygulamaları sunulmaktadır. Öğrenci kurumsal sarı renginin türevleriyle iletişimde katmanlı bir strateji tercih etmiş ve uygulamıştır (Şekil 11). Tipografik hedeflerle her öğrenci farklı ve özgün yazı tipleri seçmiştir (Şekil 12). İkinci projeye ait yazı karakteri okulun algısal tonalitesini ortaya koyarak gerekli yönlendirme elemanlarına uyarlanmıştır (Şekil 13). Projede öğrenci kolay okunabilirliği ön planda tutarak Eras Medium ITS fontunu tercih etmiş ve kat planlarına uyarlamıştır. Yazı tipi olarak Inception ile Phenomena seçilmesi, ürünlerde bulunan farklı tiplerde iletişimin ifade edilme biçimiyle ilgili tercihi ortaya koymaktadır (Şekil 14). Öğrenci projesinde İstanbul Ticaret Üniversitesi ile İstanbul Ticaret Odası'na ait renk gamından ortak bir renk paleti oluşturarak kurumsal kimliğe uyarlamıştır. Öğrenci projesinde Gabriola yazı tipini seçerek kurumsal kimlik tasarımını ve tüm ürünleri bu fonta uygun şekilde geliştirmiştir (Şekil 15). Çalışmanın devamında öğrenciler tarafından yönlendirme elemanlarında kullanılmak üzere tasarlanan özgün piktogram aileleri sunulmaktadır.



Şekil 11. Proje 1, renk kodları ve değerleri



Şekil 12. Proje 1, font seçimi ve kat planı uygulaması



Şekil 13. Proje 2, font seçimi ve kat planı uygulaması



Şekil 14. Proje 3, renk kodları ve font seçimi

GABRIOLA YAZI TİPİ

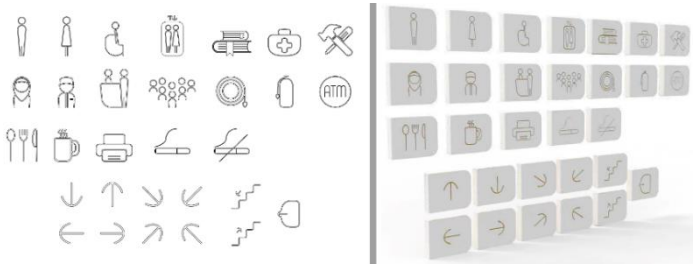
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ  
 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz  
 A BLOK B BLOK C BLOK

Şekil 15. Proje 4, yazı tipi seçimi

### 3.2.2. Piktogram Tasarımları

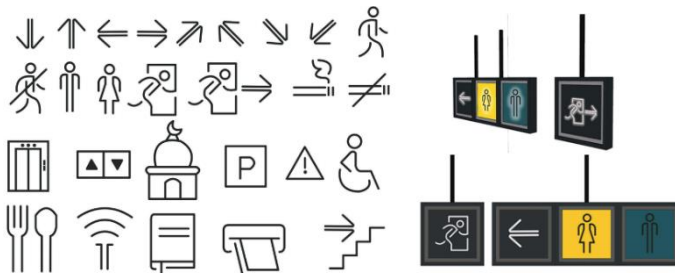
Piktogram tasarımı yönlendirme tasarımının en zorlu parçasıdır, farklı kültürlerden gelen kişilere ortak mesaj verilmesi için mesajın doğru sembolize edilmesi, tasarımın yanı sıra psikoloji ve sosyolojiyle ilgilidir. Görselde proje 1, piktogram tasarımları ve yönlendirme elemanları uygulaması mevcuttur (Şekil 16). Öğrenci tarafından son derece özgün bir yaklaşımla tasarlanan piktogram ailesi ürünlere uyarlanarak yapının içinde konumlandırılmıştır. Kurumsal kimlikle uyum gösteren piktogram tasarımı, geometrik özellikleriyle kurumsal dil bütünlüğünün önemli bir parçasıdır. Proje dahilinde tasarlanan piktogramlar geometrik formlara dayanan çözümler sunmaktadır (Şekil 17). Duvarda bulunan tipografik uygulamalarla uyum gösteren piktogram ailesi, kurumsal kimliğe ait tonun mekansal canlandırmasını oluşturmaktadır. Tutarlı bir piktogram ailesi tasarlanması, yönlendirme elemanlarına uygulanması ve tipografiyle uyumu sonucunda güçlü bir kurumsal kimlik geliştirilmiştir (Şekil 18). Sağladığı yüksek kullanıcı deneyimi açısından değer taşıyan piktogram ailesi, mekansal olarak ilk algılanan ürünlerdir. Geometrik algısıyla yüksek estetik değere sahip olan piktogram ailesi, kurumsal kimlikte belirlenen renklerle uyum sağlamaktadır (Şekil 19). Çalışmanın takip eden bölümünde yönlendirme tasarımını oluşturan uygulamalar 3 boyutlu görselleştirme biçiminde sunulmaktadır.



Şekil 16. Proje 1, piktogram tasarımları ve yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 17. Proje 2, piktogram tasarımları ve yönlendirme uygulaması



Şekil 18. Proje 3, piktogram tasarımları ve yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 19. Proje 4, piktogram tasarımları ve yönlendirme elemanları uygulaması

### 3.2.3. Kavramsal Tasarım ve Uygulama

Bölümde, yönlendirme tasarımı senaryosunun açıklanması amacıyla kurumsal kimlik, ürün ve piktogram tasarımıyla ilgili yapılan uygulamaların temsili görselleri sunulmaktadır. Kurumsala uygun biçimde tasarlanarak arkadan LED ışıkla aydınlatılan kat bilgileri, mekan ergonomisine uygun olmayan aydınlatma seviyelerinde dahi okunabilirlik sağlamaktadır (Şekil 20). Piktogram ve kapı numaraları, kurumsal kimlikte belirlenen renk tonlarında ve ölçülerde üretilerek temsili montajı yapılmıştır (Şekil 21). Giriş alanında yönlendirme elemanı ve kat bilgileri konumlandırılması, güvenlik personel masasında birikmeleri önleyebilir ve kalabalık akışını sağlayabilir (Şekil 22). Ana kapıdan girer girmez dikkat çeken kat bilgisi, giriş alanını düzenleme ve misafirleri yönlendirme işlevini sağlar. Dış mekan uygulamaları araç trafiğini düzenlemenin yanı sıra düzenli park edilmesini sağlayarak, park alanı önünde yığılmaları engelleyebilir (Şekil 23). Doğal elementlerin etkisine dayanıklı paslanmaz malzemeden üretilen eleman, iç aydınlatması ile karanlıkta da farkedilebilmektedir. Görselde kurumsal kimliğe ait farklı yazı tiplerinin oda numara bilgisi ve blok bilgisi vermesi için uygulanmış biçimleri sunulmaktadır (Şekil 24). Farklı renk kodları ve tipografik olarak kişiselleştirilen kurumsal kimlik, dolaşımı ve konum tespitini kolaylaştırarak mevcut duruma göre yönlendirme tasarımına ait kullanıcı deneyimi verimini artırmaktadır. Kurumsal kimliğe uygun tipografik kullanım ve renk paleti uygulamaları, mobil totem kat bilgileri panolarına uygulanmıştır (Şekil 25).

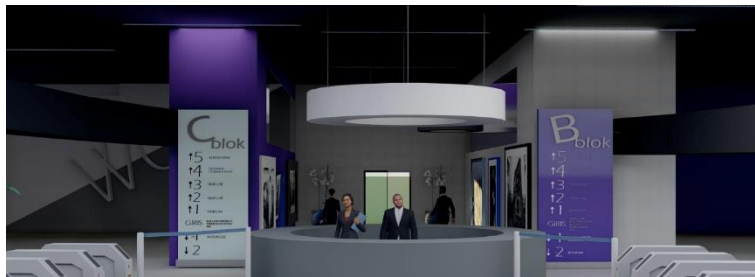
Farklı blokları işaret eden renk kodu temelli panolar, kurumsal kimlik renk paletine göre tasarlanmıştır. Bu durum ziyaretçiler açısından algısal ayrıştırmayı kolaylaştırmaktadır. Farklı yönlendirme elemanları tasarlanan senaryo uyarınca ürünleştirilerek, değişken hizmetler sunmaktadır (Şekil 26). Biçimsel ve görsel olarak ortak yaklaşım ürünü olan elemanlar, yönlendirme senaryosunun kurumsal algıyı etkileyen en önemli parçalarıdır. Tercih edilen kurumsal kimlik renk paletine uygun yönlendirme elemanları tasarlanarak farklı işlev ve noktalarda konumlandırılmıştır (Şekil 27).



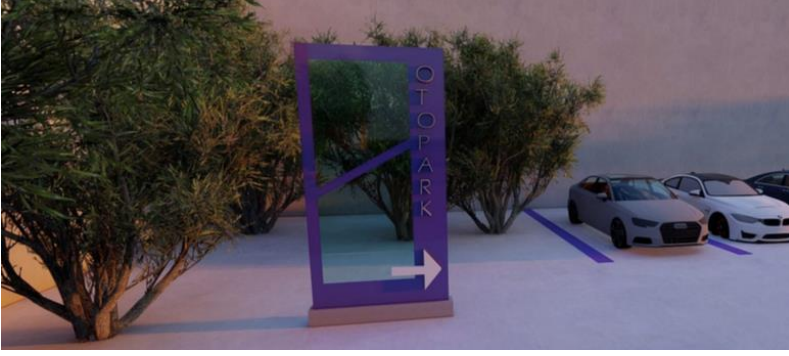
Şekil 20. Proje 1, yönlendirme elemanları tasarımı ve uygulaması



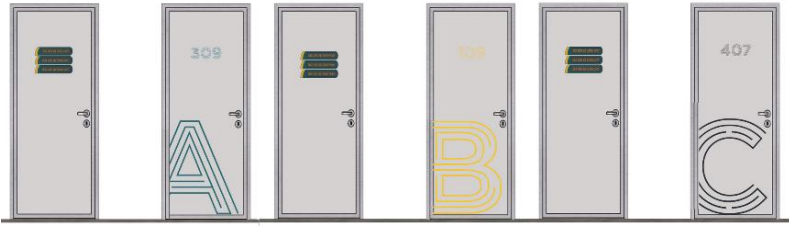
Şekil 21. Proje 1, yönlendirme elemanları tasarımı ve uygulaması



Şekil 22. Proje 2, ana giriş yönlendirme elemanları tasarımı ve uygulaması



Şekil 23. Proje 2, dış mekan yönlendirme elemanı uygulaması



Şekil 24. Proje 3, oda ve blok no yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 25. Proje 3, mobil kat yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 26. Proje 3, kat, piktogram ve asansör yönlendirme elemanları uygulaması

Fakülteleri temsil eden renkli işaretler, ziyaretçilerin kolayca algılayabileceği geniş ürünler olarak üretilmiştir. Kat bilgileri yönlendirmesi tavandan aşağı montajı yapılan akrilik ürünlerdir (Şekil 28). Açıklık aydınlatma ile ışıklandırılan elemanlar karanlıkta algılanabilir ve okunabilir. Yan duvarlara uygulanan oda numaraları uzun mesafelerden algılanan elemanlardır (Şekil 29). Yapısal estetiğe katkı sağlayan ürünler mekansal algıyı artırarak, yüksek kullanıcı deneyimi oluşmasına imkan vermektedir. Çalışma, gelecek bölümde projelerle ilgili değerlendirmelerde bulunarak ürünlere ait belirlenen nitelikleri sunmaktadır.





Şekil 27. Proje 4, fakülte yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 28. Proje 4, fakülte ve oda yönlendirme elemanları uygulaması



Şekil 29. Proje 4, oda numarası yönlendirme elemanları uygulaması

### 3.3. Projelerin Değerlendirilmesi

Hölscher vd. (2006), gelişmiş algı sağlanması amacıyla karmaşık yapılarda belirgin yer objelerinin sağladığı işlevsellikten bahseder. Dolaşım kolaylığı için referans sağlayan belirgin yer objeleri, yönlendirmenin hem doğrusal hem de döngüsel bir süreç olarak deneyimlenmesine imkan verir. Bu nedenle geleneksel biçimde doğrusal olarak ilerlenen rotalar, yönlendirmenin katkısıyla döngüsel yapıyı çağrıştıran gelişigüzel biçimlerde de deneyimlenebilmektedir. Mekansal yönlendirme elemanları, dolaşım ve hareket esnasında farklı hizmetler sunar ve ürünlerin tasarım, üretim ve iletişimsel özellikleri arasındaki değişkenlikler mevcuttur. Sunulan literatür temelli değerlendirme ölçütleri, çeşitli mekansal, ergonomik ve kullanıcı deneyimi niteliklerine göre tasarlanan yönlendirme elemanlarının farklılıklarının ortaya koyulmasını hedeflemektedir. Aynı zamanda ölçütler, çalışmada sunulan yönlendirme elemanlarının incelenmesi için çok yönlü bir değerlendirme aracı niteliğinde kullanılarak literatürle bağlantı oluşturmaktadır. Ürünlere ait tasarım tipolojilerinin değerlendirme tablosu aracılığıyla tanımlanabilmesi, elde edilen bulguların önemini belirlemesi ve çalışmanın sunduğu tasarım odaklı perspektifin daha detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir. Çalışma aynı zaman melez veya tek bir tasarım disiplinine ait uygulamaları tanımlayarak, yönlendirme tasarımının disiplinlerarası doğasına uyum gösteren özelliklerin vurgulanmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda projelerde açıklanan yönlendirme tasarımı senaryosu ve ürünleri, okul ve benzeri kamusal yapılarda yapılabilecek uygulamalar hakkında fikir sağlanması amacıyla yazar tarafından sunulan literatür ekseninde değerlendirilmektedir.

### 3.3.1. Literatür Ölçütlerine Göre Değerlendirme

Çalışmada açıklanan örnek projelerden seçilen ürünler, oluşturulan inceleme ölçüleri tablosuna göre değerlendirilmektedir. Bu işlem sayesinde yönlendirme senaryosunu oluşturan ürünler yapısal mimariyle ilişkilendirilerek, kullanıcı deneyimi ekseninde tasarım, üretim ve iletişim özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir (Tablo 1).

Tablo 1

Literatür değerlendirme kriterleri

Ürün Adı	Üretim Teknolojisi	İletişim Biçimi	Disiplinlerarası Özellikleri	Taşınan Değerler	Ürün Tipolojisi
<b>Kurumsal Kimlik</b>	Baskı/Matbaa	Dolaylı	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Tanımlayıcı
<b>Piktogram Yönlendirme</b>	Dijital Baskı	Direkt	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal, Güvenlik	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Piktogram Lightbox</b>	Akrilik, Led Baskı	Direkt	Grafik Tasarım Ürün Tasarımı	Mimari, Grafik Hizmet, Mekansal, Güvenlik	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Asma Tabela</b>	Metal Strüktür Baskı	Direkt	Grafik Tasarım Ürün Tasarımı	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Duvar Tabela</b>	Dijital Baskı	Direkt	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Kat Planları</b>	Dijital Baskı	Direkt	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Fakülte Tabelası</b>	Dijital Baskı	Direkt	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Blok Tabela</b>	Dijital Baskı	Direkt	Grafik Tasarım	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal	Yönlendirici Tanımlayıcı
<b>Asansör Buton</b>	Metal Strüktür	Endirekt	Grafik Tasarım Ürün Tasarımı	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal, Güvenlik	Yönlendirici Düzenleyici
<b>Yönlendirme Totem</b>	Metal Strüktür/ Baskı	Direkt	Grafik Tasarım Ürün Tasarımı	Mimari, Grafik, Hizmet, Mekansal, Peyzaj	Yönlendirici Düzenleyici

Tablo 1’de listelenen değerlendirme ölçütleri, literatürü oluşturan içerikten derlenerek sunulmaktadır. Çalışmanın sunduğu değerlendirmelere göre öğrenci projeleri senaryolarında yer alan ürünlerin, tipik bir yönlendirme stratejisi ürünleri olduğunun söylenmesi mümkündür. Seçilen ürünler mevcut üretim yöntemleri ve teknolojilere uygun uygulamalardır. Mimari iletişime katkı sağlanması ve dolaşımı kolaylaştırması amacıyla geliştirilen ürünler, disiplinlerarası tasarım yaklaşımlarının sonuçlarıdır. Bu bağlamda çalışmanın sunduğu bölümler, literatür tablosu bulgularıyla ilişki içinde değerlendirilmektedir.

### 3.3.2 Kurumsal Kimlik Tasarımlarının Değerlendirilmesi

Proje süresince yapılmış olan kurumsal kimlik çalışmaları her öğrenci veya grubun kendi tercihi doğrultusunda yapmış olduğu seçimlere dayanmaktadır. Ana temayla ilgili değişken yaklaşımları yansıtan kurumsal kimlik tasarımları temel tasarım prensiplerine uygun şekilde tüm ürün gamına uyarlanmıştır. Her öğrencinin tespit ettiği farklı sorunların giderilmesi için bireysel şekilde ele aldığı yönlendirme senaryosu, özgün ve bütünlük ürünlerin ortaya konulmasına imkan vermiştir. Çalışmanın araştırmaya dahil edilen kurumsal kimlikleri birarada sunmasının temel sebebi, tasarımcılara ait yaklaşımsal farklılıkların ortaya konulması amacıdır.



### 3.3.3. Piktogram Tasarımlarının Değerlendirilmesi

Yönlendirme tasarımında en zor görevlerin başında piktogram tasarımı gelmektedir. İletilen bir mesajın metin kullanımı olmadan sunulabilmesi için en etkin şekilde sembolize edilmesi, tasarımın bilişsel gücünü göstermektedir. Öğrencilerin tasarladıkları piktogram aileleri ve ürünlere uygulanmış tipolojileri, genel ürün dili, iletişim ve okunabilirlik konularının ele alınma biçimlerini ortaya koymaktadır. Farklı yaklaşımlarla değişken duygular yansıtan piktogramlar, mekansal kullanıcı deneyiminin altyapısını oluşturmaktadır. Üniversite özelinde mekanları ve odaları birbirine bağlayarak ortak dil oluşmasına imkan veren piktogramlar, üniversitenin bütünleşik kurumsal algısı açısından yüksek önem taşımaktadır. Bu süreçte yazar tarafından gözlemlenen önemli bir konu ise, öğrencilerin okullarında yaşadıkları deneyimin sağladığı duygu ile bireysel tercihlerini ilişkilendirmeye ilgili kazanımlardır.

### 3.3.4. Ürün ve Uygulamaların Değerlendirilmesi

Farklı teknolojilere dayanan ürün uygulamaları, grafik, endüstriyel ve dijital tasarım ürünlerinin bütünleşik olarak tasarlanmasına imkan vermiştir. Yönlendirme senaryosunun parçası olan farklı tipolojilerdeki ürünler, süreklilik sağlayan bir iletişim oluşturmaktadır. İç ve dış mekan ürünlerinin malzeme ve üretim teknolojileri odağında çözümlenmelerinin yapılmış olması, öğrencilerin melez tasarımcı kimliğine erişmeleri konusunda kazanımlar sağlamaktadır. Erişilebilirlik, kullanılabilirlik, ergonomi ve iletişim konularında bütünleşik ürünler tasarlayan öğrenciler, tüm elemanlarıyla özgün çözümler sunan yönlendirme senaryoları oluşturmuşlardır.

### 3.4. Değerlendirmenin Sonuçları

Üniversite nezdinde ilk defa benzer bir çalışma yapılmış olması, gerek dersin, gerekse araştırmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Çalışmada açıklandığı üzere, yönlendirme tasarımının disiplinlerarası doğası dersin temasına yansıtılarak, proje sürecinde öğrenciler, mimari, endüstriyel ve grafik tasarım odaklı disiplinlerarası çözümler getirmişlerdir. Ders ve proje sürecinin işleme biçimiyle ilgili geliştirilen yönlendirme tasarımı senaryolarında, dersin iç mimarlık bölümüne ait olması sebebiyle ürünlerde dijital arayüz tasarımı talep edilmemiştir. Bu bağlamda ortaya konulan projelerle ilgili bulgular paylaşılmaktadır.

- 1) Grafik arayüz tasarımları, kurumsal kimliğe uygun geliştirilmiştir.
- 2) Kurumsal kimlik tasarımı ve piktogram tasarımları grafik uygulamalardır.
- 3) Mekansal kullanım ürünleri grafik tasarım ve endüstriyel tasarım disiplinlerini birleştirmektedir.
- 4) Projelerde mimari mekanlara uygulanan grafik ve endüstriyel ürün tasarımları mevcuttur.
- 5) Tüm ürünler okulun kurumsal algısına destek vermektedir.

Tasarım disiplinlerine uygun yaratıcı üretim biçimlerinin süreklilik ve tutarlılık sağlanması amacıyla, ortak hedefe hizmet etmesi ve ortaya konulan tasarımların bütünsellik duygusunda algılanması gerekmektedir. Bu şekilde yönlendirme tasarımı senaryosunun hedeflenen kullanıcı deneyimi seviye-sine erişmesi mümkündür. Bulguların değerlendirilmesi sonucunda yönlendirme tasarımının disiplinlerarası bir yöntem olduğunun ifade edilmesi mümkündür.

### 4. Sonuçlar

Verimsel olarak hedeflenen yönlendirme tasarımı, bireysel bilişsel haritaları oluşturma, gerçekleştirme ve yürütme becerisinin yüksek düzeyde kullanıcı deneyimi değerine ulaşmasıdır. Kullanıcı deneyiminin başarısı ise yönlendirme tasarımının verimi sonucunda oluşan bireysel tatmin ve performansla ilişkilidir. Temel olarak insanın sahip olduğu coğrafi bilgi, zihinsel harita oluşturma becerisi ve yönelim duygusu, tasarım süreçlerinin mekan bilgisi ve bireysel bilişsel becerilere bağlı olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Tüm ürünler, daha geniş bir algı ve derin bir kullanıcı deneyimi değerine katkıda bulunarak tutarlılık içinde aynı stratejik senaryo yaklaşımının bir parçasıdır. Kat planları gibi belirgin yer objelerinin kalabalığı ve birikmeyi önleme özellikleri, ziyaretçilerin süratli bir şekilde aradıkları konuma yönelmelerine imkan vermekte, güvenlikle ilgili sorunlara çözüm sunmaktadır. Çalışmanın sunduğu özgün içeriğin en kayda değer niteliklerinin başında üniversitelerde

öğrencilerin mekansal deneyimlerini referans olarak yönlendirme tasarımı odağında tasarladıkları kullanıcı deneyimi çözümlerinin sunulmasıdır. Projelerde sunulan fikirler melez ürünlerin tanımlanmasına olanak veren ve yönlendirme tasarımının disiplinlerarası doğasını vurgulayan niteliktedir. Üretim detayları, malzeme ve iletişim biçimleri arasında bir bağlantı belirlenmesi mümkündür. Dayanıklılığı ve uygulama kolaylığı yüksek ürünler aynı zamanda bakım kolaylığı sağlayabilmektedir. Ürünlerde bulunan iletişim biçimi, öncelikle düzenleyici ve bilgilendirici içeriğin yanı sıra estetik ve tasarım odaklı tercihlere dayanmaktadır. Yönlendirme ürünlerinin tasarım yönelimi büyük ölçüde içeriğe, teknolojik çözümlere ve algısal yaklaşıma bağlıdır. Bazı ürünler yönlendirici ve düzenleyici iletişim yaklaşımlarının entegre özelliklerini taşıırken, diğerleri bilgilendirici ve tanımlayıcı özellikleri desteklemektedir. Proje süreci ve sonucunun en önemli başarısı, bireysel araştırma ve tercihlerle farklı ziyaretçi kimliklerine uygun senaryoların tasarlanmış olmasıdır. Sunulan değerlendirmeler sonucunda, yapının kavşak ve önemli noktalarda çeşitli işlev ve tipolojilerdeki ürünlerin, özgün yönlendirme senaryoları oluşturduğu söylenebilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda yönlendirme tasarımı veriminin ölçümüne yönelik göz izleme teknolojilerinin okullarda kullanımı üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

### **Teşekkür**

Çalışma İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı bölümünde yürütülen ders çıktılarından oluşmaktadır, bu bağlamda ders içeriğinin akademik olarak incelenmesine destek veren bölüm başkanına teşekkür ederim. Ayrıca danışmanlık görevi sürdürdüğüm Başak Atalay Tasarım Stüdyosu'na teşekkür ederim.

### **Yazar Katkıları**

Mehmet Sinan YUM: Çalışma için gereken veri, içerik, planlama, tasarım ve analizi yapmış, makaleyi yazmıştır.

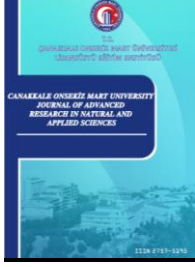
### **Çıkar Çatışması**

Çıkar çatışması bildirilmemiştir.

### **Kaynaklar**

- Arthur, P. ve Passini, R. (1992). *Wayfinding: People, signs, and architecture*. New York: McGraw-Hill Book Co. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wayfinding%3A-People%2C-Signs%2C-and-Architecture-Arthur-Passini/2dc6b931af642d8397df57b7141f0fa49794c04b>
- Calori, C. ve Vanden-Eynden, D. (2015). *Signage and wayfinding design: A complete guide to creating environmental graphic design systems*. Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Signage+and+Wayfinding+Design%3A+A+Complete+Guide+to+Creating+Environmental+Graphic+Design+Systems%2C+2nd+Edition-p-9781119085829>
- Garling, T., Lindberg, E. ve Mantyla, T. (1983). Orientation in buildings: Effects of familiarity, visual access, and orientation aids. *Journal of Applied Psychology*, 68(1), 177-186. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6826491/>
- Gibson, D. (2009). *The Wayfinding Handbook: Information Design for Public Places*, Princeton Architectural Press, New York, 14-15. <https://ratnacahayarina.files.wordpress.com/2014/02/david-gibson-the-wayfinding-handbook.pdf>
- Hölscher, C., Meilinger, T., Vrachliotis, G., Brösamle, M. ve Knauff, M. (2006). Up the down staircase: Wayfinding strategies in multi-level buildings. *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), 284-299. <https://psycnet.apa.org/record/2007-03347-005>
- Hölscher, C., Büchner, S. J., Brösamle, M., Meilinger, T. ve Strube, G. (2007). *Signs and maps– cognitive economy in the use of external aids for in door navigation*. In *Proceedings of the 29th annual cognitive*

- science society, Austin, TX: Cognitive Science Society, 377-382. <https://escholarship.org/uc/item/1z3190s6>
- Klippel, A. (2004). *Wayfinding choremes : conceptualizing wayfinding and route direction elements*. SFB/TR 8 Monographs; Bd. ISBN 3-88722-590-2. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wayfinding-choremes-conceptualizing-wayfinding-and-Klippel/70f044c2e55baf6e159f8bd8d32e9846aa0a66a8>
- Lankow, J., Ritchie, J. ve Crooks, R. (2012). *Infographics: The Power of Visual Storytelling*, New York: John Wiley ve Sons Inc. <https://www.worldcat.org/title/infographics-the-power-of-visual-storytelling/oclc/809634424>
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1. <https://mitpress.mit.edu/books/image-city>
- Montello, D. R. ve Sas, C. (2006). *Human factors of wayfinding in navigation*. In W. Karwowski (Ed.) International encyclopedia of ergonomics and human factors, 2nd ed. London: CRC Press: Taylor and Francis, Ltd., 2003-2008. <https://www.semanticscholar.org/paper/Human-Factors-of-Wayfinding-in-Navigation-Montello-Sas/18c2bb24ec94975aae406219d0bffb2f1662719>
- Passini, R. (1984). *Wayfinding in Architecture*, New York: John Wiley ve Sons Inc. <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/U=&P=http/Show?4965>
- Piaget, J. ve Inhelder, B. (1967). *The Child's Conception of Space*. Norton, New York. <https://eric.ed.gov/?id=ED034694>
- Uebele, A. (2007). *Signage Systems, Information Graphics*, London: Thames & Hudson Ltd. <https://www.worldcat.org/title/signage-systems-information-graphics-a-professional-sourcebook/oclc/804395129>
- Viaene, P., Ooms, K., Vansteenkiste, P., Lenoir, M. ve De Maeyer, P. (2014). *The Use of Eye Tracking in Search of Indoor Landmarks*. Ghent University, Department of Movement and Sport Sciences Watersportlaan 2, 9000 Ghent, Belgium, 55-56. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Use-of-Eye-Tracking-in-Search-of-Indoor-Viaene-Ooms/31f826652174fe7481914db491edef43ed9d9e5f>



## Formula Student Yarış Aracı Şasi Tasarımı ve Analizi

Yiğit Alp Oymak<sup>1</sup>, Erol Feyzullahoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 28.09.2020

Kabul: 18.04.2021

Yayın: 30.06.2021

### Araştırma Makalesi

**Öz** – SAE (The Society of Automotive Engineers) tarafından düzenlenen resmi bir proje yarışması olan Formula Student, dünya çapında birçok üniversite öğrencilerinin kendi bilgi birikimlerini kullanarak belirlenen kurallara uygun bir şekilde Formula tipi bir yarış arabası tasarlamasını amaçlayarak, öğrencilerin otomotiv sahasındaki bilgilerini geliştirmelerine imkan tanımaktadır. Bu çalışmada SolidWorks 2018 programı ile Formula Student yarış aracının şasi sistemi tasarım kriterleri dikkate alınarak yeniden tasarlanmıştır. ANSYS 16.0 ve SolidWorks Simulation programları kullanarak şasi sisteminin mekanik zorlanmalara karşı olan dayanımlarını belirlemek için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Şasi tasarımı yapıldıktan sonra şasinin ön darbe analizi, arka darbe analizi, yan darbe analizi, ön torsiyonel rijitlik analizi ve arka torsiyonel rijitlik analizi yapılmıştır. Bu çalışmada Formula Student yarış aracında kullanılmak için tasarlanan şasinin, gerçekleştirilen analizler doğrultusunda, hedeflenen tasarım kriterleri ve rijitlik derecesine fazlasıyla sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde yarışma kuralları doğrultusunda, hedeflenen tasarım kriterleri daraltılarak daha hafif ve rijit tasarımlar elde edilmiştir. Bu çalışmada yeniden tasarlanan araç şasisi muadillerine göre bir nebze (%30) ağır olsa da, rijitlik ve ergonomik olması bakımından oldukça üstündür.

**Anahtar Kelimeler** – Analiz, formula student, yarış aracı, rijitlik, şasi, tasarım

## Formula Student Race Car Chassis Design and Analysis

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

### Article History

Received: 28.09.2020


Accepted: 18.04.2021


Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – Formula Student, an official project competition organized by the SAE (Association of Automotive Engineers), allows university Students around the world to develop their knowledge in the automotive field by aiming to design a Formula-type race car using their own knowledge. In this study, the chassis system of Formula Student race car was redesigned with SolidWorks 2018 program, taking into account the design criteria. The optimization studies were carried out to determine the strength of the chassis system against to mechanical stress using ANSYS 16.0 and SolidWorks Simulation programs. After the chassis design, front impact analysis, rear impact analysis, side impact analysis, front torsional stiffness analysis and rear torsional stiffness analysis were performed. In this study, it was determined that the chassis designed to be used in Formula Student race car has more than enough design criteria and rigidity as a result of the analysis. As a result of the analysis, lighter and more rigid designs were obtained by narrowing the target design criteria, taking into account the competition rules. Although the redesigned vehicle chassis in this study is 30% heavy compared to its equivalents, it is quite superior in terms of rigidity and ergonomics.

**Keywords** – Analysis, chassis, design, formula student race car, rigidity

<sup>1</sup>  yigitalpoymak@gmail.com

<sup>2</sup>  feyzullahoglu@yahoo.com

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Formula Student yarışması, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Michigan eyaletinde Otomotiv Mühendisleri Birliği (Society of Automotive Engineers) tarafından düzenlenen bir yarışmadır. 1990 yılından itibaren Avrupa'da da düzenlenmeye başlamış olup, hali hazırda 14 farklı ülkede (ABD, Almanya, İngiltere, İtalya, Avusturya, İspanya, Macaristan, Çek Cumhuriyeti, Rusya, Çin, Japonya, Avustralya, Brezilya, Hindistan) düzenlenmektedir. Yarışmanın genel amacı ise otomotiv endüstrisine yenilikçi, tecrübeli ve takım çalışmasına uygun hareket edebilen mühendis yetiştirmektir.

Formula Student yarış aracı şasi tasarımında odaklanılan en önemli nokta kurallara uymanın yanında araç şasilerinin en temel sıkıntısı olan genişliğin dikkate alınmasıdır. Formula Student yarış aracı için tasarlanan şasi oldukça kompaktır. Fakat bu kompaktlık sonucunda bir takım ergonomi temelli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle motor kısmında veya burnun en ucunda bulunan pedal kısmı ile ilgili bir değişim veya düzenleme yapmak oldukça zordur. Formula Student yarış aracı şasi tasarımında odaklanılan en temel nokta sürücünün kokpite oturduğunda kendine ferah bir alan bulması ve aynı zamanda kendini güvende hissetmesidir (Aird, 1998).

Formula Student yarış aracının bitmiş haliyle ağırlığı toplamda sürücü ile beraber 400 kg civarındadır. Bu değer Formula Student aracı için istenilen değer biraz üzerindedir. Yeni tasarlanan araçta şasi ve fren sistemi dahil olmak üzere aracın tüm bileşenlerinde çok önemli bir miktarda ağırlığın azaltılması hedeflenmektedir.

Sürücünün araçtaki sürüş pozisyonu ergonomi açısından çok önemlidir. Araçta dar yerleşimden dolayı sürücüler direksiyon hakimiyeti konusunda ciddi sorunlar yaşamaktadırlar. Yarışmanın zorlu şartlarında sürücünün rahat olabilmesi önemlidir.

Şasi tasarımında en önemli husus, yarışma koşullarında belirtildiği üzere "tüm sürücülerin aracı terk etme süresi 5 saniyeden fazla olamaz" kuralı gereğince genişlik konusunda üst sınır teşkil etmektedir (SAE, 2020). Tüm bu genişlik odaklı tasarımın yanında şasi sisteminin zorlu koşullarda gerekli dayanımı göstermesi en temel gayedir.

Şasi tasarımını kısıtlayan bir diğer bir unsur ise üretim safhasıdır. Her ne kadar temel hedef rijitlik olsa da, üretim açısından bu istek kısmen ikinci plana alınmıştır. Eldeki malzemelerin kurallara uygun olması, yüksek mukavemeti ve ataleti sağlaması önemli iken diğer yandan kaynak edilebilirliği, bükme ve kesme gibi işlemlere de elverişli olması ve gerekli esnekliği göstermesi önemlidir (Adams, 1993).

Günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanım amacına göre tasarlanan farklı şasi tipleri bulunmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte gelişen imalat teknikleri, geçmişte üretimi zor olan ürünleri artık üretilebilir kılmaktadır. Gelişen imalat teknolojileri sayesinde araç şasileri geçmişten günümüze daha güvenilir, daha hafif, dayanımı ve rijitliği yüksek bir hal almaktadır (Milliken ve Milliken, 1995).

Günümüzde çok farklı tiplerde şasi tasarımları mevcuttur. Merdiven tipi şasiler, tasarımı ve üretimi kolay olup maliyeti düşük en eski tip şasilerdir. Bu tip şasiler bütün yükleri taşıyabilirler. Eğilme momentine karşı dirençli ve rijittirler fakat torsiyonel momente karşı aynı rijitliği gösteremezler. Günümüzde halen pickup tipi araçlarda merdiven tipi şasiler kullanılmaktadır (Szcześniak vd., 2014).

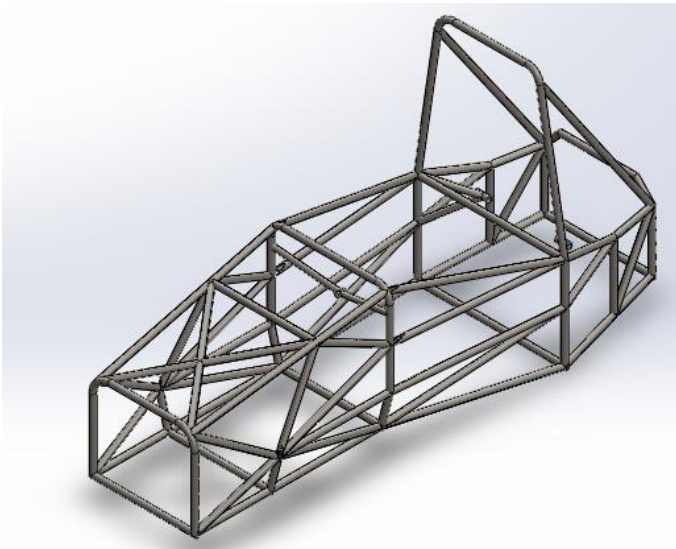
Yekpare tip şasi tasarımında kutu kesit, bölmeler ve tüpler kullanılarak araçların daha dayanıklı olması sağlanır. Yekpare tip tasarımda araç gövdesi önemli ölçüde hafifleterek daha geniş ve daha kompakt bir tasarım sağlanır. Bunların yanında yekpare tip şasi daha güvenlidir. Fakat bu tasarımda bütünlüğü sağlamak için sac parçalar kullanılmakta ve bunların bir araya getirilmesinde genellikle punta kaynağı yönteminin kullanılması bu tip şasilerde yapılabilecek bütünlük tasarımını sınırlamaktadır (EAA, 2020). Ancak bu durumda sınırlı sayıda da olsa lazer kaynak yöntemi uygulanarak ya da tasarıma eklenecek tüpler, kapalı kesitler vb. mukavemeti artırıcı elemanlar eklenerek bütünlük sağlanabilmektedir.

Monokok tip şasi tasarımı, dış gövdeyi gelen etkilere karşı desteklemek için yapılan bir tasarım yöntemidir. Şasinin bütün olması, bütün mekanik elamanların bağlı olduğu ana yapı elamanı gibi görev yapmasını sağlar. Bunun yanında yarı monokok tasarımlar da bulunmaktadır. Monokok tip şasi tasarımı, hafif ağırlıklı ve sac panellerden yapılan ayrı konsept şasi tasarımı olarak da açıklanabilir (EAA, 2020). Monokok yapı, aracın bütün hatlarının üzerinde bulunduğu tek parça bir gövdedir. Tek parça gövdeler genellikle kaynak veya birçok sacın birbirine preslenmesi ile üretilirler. Monokok gövde yapısı, yapı üzerinde konumlandırılmış çukur şeklindeki bölümler sayesinde iyi bir kaza koruması sağlar. Bu tasarım seri olarak üretilen araçlar için idealdir.



Monokok şasinin rijitlik-ağırlık oranı oldukça düşüktür. Kullanılan paneller, tüpler ve kapalı kesitler kadar mukavemetli değildir. Sonuç olarak son dönemdeki modern araç gövdeleri gerçek monokok tasarımlar olmamakta; bunun yerine birleşik yapıda olan yekpare tip şasiyi kullanmaktadırlar (EAA, 2020).

Uzay kafes tipi şasi tasarımında kafes şasiler onlarca tüpün veya boruların bir araya getirilmesi ile herhangi bir yerden gelen kuvvetlere karşı mekanik dayanıklılığı arttırmak için farklı yönlerde konumlandırılarak tasarlanırlar. Sonuç olarak oldukça kompleks kaynaklanmış bir yapı ortaya çıkmaktadır (Riley ve George, 2002). 60'lı yılların ortasında, birçok güçlü spor araçlar rijitlik/ağırlık oranını geliştirmek için bu tasarımı benimsemişlerdir. Ancak bunlardan birçoğu, ekonomik sebeplerden dolayı uzay kafesleri sadece monokok kabinin ön ve arka kısmında kullanmışlardır (EAA, 2020). Formula Student yarış araçlarında en yaygın olarak bu tip şasi tasarımları kullanılmakta olup, tasarım kolaylığı, malzeme temini konusundaki rahatlık ve üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedirler. Şekil 1'de Formula Student yarış aracının uzay kafes tipi şasi konsept tasarımı görülmektedir.



Şekil 1. Formula Student yarış aracının uzay kafes tipi şasi konsept tasarımı

Bu çalışmada SAE (The Society of Automotive Engineers) tarafından düzenlenen yarışmada sunulmak üzere Formula Student yarış aracı şasi tasarımının SolidWorks 2018 programı ile yarışmada belirlenen kurallara uygun olarak yapılması ve ANSYS 16.0 ve SolidWorks Simulation programları kullanarak şasi sisteminin mekanik zorlanmalara karşı olan dayanımları için optimizasyon çalışmalarının yapılması hedeflenmiştir.

## 2. Şasi Tasarımı ve Analizi

Formula Student yarış aracının şasisi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır (SAE, 2020);

- Kafes Elemanı*: Tek parça olup kesilmemiş boru kullanılarak şekillendirilir.
- Main Hoop (Ana takla barı)*: Sürücünün yanında veya arkasında bulunan yapıyı ifade etmektedir.
- Front Hoop (Ön takla barı)*: Direksiyonun bağlandığı, bacakların üzerini saran ve koruyan yapıyı ifade etmektedir.
- Roll Hoop (Takla barı)*: Ön ve arka takla barı genel olarak bu isimle adlandırılır.
- Roll Hoop Bracing Supports (Takla barı destek braketleri)*: Takla barı desteklerinin en alt kısmını takla barlarına bağlayan parçaları tanımlamaktadır.
- Front Bulkhead (Ön burun)*: Sürücünün ayaklarını koruyan şasinin en ön kısmını tanımlamaktadır.
- Impact Attenuator (Darbe sönümleyici)*: Ön burnun dış kısmına koyulan, olası darbeleri sönümleyen parçadır.
- Primary Structure (Ana yapı)*: Yarış aracının ana gövdesini ifade etmektedir.

## 2.1. Şasi Tasarımının Temel Kuralları ve Malzeme Seçimi

Şasinin ana elemanlarının tasarımında, üçgenel bir alan oluşturacak şekilde konumlandırılmanın yapılması ve kaynak düğüm noktalarının boşta kalmamasının sağlanması istenmektedir (SAE, 2020). Şasinin her bir bölgesi için farklı minimum boru çapları, boru kesit alanı, kesit ataleti ve şaside kullanılacak malzemenin sahip olması gereken kurallar SAE tarafından belirlenmiştir (SAE, 2020).

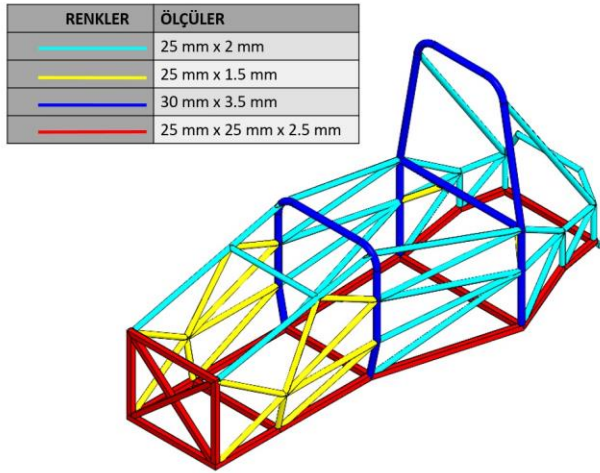
Yarış aracı şasisinde kullanılacak olan boruların sahip olması gereken minimum mekanik özellikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1

Formula Student yarış aracı şasisinde kullanılacak olan boruların mekanik özellikleri

Borular	Özellik
Young Modülü (E)	200 GPa
Akma Sınırı ( $\sigma_{Ak}$ )	305 MPa
Kopma Sınırı ( $\sigma_k$ )	365 MPa

Şekil 2’de bu çalışmada tasarlanmakta olan Formula Student yarış aracı şasisinde kullanılan boruların boyutları görülmektedir. Buradan da görülebileceği gibi şasi tasarımında farklı çaplara ve et kalınlıklarına sahip borular kullanılmıştır.



Şekil 2. Formula Student yarış aracı şasisinde kullanılan boruların çapları ve et kalınlıkları

Şasi imalatında kullanılan çelik, diğer alternatif malzemelere göre daha ağır olmasına rağmen olan Formula Student araçlarının tasarımında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri, kolay temin edilmesi, düşük maliyeti ve üretim kolaylığıdır. Şasi imalatında SAE4130 ve yumuşak çelik tercih edilmektedir. SAE4130 tercih edilmesinin sebebi mukavemetinin oldukça yüksek olmasıdır. Fakat fiyatı diğer çeliklere kıyasla daha yüksek olup ve üretim sürecinde kaynak edilebilmesi ve bükülmesi vb. işlemleri zordur. Bunun yanında yumuşak çeliklerin tam tersi özelliklere sahiptir. Yani üretimi kolay, ucuz, tamir edilebilmesi kolay fakat mukavemet değerleri nispeten düşüktür (Waterman, 2011). Sonuç olarak çelik her ne kadar klasik bir malzeme olsa da çok fazla farklı tiplerinin olması, düşük maliyeti, işlenmesinin kolay olması, çok zorlayıcı bir üretim sürecinin olmaması, esnek tasarım olanağı sunması ve güvenilir olması çeliği kullanımda en üst sıraya koymaktadır. Bu yüzden Formula Student yarış aracının şasi tasarımında çelik kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2

Formula Student yarış aracı şasi tasarımında kullanılacak olan çelik malzemelerin mekanik özellikleri (Kale, 2016)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Akma mukavemeti (Mpa)	Çekme mukavemeti (Mpa)	Elastiklik modülü (Gpa)
SAE 1040 (soğuk çekilmiş)	7.8	530	630	210
SAE 4130 (temperlenmiş)	7.8	979	1040	210
1.4307 (Paslanmaz çelik)	7.9	310	620	200

## 2.2. Şasi Tasarımı

Şasi tasarımında öncelikle süspansiyon bağlantı noktalarının konumu, aracın aks aralığı ve aks açıklığı verileri dikkate alınmıştır. İlk olarak şasinin ana takla barı ve ön takla barı tasarlanacak ve takla barlarının tasarımının ardından aralarındaki uzaklıklar belirlenecektir. Bu çalışmalarda yarışma kuralları dikkate alınmaktadır. Şasi tasarımında kurallara uygunluğunun yanı sıra, ana şasinin kendisine herhangi bir yönden gelen kuvvetleri olabildiğince sönmemesi beklenmektedir. Dışardan gelen darbe kuvvetlerinin sonucu oluşacak gerilmelerin şasinin belli bir bölgesinde birikmesi yerine, bütün gövde üzerinde homojen yayılım göstermesi beklenmektedir. Dış kuvvetler genellikle yoldan tekerlere, süspansiyona ve şasiye gelmektedir. Spor araçlarda ve yarış araçlarında şasinin olabildiğince rijit olması istenmektedir.

Şasi için ölçülebilir rijitlik düzeyi, torsiyonel rijitliktir. Araç viraja girdiğinde virajın dış kısmındaki süspansiyon yükü yatay eksen boyunca süspansiyon kollarına ve dikey olarak itme çubuklarına aktarılmaktadır (Alexander, 2008). Şasi tasarımı yapılırken alt tabanda ve aracın ön burnunda kare profil, geriye kalan yerlerde ise dairesel profil kullanılmıştır. Alt tabanda kare profil tercih edilmesinin sebebi, düzlemsel yüzeylere sahip olması ve takla barlarının kaynak noktalarına konumlandırma hatasını minimize etmesidir. Ön burun tasarımında kare profil kullanılarak atalet momentinde ve mukavemette artış sağlanmıştır. Kare kesitli boruların atalet momenti, dairesel kesitli borulardan 1.7 kat daha yüksektir. Kare kesitli profiller testere ile kolayca kesilebilmekte ve kolay kaynak işçiliği nedeniyle tercih edilmektedir. Böylece elde edilen atalet momenti sayesinde, özellikle aracın ön kısmında meydana gelecek gerilmelere karşı önemli ölçüde emniyet sağlanacaktır.

Sithananun vd. (2011), Chulalongkorn Üniversitesinde yarışma için geliştirilen Formula Student yarış aracının şasi tasarımını ve imalatını yapmışlardır. Catia yazılımı ile yapılan şasi tasarımları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizlere tabi tutulmuştur. Şasinin torsiyonel rijitliği ve ağırlığı başlangıçta belirlenen hedefler doğrultusunda elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak şasi imalatı gerçekleştirilmiştir.

Milojević vd. (2015), Kragujevac Üniversitesi'nde geliştirilen Formula Student yarış aracının şasi tasarımı ve analizlerini yapmışlardır. Şasi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yükün yapısal analizinin yapıldığı "CATIA" yazılımında tasarlanmıştır. Yapılan analizler ile şasinin optimum tasarımı hedeflenmiştir. Şasinin ağırlığı 35kg'a kadar düşürülmüş ve torsiyonel rijitliği ise 1500Nm/° değerinin üzerine çıkarılmıştır.

Sirsikar vd. (2020), son yıllarda yarış aracı şasisindeki gelişmeleri incelemişlerdir. Farklı tasarım ve analiz prosedürleri değerlendirilmiştir. Şasi rijitliğinin araç sürüşünü önemli derecede etkilediği ve şasinin rijitliğinin artırılması için tasarımların geliştirilmesinin ve süspansiyon noktalarının tasarımlarının önemli olduğu ifade edilmiştir.

Allen (2009), Formula SAE yarış aracının şasi ve süspansiyon sisteminin tasarım optimizasyonu üzerinde her bir parçanın tasarım doğrulamasını yaparak analizleri, rijitlikleri, mukavemetleri ve ağırlıkları üzerinde çalışmıştır. Tasarım optimizasyonu sonrası aracın üretimi gerçekleştirilerek test düzeneği üzerinde torsiyonel testler yapılmıştır.

## 2.3. Şasi Analizleri

Tasarım aşamaları tamamlandıktan sonra şasinin statik analizleri yapılır. Şasi analizlerinde dikkate alınan esas konu torsiyonel rijitliktir. Torsiyonel rijitlik, şasinin gelen momentlere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır (Bhande vd., 2018). Formula Student yarış aracının en önemli özelliği torsiyonel rijitliğe sahip olmasıdır. Bu sayede yarış aracı virajlarda enine eksen boyunca burulmaya karşı direnç gösterir. Eğer şasi yeterince rijit değilse süspansiyon görevini tam olarak yerine getiremeyecektir. Bu da aracın performansına ciddi derecede etki etmektedir. Yarış aracının şasinin diğer şasiler ile kıyaslanması, rijitliğinin ağırlığına oranlanması ile yapılmaktadır. Fakat bu durumda birtakım sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Örneğin bir şasi çok rijit ve çok ağır ise bahsedilen oran çok küçük olacaktır. Fakat gerçekte araç çok ağır olacağı için aracın performansında düşüş olacaktır. Bu yüzden rijitliğin fazla olmasından ziyade, ağırlık-rijitlik dengesinin sağlanması daha önemlidir (Krzikalla vd., 2019).

Şasi analizleri yapılırken öncelikle şasi gövdesinde ağ oluşturma (meshleme) işlemi yapılır. Ağ oluşturma işlemi, şasi gövdesini küçük parçalara bölerek ve bölünen her bir parçanın analizini tek tek yaparak bir araya getirme işlemi olarak ifade edilebilir. Meshleme işleminin ardından kuvvetlerin uygulanması ve şasinin uygun yerlerden sabitlenmesi gerekmektedir. Şasi analizinde sabitlenme noktaları süspansiyon bağlantı noktalarıdır.

Kuvvet noktaları ise torsiyonel rijitliği ölçmek için yapılan analizlerde yine süspansiyon bağlantı noktalarıdır. Bütün bu işlemlerin ardından analiz uygulanmıştır.

**Patil ve Chikkali (2020)**, Formula Student yarış aracının şasisinin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizlerini yapmışlardır. Sonlu elemanlar analizi şasi imalatından önce yapılarak tasarımın güvenliği değerlendirilmiştir. Yarış aracının şasisi için tercih edilen malzeme yüksek mukavemete ve düşük ağırlığa sahip olan AISI4130 krom ve Molibden alaşımlı çeliktir. Mümkün olan maksimum dayanıklılığı ve minimum ağırlığı elde etmek için standart sonuçlar üzerinde Ansys yazılımı kullanılarak analiz yapılmıştır.

**Das (2013)**, çelik boru şasi yapısına sahip bir Formula Student yarış aracının tasarımını SolidWorks programı kullanarak yapmıştır. Ön ve arka süspansiyonu rijit olarak bağlayacak olan boru şeklinde uzay kafes sistemine sahip bir şasi geliştirilmiştir. Üretim maliyeti, hasarların kolayca tamir edilebilmesi ve basitliği nedeniyle uzay kafes sistemi tercih edilmiştir.

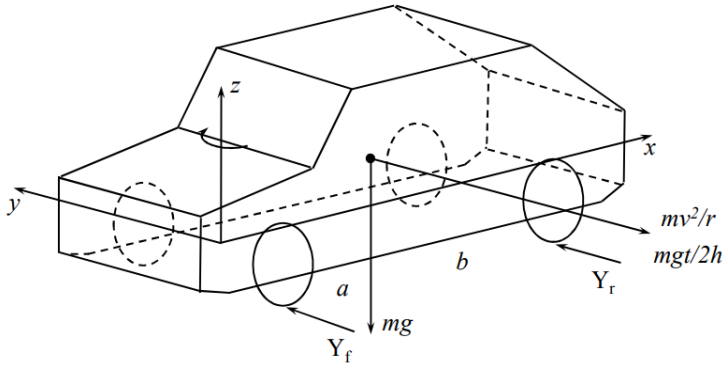
**Marzuki vd. (2015)**, çalışmalarında uzay kafes şasi yapısına sahip bir yarış aracının ANSYS ile analizleri yapılarak şasi yapısının doğal frekanslarını tasarım aşamasında dikkate almışlardır. Yapılan analizlerde şasi yapısından gelen doğal frekanslar belirlenerek şasi yapısının dinamik koşullar altındaki davranışları incelenmiştir.

### 2.3.1. Şasinin Maruz Kaldığı Yükleme Tipleri

Formula Student yarış aracı şasisinin analizine başlamadan önce şasinin hangi yükleme tiplerine maruz kaldığını bilmek önemlidir. Şasinin maruz kaldığı yükleme tipleri dört adettir:

#### a) Yanal eğilme

Yanal eğilme, araç viraja yüksek hızla girdiğinde, aracın atalet kuvvetinin meydana getirdiği yükleme tipidir. Bu kuvvetlerin büyüklükleri aracın hızına ve virajın yarıçapına bağlıdır. Yanal eğilme, şasinin süspansiyon ile bağlandığı kısımlarda görülmektedir (Şekil 3). Şasinin bu kısımlardaki parçaları süspansiyonlar desteklediği için, bu bölgelerdeki gerilmeler şasinin geriye kalan kısmının uğrayacağı gerilmelerden daha yüksektir (Hui, 2012).



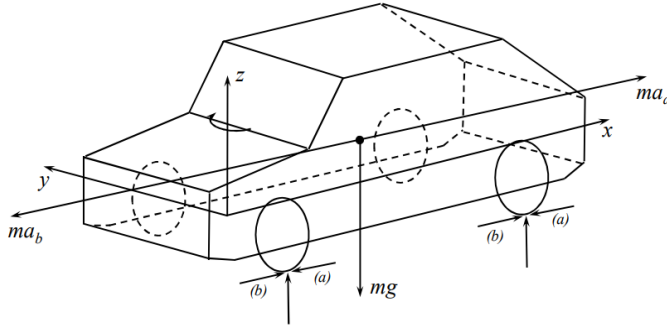
Şekil 3. Araç üzerinde yanal eğilme yükleme tipinin 3D gösterimi (Banthia, 2020)

#### b) Yatay yükleme

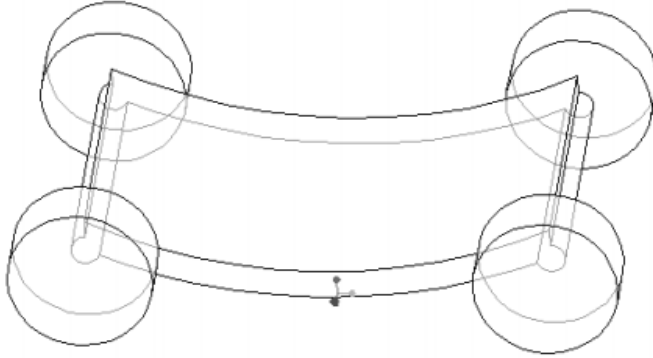
Yatay yükleme, araç hızlanırken veya yavaşlarken meydana gelmektedir. Bu kuvvet aracın bulunduğu yola, frenleme kuvvetine ve hızına bağlıdır. Yatay yükleme tipi de yanal eğilme gibi en çok aracın süspansiyonun bağlandığı kısımlarında görülmektedir (Hui, 2012). Şekil 4'de gösterilen üç boyutlu gösterimde aracın hızlanma veya yavaşlama durumunda etki eden kuvvetlerin basit hali şematik olarak sunulmuştur.

#### c) Dikey eğilme

Dikey eğilme, şasinin taşıdığı bütün parçaların ve sürücünün ağırlıklarından dolayı şaside meydana gelen eğilme tipi yüklemidir (Şekil 5). Dikey eğilme şasinin her an bu etki altında olmasından dolayı diğer yükleme tiplerine göre nispeten daha önemlidir. Araç statik halde iken sadece yer çekimi etkisiyle şaside dikey eğilme ortaya çıksa da, çoğu zaman araç dinamik yükleme etkisinde olacağı için statik haldeki durumdan birkaç kat daha yüksek seviyede dikey eğilme var olmaktadır (Hui, 2012).



Şekil 4. Araç üzerinde yatay yükleme tipinin 3D gösterimi (Banthia, 2020)



Şekil 5. Araç üzerinde dikey eğilme yüklemesinin 3D gösterimi (Hui, 2012)

### 2.3.2. Şasi Analizi Uygulamaları

Araç şasinin statik analizinde temel hedef, şasinin olabildiğince rijitliğinin sağlanması ve gelen kuvvetin şasi üzerinde homojen bir şekilde dağılarak bir bölgede birikmesinin önlemesidir. Araç şasinin maruz kaldığı yüklere karşı olabildiğince az deformasyon (sehim) göstermesi istenmektedir. Yarış aracı şasisinin analizi Solidworks Analysis, Ansys ve Hypermesh gibi analiz programları kullanılarak yapılmaktadır.

Formula Student yarış aracının şasi analizleri, beş ana başlıkta yapılmaktadır (Subramanyam vd., 2016);

- Ön darbe analizi
- Arka darbe analizi
- Yan darbe analizi
- Ön torsiyonel rijitlik analizi
- Arka torsiyonel rijitlik analizi

### 2.3.3. Şasi Analizinde Uygulanacak Kuvvetlerin Belirlenmesi

Formula Student yarış aracı şasi analizinde uygulanacak kuvvetlerin belirlenmesinde birkaç basit kabul yapılmaktadır (Subramanyam vd., 2016). Bu kabuller aşağıda sunulmuştur:

- Aracın başlangıç hızı : 0 km/h
- Sürücü ile birlikte aracın kütlesi : 350 kg
- Aracın çıkabileceği maksimum hız : 100 km/h
- Çarpışma analizleri yapılırken aracın darbeye maruz kalma süresi : 0.4 sn

Araç şasisinin ön, arka ve yan darbe analizlerinde kullanılmak üzere kaza anında aracın ivmesi, darbe kuvveti ve G kuvvetine ihtiyaç bulunmaktadır. Yukarıda yapılan kabuller temel fiziksel bağıntılarda kullanılarak araca ait kaza anındaki bilgiler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Aracın ivmesi :  $a=69.5 \text{ m/s}^2$   
 Kuvvet :  $F=24325 \text{ N}$   
 G kuvveti : 7



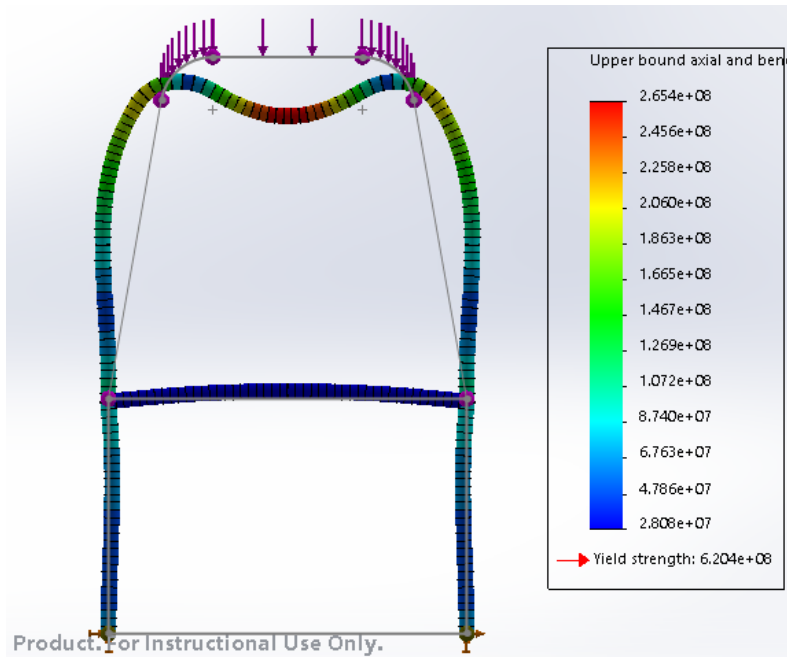
Ön ve arka torsiyonel rijitlik analizlerini yapmak için süspansiyon bağlantı noktalarından şasiye uygulanacak kuvvetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de süspansiyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Yapılan analizlerin sonucunda, üst salıncak bağlantı noktalarının her birine 440 N, alt salıncak bağlantı noktalarının her birine 538 N olacak şekilde verilere ulaşılmıştır. Bu kuvvetler şasinin torsiyonel rijitliğinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

### 2.3.4. Ana Takla Barı (Main Hoop) Tasarımı ve Analizi

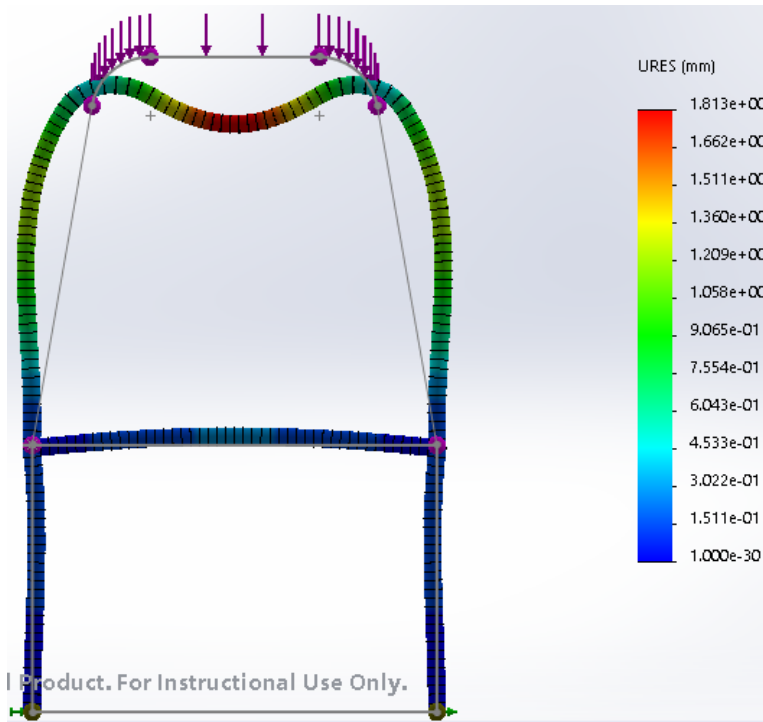
Şasi parçalarının analizlerde hızlı optimizasyonun sağlanması için Solidworks programının analiz paketi kullanılmıştır. Burada ana ve ön takla barı alt iki kaynak noktasından tutturularak takla atma durumunun analizi yapılmıştır. Tasarımlar yapılırken kokpit açıklığı, sürücünün etrafını görebilmesi ve ergonomisi durumları dikkate alınmıştır. Analizler en kötü senaryo olan yarış aracının takla atma durumuna göre yapılmıştır. Normal koşullarda bir Formula Student yarış aracı yaklaşık olarak 1.5-2 G kuvvetlerine maruz kalsa da kazada takla atma durumunda 3G' lik bir kuvvet dikkate alınarak analizi çalışmaları yapılmıştır. Takla barları sürücünün güvenliği açısından büyük önem taşıdığı için, kaza anında oluşacak olan sehimin olabildiğince az (1-2 mm) olması hedeflenmiştir. Bunların yanısıra güvenlik katsayısı ise minimum 2 olacak şekilde dikkate alınmıştır.

Ana takla barı tasarımı yapılırken barın genişliği için kokpit açıklığı dikkate alınmıştır. Aynı zamanda egzoz borularının kokpite çok yakın olması ve yalıtım ihtiyacı nedeniyle sürücü ergonomisi açısından kokpit, olması gerekenden biraz daha geniş tasarlanmıştır. Ana takla barının yarışma kuralları dikkate alınarak 30mm çapında ve 3mm et kalınlığında olması ve DP600 çeliğinden imal edilmesi planlanmıştır. Ana takla barı tasarımında çeşitli alternatifler dikkate alınmış ve en iyi sonuçlar aşağıda verilen tasarımda elde edilmiştir. Bu yeni tasarımda diğer tasarımlara göre bariz bir şekilde mukavemet artışı sağlanmıştır.

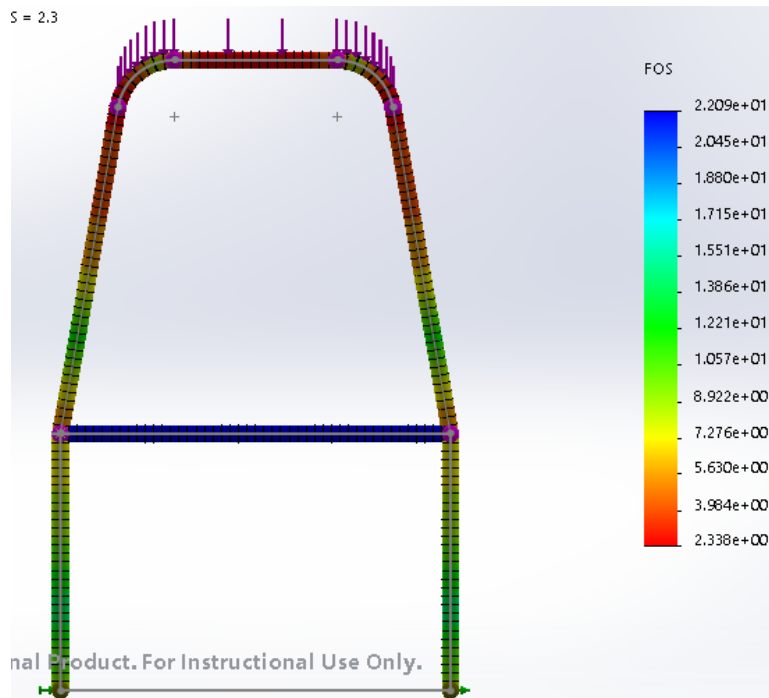
Şekil 6-8'de tasarımı yapılan ana takla barının gerilme, sehim ve güvenlik katsayısı analizlerinin sonuçları sunulmuştur. İlk tasarımlarda ana takla barının üst kısımdaki çıkıntı olması planlanmıştır. Fakat yapılan analizlerde bu çıkıntının ana takla barında fazla sehime sebebiyet verdiği tespit edilmiş olup, üretimde kolaylığı da düşünülerek, üst kısımdaki çıkıntı iptal edilmiş ve sade (düz) bir tasarım yapılmıştır. Ana takla barının yüksekliği sürücü kuralını karşılayacak şekilde artırılmıştır. Yine yarışma kurallarında belirtildiği üzere ana takla barı üzerindeki radiuslar, malzemenin dış çapının minimum 1.5 katı olacak şekilde yapılmış ve ön kısımdan bakıldığında ana takla barının sağ alt ve üst kısmını birleştiren eğimli boruların eğimi  $10^\circ$  olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 6. Ana takla barı tasarımına ait gerilme analizi (N/m<sup>2</sup>)



Şekil 7. Ana takla barı tasarıma ait deformasyon (sehim) analizi (mm)

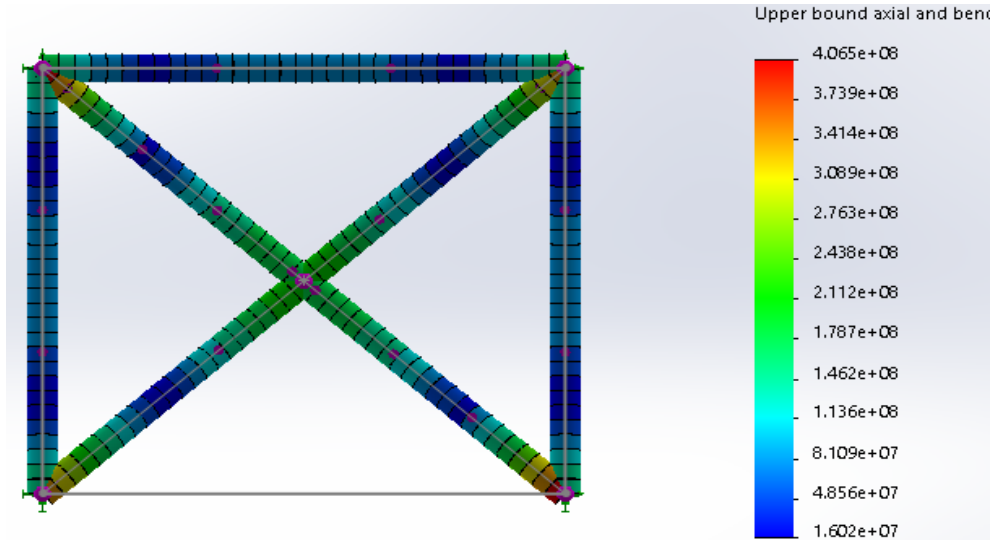


Şekil 8. Ana takla barı tasarımına ait güvenlik katsayısı analizi

### 2.3.5. Ön Burun (Front Bulkhead) Tasarımı ve Analizi

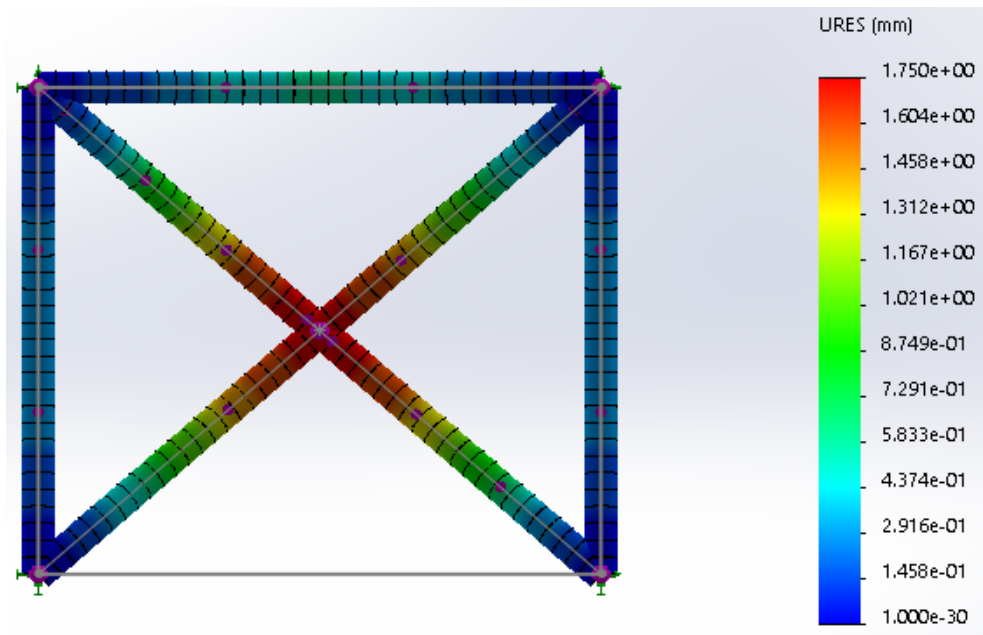
Ön burun, yarış aracında pedal kutusunun arkasında, sürücünün ayak tabanının baktığı ve kaza anında darbe sönümleyicinin bağlandığı yerdir. Ön burun, olası kaza durumunda yarış aracının ön kısmından gelecek olan darbelerin sürücüye hasar vermesini önleyecek şasinin dört temel bölümünden biridir. Ön burun kaza anında araç şasisinde darbenin etkileyeceği ilk bölge olacağı için bu kısmın tasarımında minimum güvenlik katsayısı 3 ve oluşacak sehim ise 1mm olarak dikkate alınmıştır.

Ön burun tasarımında öncelikle dairesel kesitli profil kullanılması düşünülmüştür. Aynı zamanda yarışma kuralları doğrultusunda burun kısmının sahip olduğu iç alan fazla olduğundan dolayı rijitliği sağlamak adına çapraz profil konumlandırılması yapılmıştır. Analizde aracın ön kısmından yaklaşık 30 kN kuvvet geldiği düşünülmüştür. Dairesel kesitli profil kullanılması durumunda analiz sonuçları hedeflenen sehim değerlerinin çok üzerinde olup güvenlik katsayısı açısından da isteneni sağlayamamıştır.

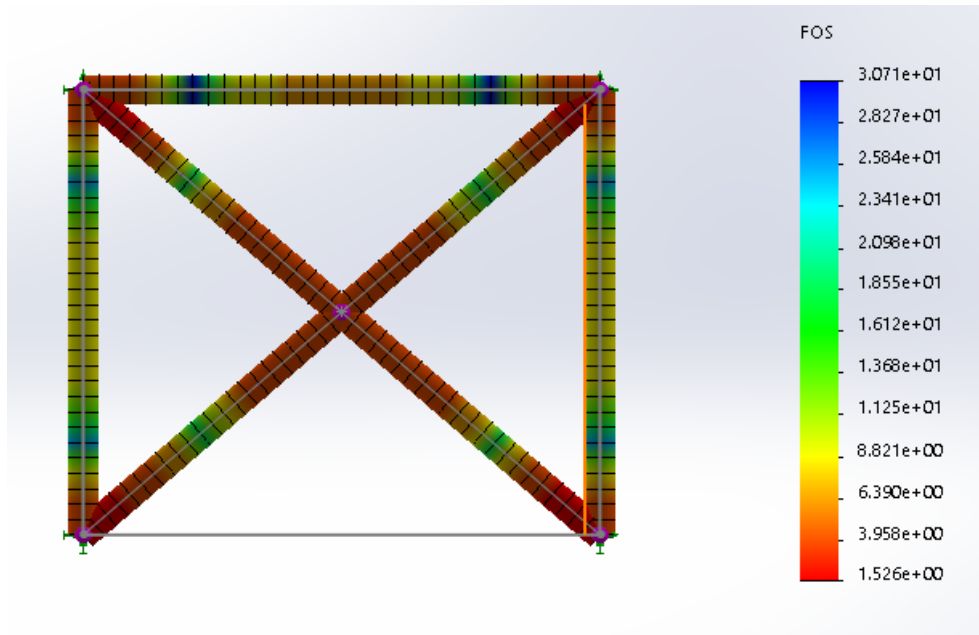


Şekil 9. Ön burun tasarımına ait gerilme analizi (N/m<sup>2</sup>)

Ön burun tasarımı ve analizi sonunda istenilen mukavemet değerlerini sağlamak için, atalet momentinin daha büyük olduğu ve üretimde kolaylığı sağlamak için tasarımda kare profil tercih edilmiştir. Bu durumda üretimde büküm işçiliğinden de tasarruf sağlanmıştır. Kare profil, aynı çapa sahip dairesel profile göre daha fazla atalet momentine sahiptir. Bu da kesitin maruz kaldığı eğilmeye karşı parçaya ekstra mukavemet kazandırmaktadır. Analiz sonuçları da bu teoriyi destekler nitelikte sonuçlar vermiştir ve tasarım kriterlerini fazlasıyla karşılanmıştır. Şekil 9-11'de tasarımı yapılan ön burnun gerilme, sehim ve güvenlik katsayısı analizlerinin sonuçları sunulmuştur.



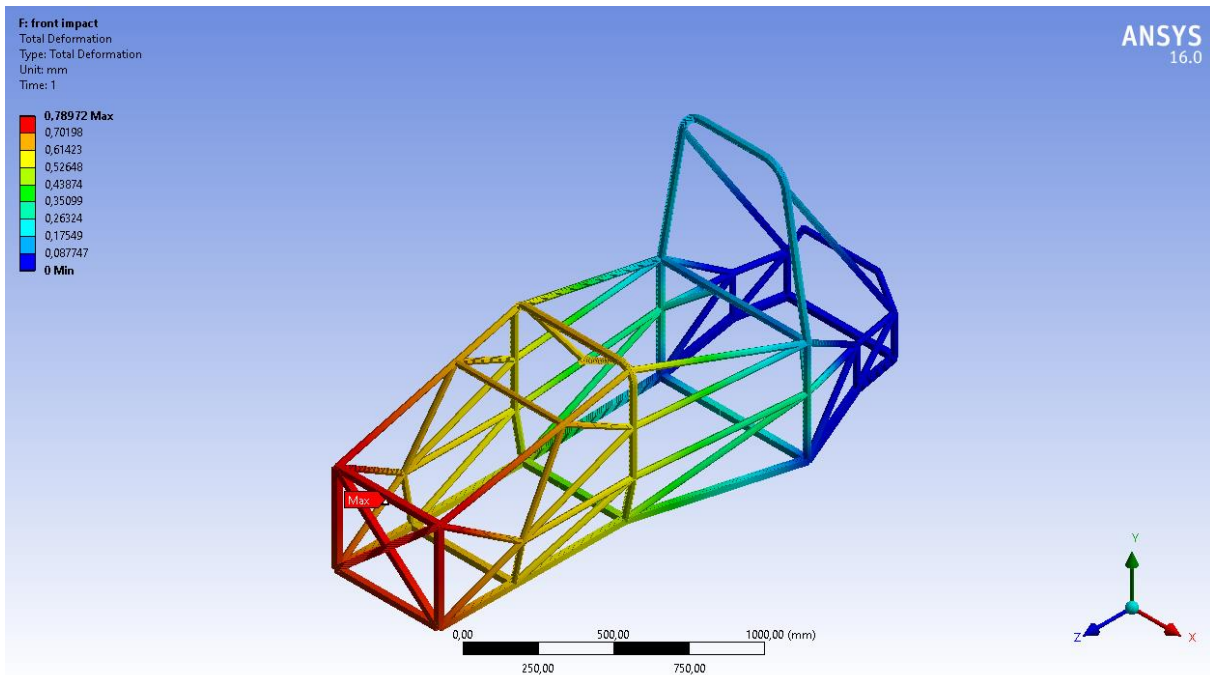
Şekil 10. Ön burun tasarıma ait deformasyon (sehime) analizi (mm)



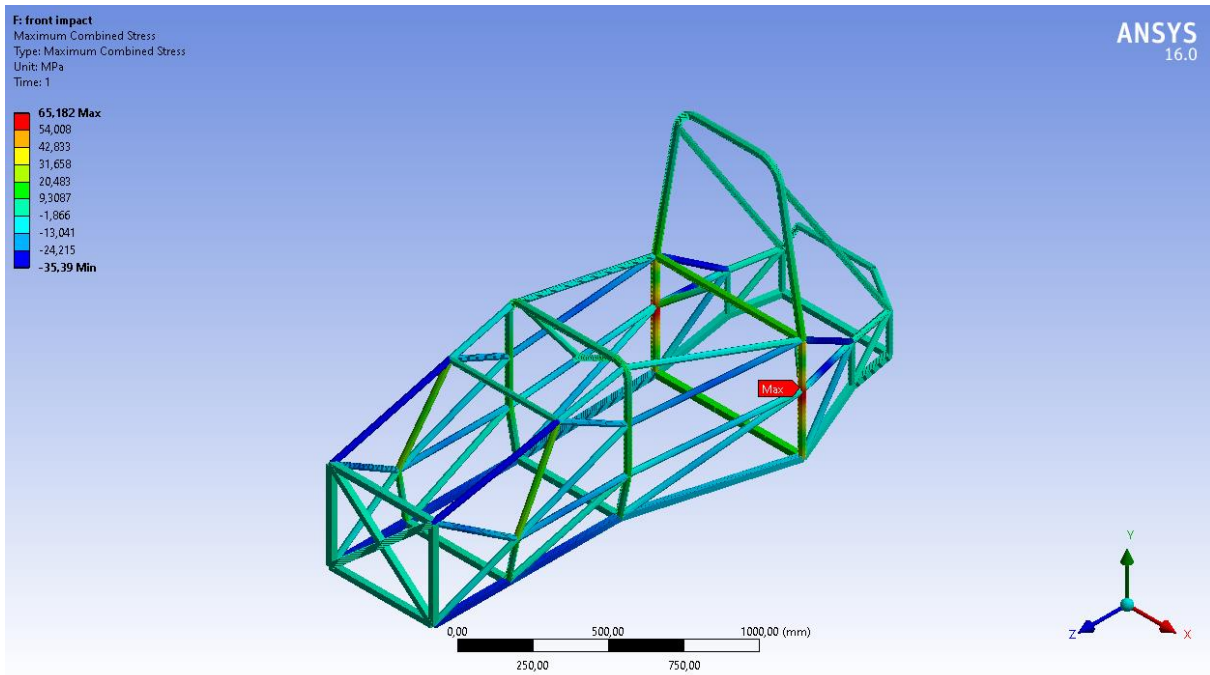
Şekil 11. Ön burun tasarımına ait güvenlik katsayısı analizi

### 2.3.6. Şasinin Ön Darbe Analizi

Şasinin ön darbe analizinde ön kısımdan 24325 N kuvvet uygulanmıştır. Analizde şasi arka kısmında 8 adet salıncak bağlantı noktasından sabitlenmiştir. Analiz sonucunda şaside 0.8mm sehim oluşmuş ve  $65 \text{ N/mm}^2$  değerinde bir gerilme meydana gelmiştir (Şekil 12-13). 0.8 mm'lik sehim şasi tasarımında hedeflenen aralıktadır. Aynı zamanda analiz sonuçlarına bakıldığında gerilmenin şasinin belirli bir bölgesinde birikmediği, aksine şasinin bütününe neredeyse homojen bir şekilde yayıldığı gözlemlenmiştir. Şasi imalatında kullanılan DP600 malzemesinin akma mukavemetinin  $400 \text{ N/mm}^2$  olduğu dikkate alındığında, şasinin sahip olduğu en düşük güvenlik katsayısı 6 olarak ortaya çıkmaktadır.



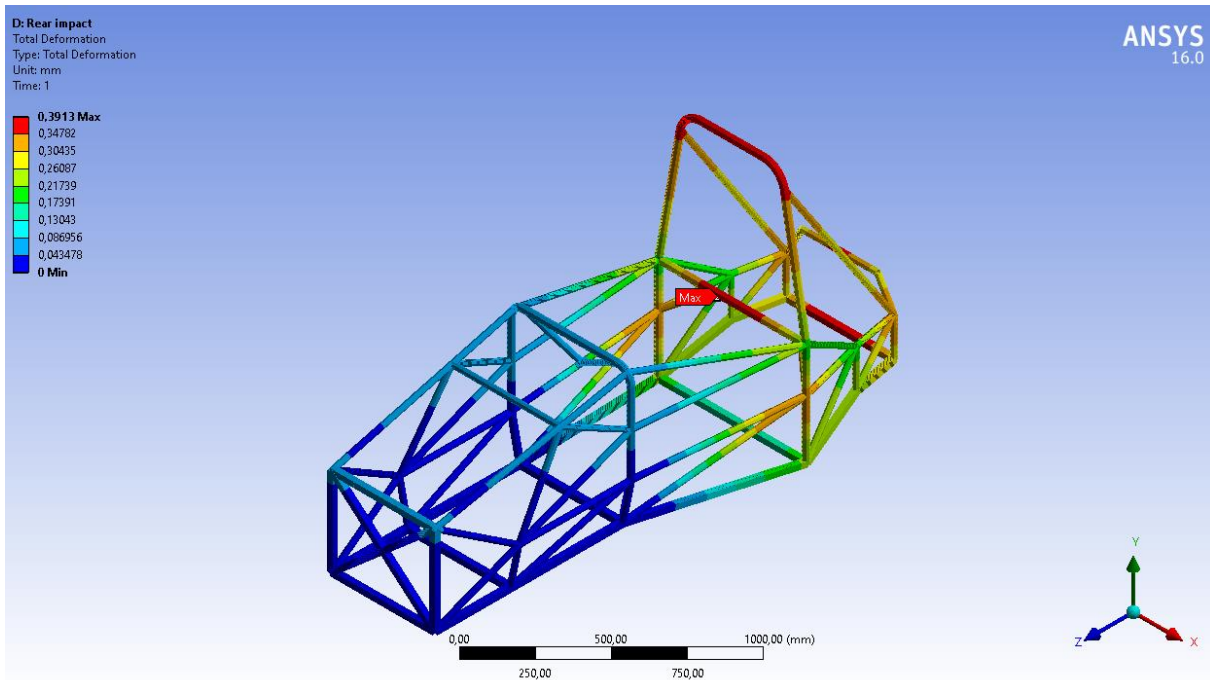
Şekil 12. Şasinin ön darbe analizi (sehim-mm)



Şekil 13. Şasinin ön darbe analizi (gerilme- $N/mm^2$ )

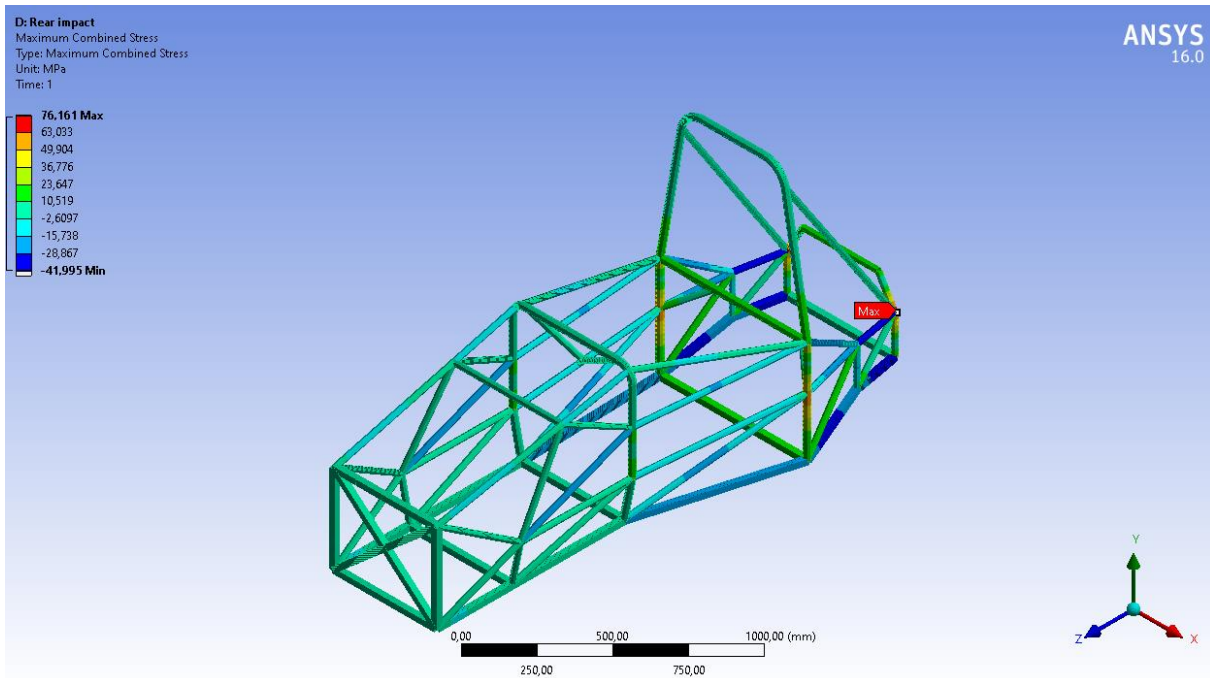
### 2.3.7. Şasinin Arka Darbe Analizi

Şasinin arka darbe analizinde, arka havuz bölgesinden 24325 N kuvvet uygulanmıştır. Yapılan darbe analizinde şasi ön bölgesinde sağ ve sol kısımda toplamda 8 salıncak bağlantı noktasından sabitlenmiştir. Analiz sonucunda şaside 0.4 mm'lik sehim ve 76  $N/mm^2$  değerinde bir gerilme meydana gelmiştir (Şekil 14-15). 0.4 mm'lik sehim değeri şasi tasarımında hedeflenen aralıkta yer almaktadır. Arka darbe analizinde şasinin sahip olduğu en düşük güvenlik katsayısı 5 olarak ortaya çıkmaktadır. Şasinin arka darbe analizinde sehimin az olmasının başlıca sebepleri, arka kısımda kullanılan boru boylarının, ön kısımda kullanılan boru boyuna göre daha kısa ve sık kullanılmış olması ve ana takla barı desteklerinin varlığıdır.



Şekil 14. Şasinin arka darbe analizi (sehim-mm)

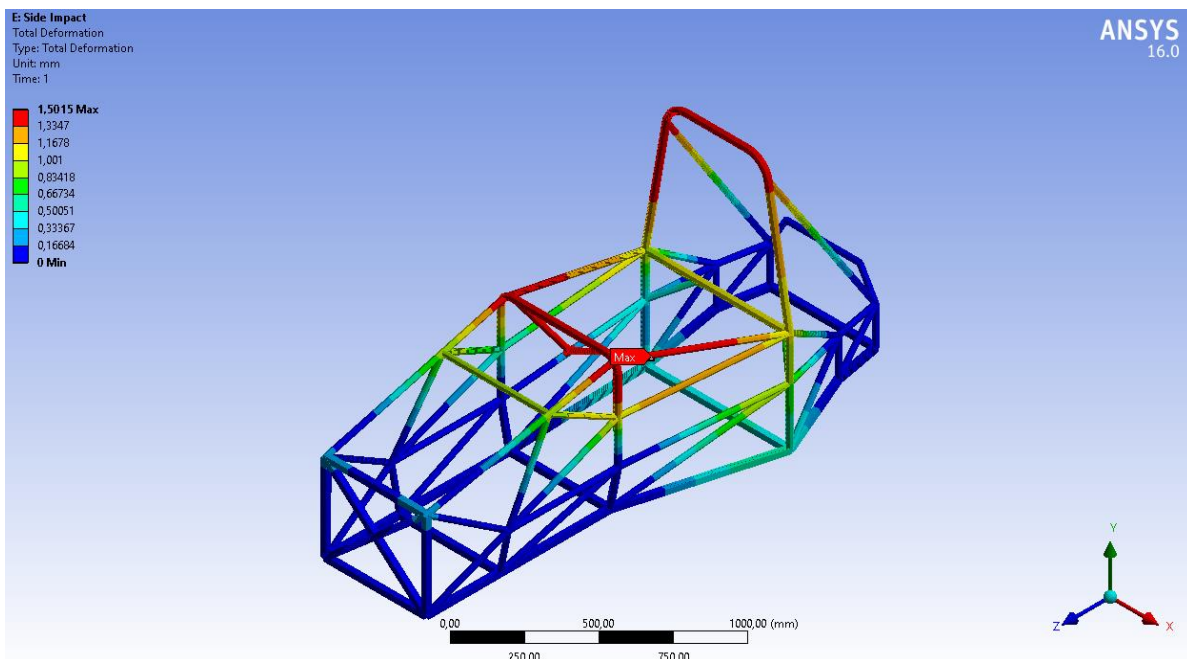




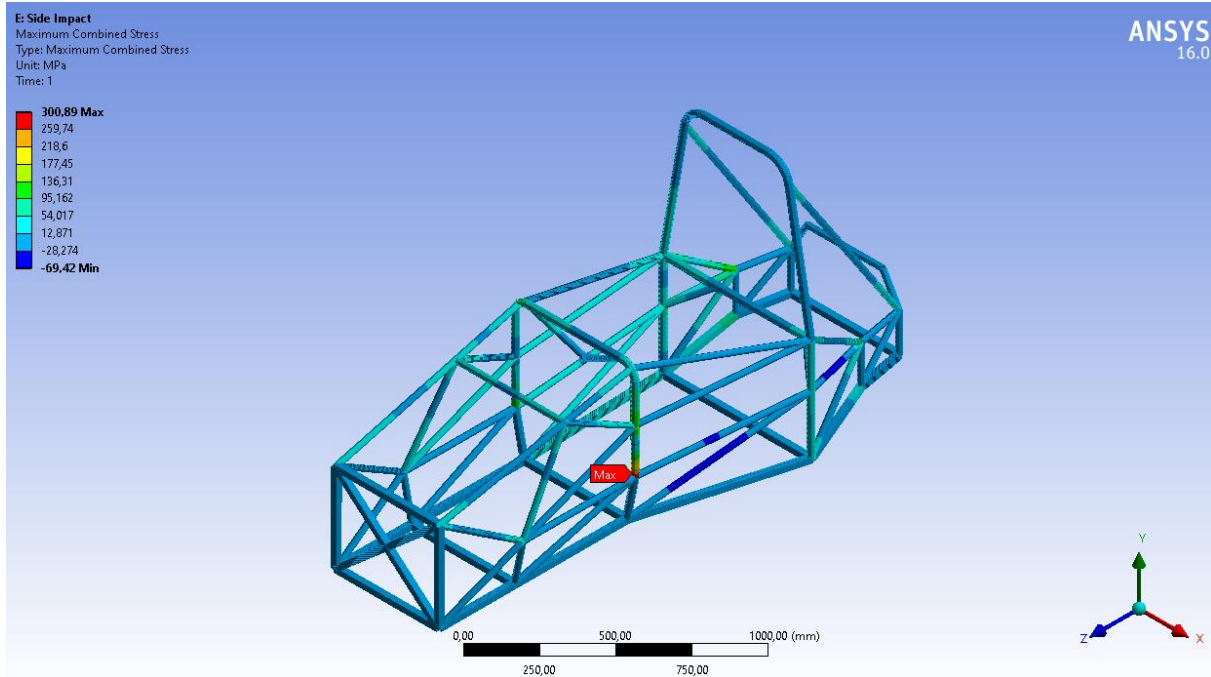
Şekil 15. Şasinin arka darbe analizi (gerilme-N/mm<sup>2</sup>)

### 2.3.8. Şasinin Yan Darbe Analizi

Şasinin yan darbe analizinde, kokpitin yan kısmından 24325 N kuvvet uygulanmıştır. Bu analizde şasi ön ve arka bölgede sağ ve sol olmak üzere toplam 16 salıncak bağlantı noktasından şasi sabitlenmiştir. Analiz sonucunda şaside yaklaşık 1.5 mm'lik sehim ve 301 N/mm<sup>2</sup> değerinde bir gerilme belirlenmiştir (Şekil 16-17). Bu analiz koşullarında şasinin güvenlik katsayısı 1.34 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu analizdeki sehim ve gerilme değerlerinin diğer analizlere göre oldukça yüksek olduğu aşikardır. Bu farkın sebebi ise önden ve arkadan uygulanan kuvvetler doğrultusundaki destek borularının varlığıdır. Fakat kokpit kısmında yan kısımdan gelen kuvveti engelleyecek ekstra bir destek borusu kullanılamayacağı için, sürücü güvenliğini artırmak ve aynı zamanda sürücünün aracı hızlıca terk etmesini sağlamak amacıyla yan kısma ekstra çapraz bir boru konumlandırılmıştır.

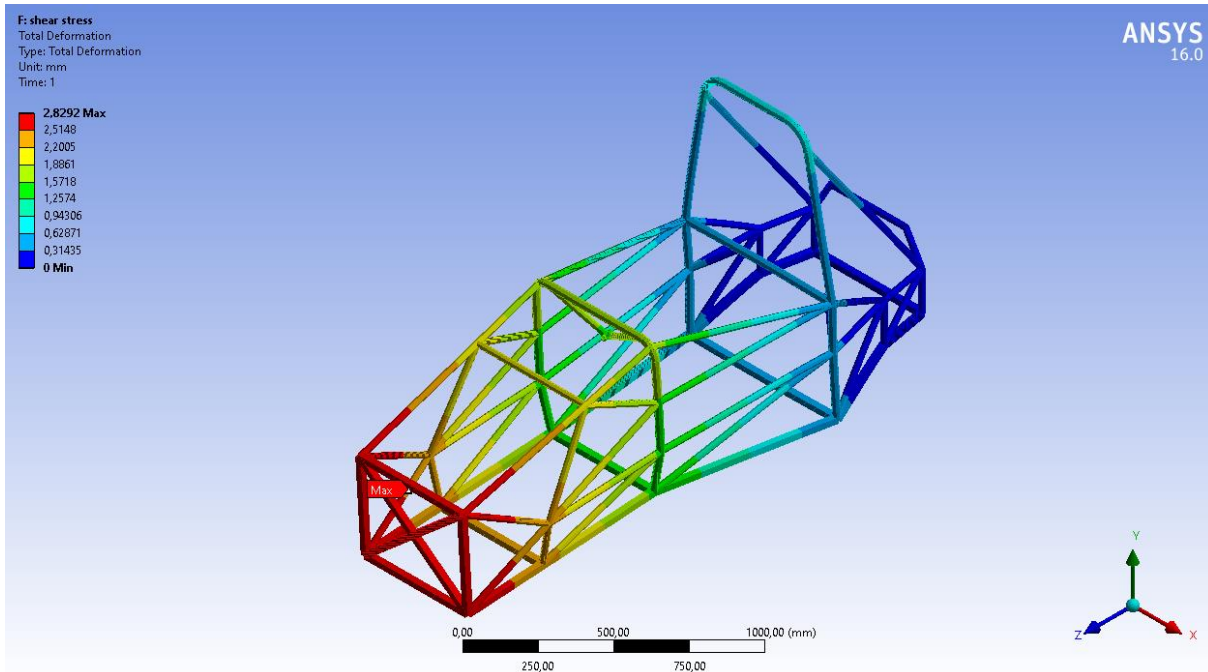


Şekil 16. Şasinin yan darbe analizi (sehim-mm)

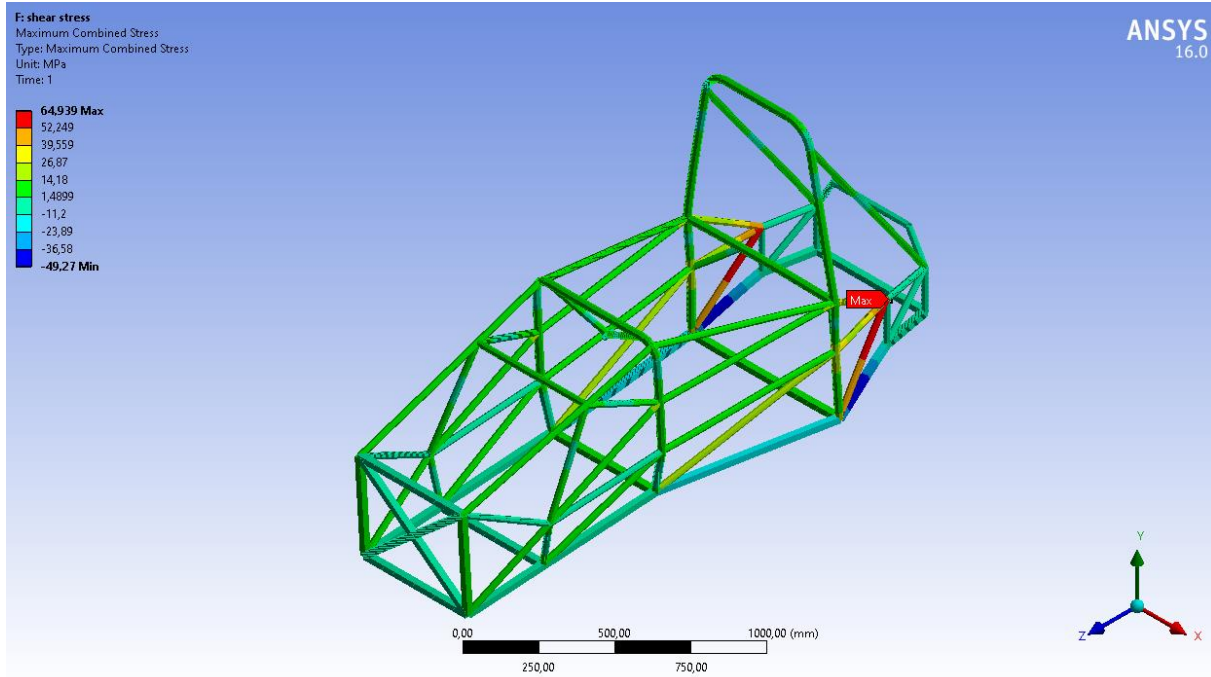
Şekil 17. Şasinin yan darbe analizi (gerilme- $N/mm^2$ )

### 2.3.9. Şasinin Kayma Gerilmesi Analizi

Şasiye yükleme tiplerinden birisi olan kayma gerilmesi analizi uygulanmıştır. Bu analiz yapılırken şasi arka kısmından sabitlenmiş ve sanki tek mesnetli bir kiriş gibi ele alınmıştır (Singh, 2010). Şasinin sürücü dahil olmak üzere aracın toplam ağırlığı ön ve arka kısma eşit dağılmış gibi düşünülerek şasinin burun kısmından aracın toplam ağırlığının yarısı uygulanmıştır. Bu durumda aracın toplam kütlesi 350 kg olup, ön kısımdan 175 kg yük uygulanmıştır. Kayma gerilmesi analizinde 2.83 mm'lik sehim ve 65  $N/mm^2$  bir gerilme değeri elde edilmiştir (Şekil 18-19). Sehim sonucu, hedeflenen değer aralığından bir miktar uzak olsa da, gerçek koşullarda aracın ön kısmına ağırlığın yarısı kadar yük binmeyeceğinden dolayı bulunan sehim değeri hesaplanandan çok daha düşük olacaktır.



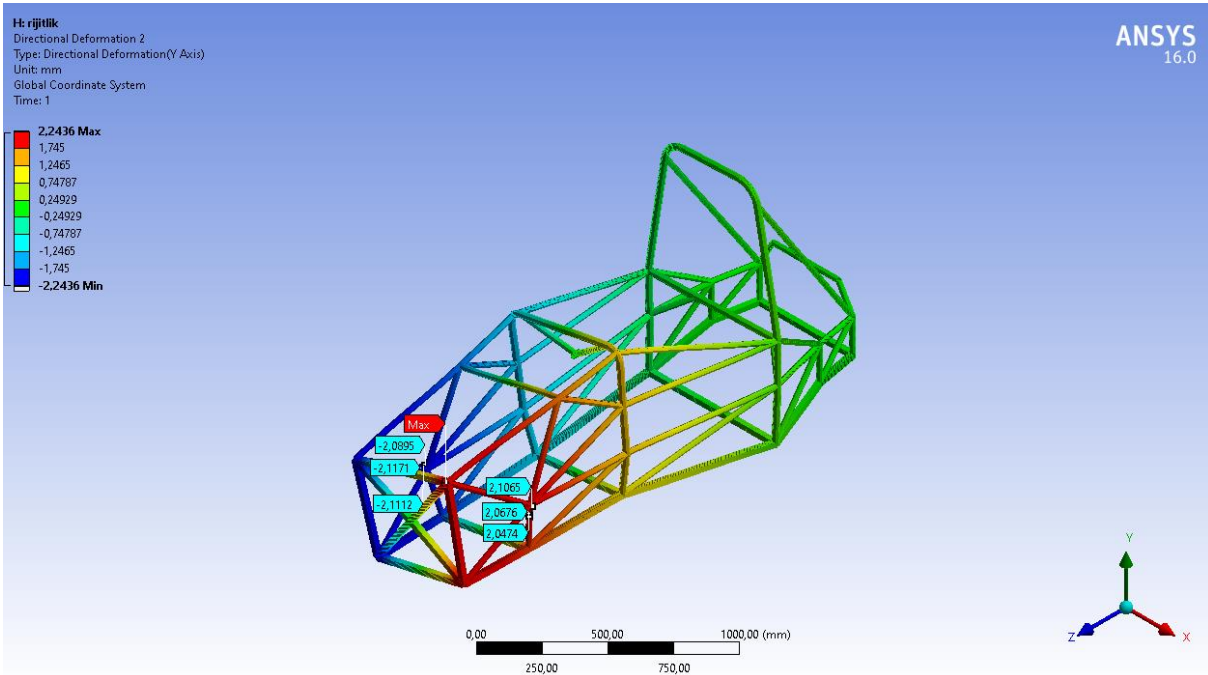
Şekil 18. Şasinin kayma gerilmesi analizi (sehim-mm)



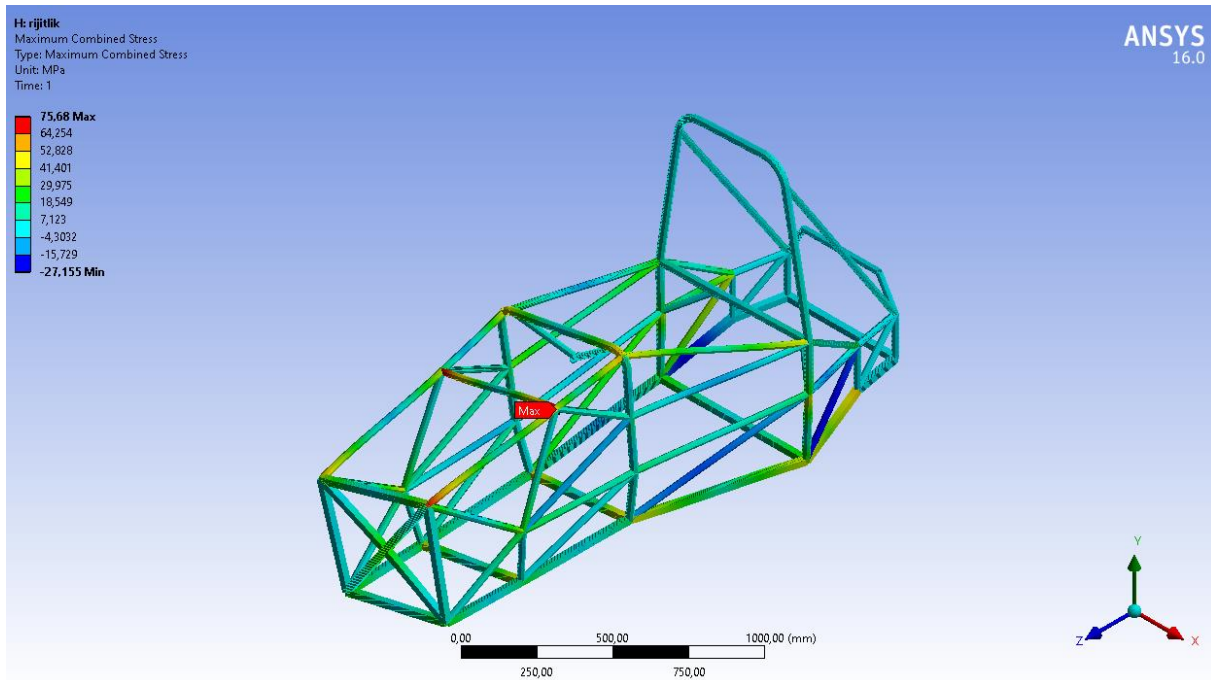
Şekil 19. Şasinin kayma gerilmesi analizi (gerilme-N/mm<sup>2</sup>)

### 2.3.10. Şasinin Torsiyonel Rijitlik (Burulma Direnci) Analizi

Şasi tasarımının hedefleri içinde en önemli yere sahip olan, şasinin burulmaya karşı göstereceği direnç (torsiyonel rijitlik) aracın süspansiyon tasarımı için de oldukça önemlidir. Süspansiyon hesaplarında şasi rijit kabul edilir. Bu yüzden şasi olabildiğince hafif ve aynı zamanda da rijit olmalıdır. Şasi rijitliği, aracın viraj kabiliyetini, kontrolünü ve hissiyatını doğrudan etkilemektedir. Torsiyonel rijitlik analizinde, şasi arka salıncak bağlantı noktalarından sabitlenerek ön salıncak bağlantı noktalarından kuvvetler etki ettirilmiştir. Bu durumda ön kısım üst salıncak bağlantı noktalarının her birinden 440 N, alt salıncak bağlantı noktalarının her birinden 538 N kuvvet uygulanmıştır. Analiz sonucunda şaside yaklaşık 3mm'lik sehim ve yaklaşık 76 N/mm<sup>2</sup> değerinde bir gerilme meydana gelmiştir (Şekil 20-21).



Şekil 20. Şasinin torsiyonel rijitlik analizi (sehim-mm)



Şekil 21. Şasinin torsiyonel rijitlik analizi (gerilme-N/mm<sup>2</sup>)

Şasinin torsiyonel rijitliğini hesaplamak için öncelikle şasiyi burmaya çalışan kuvvet çiftinin birbiri arasındaki mesafenin saptanması gerekir (Singh, 2010). Bu mesafe salıncak bağlantı noktaları arasındaki mesafedir.

Torsiyonel rijitlik

$$K = \frac{R}{\theta} \quad (2.1)$$

Döndürme momenti

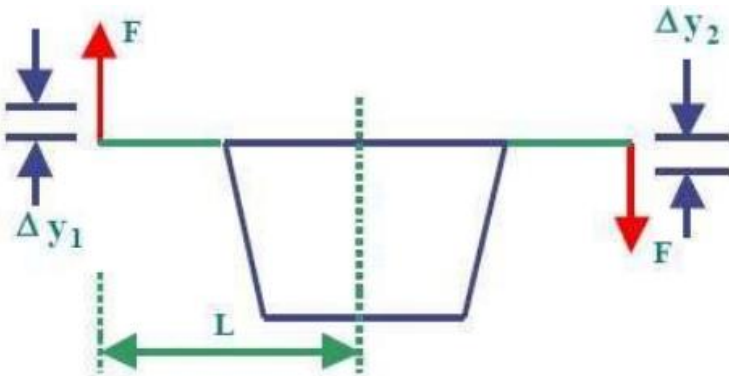
$$R = F \cdot L \quad (N \cdot m) \quad (2.2)$$

Burulma açısı

$$\theta = \arctg \left[ \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2 \cdot L} \right] \quad (2.3)$$

Torsiyonel rijitlik

$$K = \frac{F \cdot L}{\arctg \left[ \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2 \cdot L} \right]} \quad (2.4)$$



Şekil 22. Şasinin torsiyonel rijitlik hesabı için şematik gösterimi (Singh, 2010)



Şaside burulmayı sağlayacak olan kuvvet çifti	: F= 1956 N
Kuvvet çifti arasındaki mesafe	: L= 277.5 mm = 0.2775 m
Salıncak bağlantı noktalarındaki sehim	: $\Delta y_1 = \Delta y_2 = 2.1 \text{ mm} = 0.0021 \text{ m}$
Döndürme momenti	: R= 542.79N m
Burulma açısı	: $\Theta = 0.433^\circ$
Torsiyonel rijitlik	: K= 1251.876 Nm/°

Süspansiyon yuvarlanma rijitliği (roll stiffness) 500-1000 Nm/° olan bir Formula Student yarış aracı için şasinin sahip olması gereken torsiyonel rijitlik değerinin 300-1000 Nm/° arasında olması yeterlidir (Singh, 2010). Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar istenen değerlerin daha üstünde olup araç şasisi için daha iyi seviyelerde torsiyonel rijitlik değerleri elde edilmiştir.

Şasi için yapılan bütün analizlerin tamamı ayrıca bir tablo halinde sunulmuştur (Tablo 3). Bu tabloda yapılan analizler çalışmanın sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için topluca ifade edilmiştir.

Tablo 3  
Formula Student yarış aracı şasi analizi sonuçları

Analiz tipi	Yük	Gerilme (Mpa)	Sehim (mm)	Minimum güvenlik katsayısı
Ana takla barı analizi	3G	265	1.8	2.3
Ön burun analizi	30 kN	406,5	1.75	1.5
Şasi ön darbe analizi	24325 N	65	0.8	6
Şasi arka darbe analizi	24325 N	76	0.4	5
Şasi yan darbe analizi	24325 N	301	1.5	1.34
Şasi kayma gerilmesi analizi	175 kg	65	2.83	6
Şasi torsiyonel rijitlik analizi	3912 N	76	3	5

### 3. Sonuçlar

Araçların şasi tasarımında en önemli husus şasinin dayanıklılığı ve rijitliğidir. Bu çalışmada Formula Student yarış aracında kullanılmak için tasarlanan şasinin, gerçekleştirilen analizler doğrultusunda, hedeflenen tasarım kriterleri ve rijitlik derecesine fazlasıyla sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde yarışma kuralları doğrultusunda, hedeflenen tasarım kriterleri daraltılarak daha hafif ve rijit tasarımlar elde edilmesi mümkün olmaktadır. Ancak gelinen noktada yeniden tasarlanan araç şasisi muadillerine göre bir nebze (%30) ağır olsa da, rijitlik ve ergonomik olması bakımından oldukça üstündür. Yarış aracı şasisinde daha rijit ve hafif bir yapı elde etmek için, uzay kafes şasiye göre daha maliyetli ve üretimi zor olan monokok şasi tasarımı da tercih edilebilir. Şasi imalatında kullanılan boruların uzunlukları daha kısa tutularak yüklenme durumunda oluşan sehimler azaltılabilir.

#### Yazar Katkıları

Yiğit Alp Oymak: Analizleri planlamış, tasarlamış ve yapmıştır.

Erol Feyzullahoğlu: Analizlerin yorumlanmasına ve makalenin yazımına katkı sağlamıştır

#### Çıkar Çatışması

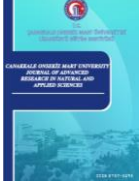
Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

#### Kaynaklar

- Adams, H. (1993). *Chassis Engineering*, Penguin Group, New York.
- Aird, F. (1998). *The Race Car Chassis*, Penguin Group, New York.
- Allen, R.F. (2009). *Design and Optimization of a Formula SAE Racecar Chassis and Suspension*, The Degree of Bachelor, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.



- Alexander, M. (2008). *Design, Manufacturing and Verification of a Steel Tube Space frame Chassis for Formula SAE*, The Degree of Bachelor, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.
- Banthia, V.K. (12 Mayıs 2020). Erişim adresi: [http://164.100.133.129:81/econtent/Uploads/03\\_Session5%20and%206\\_Loads,%20Design%20and%20Structures.pdf](http://164.100.133.129:81/econtent/Uploads/03_Session5%20and%206_Loads,%20Design%20and%20Structures.pdf).
- Bhande A.S., Bhagat R.V., Anwer D., Anand A. ve Nitnaware P.T. (2018). Design and Analysis of Space Frame Chassis for Formula Student Race Car, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7 (6), 1-5, DOI: IJERTV7IS060002.
- Das, A. (2013). Design of Student Formula Race Car Chassis, *International Journal of Science and Research*, 4 (4), 2571-2575, [https://www.ijsr.net/search\\_index\\_results\\_paperid.php?id=SUB153824](https://www.ijsr.net/search_index_results_paperid.php?id=SUB153824).
- European Aluminum Association, Brussels. (25 Mart 2020). Erişim adresi: [https://www.european-aluminium.eu/media/1543/1\\_aam\\_body-structures.pdf](https://www.european-aluminium.eu/media/1543/1_aam_body-structures.pdf).
- Hui, Z.L. (2012). *Design, Analysis And Experimental Verification of Tubular Space frame Chassis for Fsaе Application*, The Degree of Master of Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Kale, A. (2016). *Design of Formula Student Race Car Chassis*, Undergraduate Research Project Report, Hacettepe University, Ankara, Turkey.
- Krzikalla, D., Mesicek, J., Petru, J., Sliva, A. ve Smiraus, J. (2019). Analysis of Torsional Stiffness of the Frame of a Formula Student Vehicle, *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 8 (1:315), 1-5, <http://dx.doi.org/10.35248/2168-9873.19.8.315>.
- Marzuki, M.A.B, Bakar, M.A.A. ve Azmi, M.F.M. (2015). Designing Space Frame Race Car Chassis Structure Using Natural Frequencies Data from Ansys Mode Shape Analysis, *International Journal of Information Systems and Engineering*, 3 (1), 54-62, DOI: [10.24924/ijise/2015.11/v3.iss1/54.63](https://doi.org/10.24924/ijise/2015.11/v3.iss1/54.63)
- Milliken, W.F. ve Milliken, D.L. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers Inc., USA.
- Milojević M., Ivanović L. ve Dimitrijević B. (2015). *Design and Analysis of Formula Student Frame*, 9 th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia.
- Patil, R. ve Chikkali, V. (2020). FEA Analysis of FSAE Chassis, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9 (7), 290-295. <http://dx.doi.org/0.17577/IJERTV9IS070148>
- Riley, W.B. ve George, A.R. (2002). *Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis*, Proceeding of the 2002 SAE Motorsport Engineering Conference and Exhibition, 2002-01-3300, USA.
- SAE International, Michigan. (21 Mart 2020). Erişim adresi: <https://www.fsaeonline.com/cdsweb/gen/DocumentResources.aspx>.
- Singh, R.P. (2010). Structural Performance Analysis of Formula SAE Car, *Jurnal Mekanikal*, 31, 46-61, <https://jurnalmekanikal.utm.my/index.php/jurnalmekanikal/article/view/102>.
- Sirsikar, S., Bhosale, A., Kurkute, A., Ghawalkar, S. ve Sahane, K. (2020). Review on Design, Analysis and Fabrication of Race Car Chassis, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7 (3), 4098-4101.
- Sithananun, C., Leelaphongprasut, C., Baitiang, C. ve Rungpipatphol, N. (2011). *SAE Student Formula Space Frame Design and Fabrication*, The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, 19-21 October, Krabi, Tayland.
- Subramanyam, B., Vishal, Kollati, M. ve Kumar, K.P. (2016). Analysis of Formula Student Race Car, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5 (10).
- Szczeńniak, G., Nogowczyk, P. ve Burdzik, R. (2014). Some Basic Tips in Vehicle Chassis and Frame Design, *Journal of Measurements in Engineering*, 2 (4), 208-2014, <https://www.jvejournals.com/article/15775>.
- Waterman, B.J. (2011). *Design and Construction of a Space-frame Chassis*, Final Year Project Thesis, University of Western Australia, Perth, Australia.



## Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi

Harun Çiftçi<sup>1,\*</sup>, Çiğdem Er Çalışkan<sup>2</sup>, Kübra Öztürk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tıbbi Biyokimya Anabilim. Dalı, Tıp Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

<sup>2</sup>Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Proje Koordinatörlüğü, Kırşehir, Türkiye

### Makale Tarihçesi

Gönderim: 20.02.2021

Kabul: 10.05.2021

Yayın: 30.06.2021

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Bu çalışmada kızartılarak tüketime hazır hale getirilen bazı balık türlerindeki metal düzeylerinin belirlenmesi, elde edilen değerlerin Ulusal ve Uluslararası standartlarla karşılaştırılması ve insan sağlığı riskinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Metal tayininde Yüksek Çözünürlüklü Sürekli Işın Kaynaklı Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrisi (HR-CS FAAS) kullanılmıştır. Orta Karadeniz Bölgesinden temin edilen balıkların kas dokularından (kızartma sonrası) alınan örneklerin çözünürleştirilmesinde mikro dalga parçalama sistemi kullanılmıştır. Çalışmada metal düzeyleri, Pb için 0.26-0.43 µg g<sup>-1</sup>; Ni için 0.15-0.25 µg g<sup>-1</sup>; Cd için 0.03-0.25 µg g<sup>-1</sup>; Al için 1.3-5.2 µg g<sup>-1</sup>; Cr için 0.34-2.79 µg g<sup>-1</sup>; Cu için 1.08-3.33 µg g<sup>-1</sup>; Fe için 3.64-14.95 µg g<sup>-1</sup>; Mn için 2.03-3.54 µg g<sup>-1</sup>; Zn için 4.13-20.72 µg g<sup>-1</sup>; Ca için 0.25-1.37 mg g<sup>-1</sup> ve Mg için 0.27-0.71 mg g<sup>-1</sup> aralığında tayin edilmiştir. Balık türlerindeki metal düzeyleri Ulusal ve Uluslararası standartlar ile karşılaştırılarak dokulardaki Tahmini Haftalık Alım Düzeyi (EWI), Hedef Tehlike Oranı (THQ) ve Tehlike İndeksleri (HI, Toplam THQ) hesaplanmıştır. Çalışılan metaller için EWI değerlerinin Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarları (PTWI) değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. THQ ve tehlike indeksi değerlerinin 1'den küçük hesaplanmıştır. Böylece analiz edilen balık türlerinin tüketilmesi halinde tüketici açısından kanser harici sağlık problemlerinin ortaya çıkma olasılığının düşük olacağı kararlaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Ağır metal, balık, gıda standardı, risk değerlendirme, tehlike indeksi

## Determination of Trace and Toxic Metal Levels in Some Fish Species and Assessment of Human Health Risk

<sup>1</sup>Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey

<sup>2</sup>Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran University, Project Coordinator, Kırşehir, Turkey

### Article History

Received: 20.02.2021

Accepted: 10.05.2021

Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – In this study, it was aimed that determination of some metal levels in fish species that prepared for consumption by frying, comparison of the obtained values according to National and International standards and assessment of human health risk. High-Resolution Continuum Source Flame Atomic Absorption Spectrometry (HR-CS FAAS) was used for determinations of metals. A microwave digestion system was used for the digestion of samples from the muscle tissues (after frying) of fish collected from the Central Black Sea Region. Metal levels were determined in the range of 0.26-0.43 µg g<sup>-1</sup> for Pb; 0.15-0.25 µg g<sup>-1</sup> for Ni, 0.03-0.25 µg g<sup>-1</sup> for Cd; 1.3-5.2 µg g<sup>-1</sup> for Al; 0.34-2.79 µg g<sup>-1</sup> for Cr; 1.08-3.33 µg g<sup>-1</sup> for Cu; 3.64-14.95 µg g<sup>-1</sup> for Fe; 2.03-3.54 µg g<sup>-1</sup> for Mn; 4.13-20.72 µg g<sup>-1</sup> for Zn; 0.25-1.37 mg g<sup>-1</sup> for Ca and 0.27-0.71 mg g<sup>-1</sup> for Mg. Metal levels in fish species were compared with National and International standards. Estimated Weekly Intake Level (EWI), Target Hazard Ratio (THQ), and Hazard Index (HI, Total THQ) were calculated for the tissues. It was determined that the EWI values for the studied metals were lower than the Provisional tolerable weekly intake (PTWI) values. In addition, it was calculated that THQ and hazard index values were less than 1. Thus, it has been concluded that if the analysed fish species are consumed, the probability of non-cancer health problems for the consumer will be low.

**Keywords** – Hazard index, heavy metal, fish, food Standard, risk assessment

<sup>1</sup> harunciftci@yahoo.com

<sup>2</sup> cigdemer86@gmail.com

<sup>3</sup> kubraademirbag@gmail.com

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Son yıllarda, farklı antropojenik kaynaklardan yayılan ağır metallerin çevre üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri olmaktadır. Küresel olarak ağır metaller, insan sağlığı ve ekosistem bütünlüğü için ciddi tehditler oluşturmaktadır. Birçok ağır metal; topraktan, evsel ve endüstriyel atıklardan, içme sularından, pişirme ve işleme ekipmanlarından, paketlenme-kutulama aşamalarından ve gıda zincirinden canlı organizmalara geçerek risk oluşturmaktadır. Su kaynakları günümüzde endüstriyel ve kentsel atıklarla kirletildiği için önemli çevre ve sağlık sorunlarından biri haline gelmiştir (Ojutiku ve Okojevo, 2017). Ağır metaller sularındaki en önemli inorganik kontaminasyon kaynaklarından biridir. Sucul ortama taşınan metaller sulara serbest olarak bulunabildiği gibi çeşitli partiküllere tutunabilir veya çökelti halinde birikebilir. Bu nedenle, su ve çöktülerdeki yüksek metal seviyeleri, balıklar dahil olmak üzere sudaki biyotada birikmelerine neden olabilir. Bunun sonucunda deniz ekosistemlerindeki kimyasal kirlilikler balık tüketiminde insan sağlığını olumsuz yönde etkiler (Rahman vd., 2019). Balıklarda en fazla rastlanan ağır metallerin başında kadmiyum, nikel, cıva, arsenik, bakır, krom, çinko, kurşun, alüminyum ve mangan gelmektedir. Ağır metaller tolere edilebilir miktarların üzerinde alındığında nörolojik problemler, karaciğer ve böbrek hasarı, endokrin sistemlerinin bozulması, kardiyovasküler disfonksiyon, hematolojik anomaliler ve kanserojen etkiler meydana gelmektedir. Birçok ağır metal, enzimlerde bulunan kükürt, azot ve diğer fonksiyonel gruplara bağlanarak işlevlerini bozmaktadır. Bu nedenlerle bazı metal türlerinin besinlerdeki düzeylerinin izlenerek kontrol edilmesi insan sağlığına olumsuz sonuçları önlenmesi açısından son derece önemlidir.

Farklı matrislerdeki eser elementlerin belirlenmesi için nötron aktivasyon analizi (NAA), indüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS), indüktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES), grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometresi (GF-AAS), hat kaynaklı alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (LS-FAAS) ve yüksek çözünürlüklü sürekli ışın kaynaklı alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (HR-CS FAAS) gibi çeşitli analitik teknikler kullanılmaktadır. ICP-AES, metaller için düşük tayin sınırına sahip olmasına rağmen numunede bulunan çeşitli elementlerin analit üzerine spektral girişimi problem olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin kadmiyum, bor ve tungsten, alüminyum tayini üzerinde engelleyici etkilere sahiptir GF-AAS, çeşitli numunelerde eser düzeydeki bazı metallerin seviyelerini belirlemek için başarıyla uygulanmaktadır. Ancak matris etkisi ve refrakter karbür oluşumu gibi bazı dezavantajları söz konusudur (Tria, Butler, Haddad, ve Bowie, 2007). NAA ve ICP-MS iyi bir duyarlılığa sahiptir, ancak bu enstürmanların yüksek maliyeti nedeniyle rutin analizler için FAAS'ler tercih edilmektedir. FAAS'ler içerisinde hat kaynaklı (LS-FAAS) ve yüksek çözünürlüklü sürekli ışın kaynaklı (HR-CS FAAS) teknikler yer almaktadır. LS-FAAS'lerin çoklu element analizine imkan veremeyişi, her element için ayrı bir ışın kaynağı gerektirmesi, matris etkisinin hatalı sonuçlara neden olması, 450 nm'den sonra zemin girişimlerinin sürekli ışın kaynağı ile giderilememesi ve metal tayininde tayin sınırlarının yüksek olması gibi dezavantajları söz konusudur. LS-FAAS'lerin dezavantajlarına alternatif olarak geliştirilen HR-CS FAAS son yıllarda yoğun olarak laboratuvarlarda tercih edilmektedir. HR-CS FAAS ile düşük maliyette analizlerin yapılması, yüksek çözünürlükte monokromatöre sahip olması, tek ışın kaynağı (Ksenon ark) ile çoklu element tayinini mümkün kılması nedeniyle element analizleri için umut verici bir seçenektir. Bu tekniğin en büyük avantajı tüm elementler için yalnızca tek bir lambaya ihtiyaç duyulmasıdır (Welz, 2005).

Literatürdeki çalışmalarda elde edilen balık türlerinin yaş ve kuru ağırlıklarına göre analizleri yapılmıştır. Çalışmamızda ise literatürden farklı olarak kızartma sonucu elde edilen örneklerin analizi gerçekleştirilmiştir. Balıklardaki metal seviyeleri balık türü, büyüklük, yaş, iklim, biyoçeşitlilik, pişirme şekli, biyolojik ve çevresel etki gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değiştiğinden çeşitli araştırmacılar tarafından farklı zamanlarda yapılan analizler önemlidir.

Bu çalışmada, HR-CS FAAS kullanılarak tüketime hazır hale getirilmiş bazı balık türlerinde (alabalık (*Salmo trutta*), uskumru (*Scomber scombrus*), istavrit (*Trachurus trachurus*), küpes (*Boops boops*), sardalya (*Sardina pilchardus*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve palamut (*Sarda sarda*)) kurşun, nikel, kadmiyum, bakır, krom,

çinko, demir, mangan, alüminyum, kalsiyum ve magnezyum düzeylerinin belirlenmesi, elde edilen sonuçların Ulusal ve Uluslararası standartlar ile karşılaştırılması ve insan sağlığı riskinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca dokulardaki Tahmini Haftalık Alım Düzeyi (EWI), Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarları (PTWI), Hedef Tehlike Oranı (THQ) ve Tehlike İndeksi (HI, Toplam THQ) hesaplamaları yapılmıştır. Bu yönleriyle çalışmamız gıda güvenliği, çevre, insan ve toplum sağlığı için önem arz etmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Örneklerin temini

Çalışmada, Şubat 2019'da Samsun'dan getirilen ve Kırşehir'de satılan alabalık (*Salmo trutta*), uskumru (*Scomber scombrus*), istavrit (*Trachurus trachurus*), küpes (*Boops boops*), sardalya (*Sardina pilchardus*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve palamut (*Sarda sarda*) kullanılmıştır. İçi boşaltılmış ve temizlenmiş olarak satın alınan balık örnekleri buz korumalı kaplarla aynı gün içinde laboratuvara getirilmiştir. Örnekler önce musluk suyu ile daha sonra deiyonize su (18,3 MΩ cm, Millipore, Corporation, MA, ABD) ile yıkanmış ve yağda kızartılarak tüketime hazır hale getirilmiştir.

### 2.2. Örneklerin çözünürleştirilmesi

Kızartılmış balık örneklerinin her birinin yumuşak doku (kas) kısımlarından 3'er numune alınmıştır. Numuneler etüvde 50°C de 24 saat bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir. Yöntemin doğruluğunun sınanması için Sertifikalı Referans Madde (SRM IAEA-407 Fish Homogenate, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria) kullanılmıştır. Sabit tartıma getirilmiş kızartılmış balık numunelerinin (1.0 g-1.5 g) ve SRM'nin (2 g) çözünürleştirilmesi mikro dalga fırında basınca ve sıcaklığa dayanıklı vida kapaklı PTFE (politetrafloretilen)'den imal edilmiş 100 mL hacimli kaplarda gerçekleştirildi. PTFE kaplara konulan her bir örneğe 5 mL nitrik asit (%65'lik HNO<sub>3</sub>, (v/v) Merck), 2 mL perklorik asit (%72'lik HClO<sub>4</sub> (v/v), Merck) ve 1 mL hidrojen peroksit (30 %' luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (v/v), Merck) çözeltileri eklendikten sonra 30 dk bekletilmiştir. PTFE kapların sızdırmaz kapakları kapatıldıktan sonra mikro dalga çözünürleştirme işlemlerine tabi tutulmuştur. Çözünürleştirme programı 250 W, 5 dk; 800 W, 10 dk ve 450 W, 5 dk olacak şekilde uygulanmıştır. PTFE kaplar oda sıcaklığına soğutulduktan sonra kapakları çeker ocakta dikkatlice açılmıştır ve elde edilen berrak karışımın (çözünmeyen örneklere tekrar mikrodalga çözünürleştirme işlemi uygulanmıştır) hacmi 0.1 mol L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub> çözeltisi ile 10 mL'ye tamamlanmıştır. Balık örneği içermeyen blank çözeltisinde aynı işlemler uygulanmıştır.

### 2.3. Metal tayinleri

Çalışmada metal tayinleri Analytik Jena ContrAA 300 (GLE, Berlin, Germany) Model HR-CS FAAS ile gerçekleştirilmiştir. HR-CS FAAS cihaz değişkenleri ve cihazın çalışılan elementler için gözlenebilir sınırları sırasıyla [Tablo 1](#) ve [Tablo 2](#)'de verilmiştir.

Tablo 1

HR CS-FAAS cihaz değişkenleri

DD	Pb	Ni	Cd	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg
A	217.0	232.0	228.8	396.15	359.34	324.75	248.32	279.48	213.85	422.67	285.2
B	0	0	0	215	0	0	0	0	0	215	0
C	65	55	50	55	100	55	60	80	60	50	70
D	8	7	6	7	7	6	5	8	8	6	5
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

DD: Değişkenler, A: Dalga boyu, nm, B: N<sub>2</sub>O-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> akış hızı, L/h, C: C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-Hava akış hızı, L/h, D: Alev başlığı yüksekliği, mm, E: Değerlendirme pikselleri, pm

Tablo 2

HR-CS FAAS’de çalışılan elementler için gözlenebilirlik sınırları\* (Analytikjena, 2008).

Element	Pb	Ni	Cd	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
(mg L <sup>-1</sup> )	0.005	0.0012	0.0004	0.022	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001

\* 3σ, 11 tekrar

Çalışma grafiklerini (kalibrasyon grafiği) elde etmek için 1000 mg L<sup>-1</sup> derişime sahip metal stok çözeltilerinden (Merck) belirli hacimlerde alınan örnekler 0.1 mol L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub> ile uygun hacimlere tamamlanmıştır. Çalışılan metaller için elde edilen kalibrasyon değişkenleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3

Kalibrasyon değişkenleri

Metal	Kalibrasyon eşitliği (mg L <sup>-1</sup> )	Korelasyon katsayısı (R <sup>2</sup> )	Linier aralık (mg L <sup>-1</sup> )
Pb	y = 0.03692x + 0.0057	0.9972	0.02-2.0
Ni	y = 0.05115x + 0.00112	0.9985	0.02-2.0
Cd	y=0.014343x+0.000658	0.9997	0.02-2.0
Al	y = 0.00197x + 0.00039	0.9998	0.2-10.0
Cr	y = 0.03251x + 0.00038	0.9981	0.04-2.0
Cu	y = 0.12318x + 0.03087	0.9975	0.02-2.0
Fe	y = 0.0614x + 0.0084	0.9974	0.1-5.0
Mn	y = 0.09265x - 0.0255	0.9961	0.2-2.5
Zn	y = 0.22090x + 0.00021	0.991	0.1-1.0
Ca	y = 0.0942+0.0076	0.9999	0.2-5.0
Mg	y = 0.3922x + 0.1635	0.9972	0.2-4.0

#### 2.4. Risk değerlendirmeleri

Balık tüketiminden kaynaklı olası tüketici risklerini belirlemek için EWI, THQ ve HI hesaplamaları yapılmıştır. Vücut ağırlığı 70 kg, yaşam süresi ise 60 yıl (EPA, 2011), olarak kabul edilmiştir. Yetişkin bir kişi için elde edilen EWI değerleri, dokulardaki maksimum birikim değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Tüketici risk değerlendirmeleri kapsamında EWI (Denklem 2.1), THQ (Denklem 2.2) ve HI (Denklem 2.3) hesaplamaları EPA (2019)’a göre yapılmıştır.

$$EWI = \frac{M_c \times IR}{BW} \quad (2.1)$$

M<sub>c</sub> : Balık dokularındaki metal düzeyi (µg g<sup>-1</sup>),

IR : Tüketim oranı (g gün<sup>-1</sup>),

BW : Tüketicinin vücut ağırlığı (kg).



Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) verilerine göre Türkiye'deki su ürünleri tüketimi (IR) 18.6 g/kişi/gün'dür (TUİK, 2019).

THQ vücuda alınan metallerin düzeylerinin kanserojen olmayan etki risklerini de ifade etmektedir. Metallerin referans dozu (RfD) değerleri [Tablo 4' de](#) verilmiştir. THQ hesaplamalarında kullanılan parametreler [Tablo 5' de](#) verilmiştir.

$$THQ = \frac{(EF \times ED \times IR \times M_c)}{(RfD \times BW \times AT)} \times (10^{-3}) \quad (2.2)$$

EF : Maruz kalma sıklığı (gün/yıl),

ED : Maruz kalma süresi (yıl),

AT : Ortalama maruz kalma süresi (gün, 365x ED).

Toplam THQ (TTHQ) ya da HI olarak ifade edilen değer, araştırılan tüm elementlerin toplam THQ değerleri ile hesaplanır. TTHQ'nun 1'den büyük olması tüketici açısından kanserojen olmayan sağlık risklerinin olduğunu göstergesidir ([EPA, 2019](#)).

$$\sum THQ(HI) = (THQ_1 + THQ_2 + \dots + THQ_n) \quad (2.3)$$

Tablo 4

Metallerin referans dozu (RfD) değerleri ([EPA 2011, 2016](#))

Metal	RfD (mg/kg/gün)
Pb	0.004
Ni	0.02
Cd	0.001
Al	1.00
Cr	1.5
Cu	0.04
Fe	0.7
Mn	0.14
Zn	0.3

Tablo 5

THQ hesaplanmasında kullanılan parametreler ([EPA 2006, 2011](#))

Faktör/parametre	Sembol	Birimler	Yetişkinler için alınan değerler
Maruziyet süresi	ED	Yıl	30
Maruz kalma sıklığı	EF	Gün/Yıl	365
Ortalama maruz kalma süresi	AT (ED × 365)	Gün	10950
Vücut ağırlığı	BW	kg	70.0
Balık tüketim oranı	IR	g/gün	18.6

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yöntemin doğruluğu, Sertifikalı Referans Maddeye (SRM IAEA-407 Fish Homogenate) aynı analiz aşamalarının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarla sınıanmıştır. Sertifikalı değerler ile elde edilen sonuçlar arasında bağıl hata %5'den daha az olarak belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6

Sertifikalı referans madde analizi (IAEA-407 Trace Elements in Fish Tissue)

Element	Bulunan*( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Sertifika değeri*( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Bağıl hata (%)
Pb	0.125±0.08	0.12±0.06	4.17
Ni	0.624±0.14	0.60±0.18	4.00
Cd	0.195±0.02	0.189±0.019	3.17
Al	13.2±3.5	13.8±3.7	-4.35
Cr	0.76±0.14	0.73±0.22	4.11
Cu	3.42±0.5	3.28±0.40	4.27
Fe	149±9.2	146±14	2.05
Mn	3.35±0.28	3.52±0.32	-4.83
Zn	65.1±4.3	67.1±3.8	-2.98

\*x ±SS (üç ölçümün ortalaması±Standart Sapma)

Çalışmada balık örneklerindeki metal düzeyleri, kurşun için 0.26-0.43  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; nikel için 0.15-0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; kadmiyum için 0.03-0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; alüminyum için 1.3-5.2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; krom 0.34-2.79  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; bakır için 1.08-3.33  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; demir için 3.64-14.95  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; mangan için 2.03-3.54  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; çinko için 4.13-20.72  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; kalsiyum için 0.25-1.37  $\text{mg g}^{-1}$  ve magnezyum için 0.27-0.71  $\text{mg g}^{-1}$  aralıklarında bulunmuştur (Tablo 7).

Canlılar için kurşun, nikel, kadmiyum, krom ve alüminyum toksik metaller içerisinde değerlendirilmektedir (Nabrzyski, 2002). Bu doğrultuda tayin ettiğimiz toksik metallere kurşun içeriği en yüksek palamutta (0.43  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve alabalıkta (0.42  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), en düşüğü ise hamside (0.26  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Kurşun esas olarak kemiklerde depolanan, böylece besin zinciri yoluyla bulaşma riski daha az olan bir metaldir (Lee vd., 2019). Bundan dolayı suda yaşayan organizmalarda, alglerde ve çift kabuklular veya yengeçler gibi bentik organizmalarda daha yüksek kurşun seviyeleri bulunurken, balıklar gibi üst trofik seviyedeki organizmalarda daha düşük seviyeler bulunur (Lee vd., 2019). Kurşuna maruz kalma, nörotoksik etkilere, eklem zayıflığına, hızlanmış iskelet olgunlaşmasına, artmış kan basıncına, anemiye, böbrek fonksiyonunda bozulmaya, hormon seviyelerinde değişikliklere ve immünoglobulin E (IgE) 'de bir yükselişe dolayısıyla da alerjik hastalıklarda bir artışa neden olabilir (EPA, 2014). Bu nedenle, Kurşun, zehirli ve zararlı maddeler listesine dahil edilmiştir ve halk sağlığını en çok ilgilendiren on kimyasaldan biri olarak tanımlanmıştır (WHO, 2011).

Literatürde yapılan çalışmalarda, balık türlerindeki kurşun içeriği Karadeniz'de 0.28–0.64  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Mendil, Demirci, Tuzen ve Soylak, 2010), İskenderun Körfezi'nde 0.068–0.874  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Yılmaz, Ozdemir, Demirak ve Tuna, 2007) ve Keban, Atatürk ve Karakaya barajından temin edilen balıklarda ise 0.018 ve 0.112  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Varol ve Sünbül, 2020) aralığında bulunmuştur. Türk Gıda Kodeksine (TGK) ve Dünya Sağlık Örgütüne (WHO) göre deniz balıkları için izin verilen maksimum kurşun seviyesi 0.3  $\mu\text{g g}^{-1}$  dır (WHO, 2004, 2019; TGK, 2011). Genel olarak, analiz edilen balık örneklerindeki kurşun seviyelerinin TGK'nın ve WHO'nun belirlediği üst limitlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 7  
Balık türlerindeki ortalama metal düzeyleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$  kuru ağırlık)

Balık Türü	Pb	Ni	Cd	Al	Cr	
Alabalık	0.42±0.02	0.20±0.01	0.03±0.002	2.3±0.12	0.53±0.02	
Uskumru	0.33±0.02	0.25±0.02	0.10±0.004	5.2±0.26	0.55±0.03	
İstavrit	0.38±0.01	0.18±0.01	0.06±0.003	3.3±0.17	1.93±0.1	
Küpes	0.39±0.02	0.23±0.01	0.05±0.002	2.5±0.13	0.34±0.01	
Sardalya	0.32±0.02	0.22±0.01	0.08±0.004	2.6±0.17	2.79±0.11	
Hamsi	0.26±0.01	0.15±0.01	0.25±0.01	1.3±0.05	1.13±0.06	
Palamut	0.43±0.02	0.26±0.02	0.15±0.01	3.7±0.19	0.8±0.04	
Balık Türü	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg
Alabalık	2.20±0.11	4.42±0.22	3.54±0.22	8.41±0.54	460.1±18.4	265.4±13.2
Uskumru	3.30±0.2	10.47±0.64	2.17±0.52	5.97±0.32	794.5±39.7	387.6±19.3
İstavrit	2.25±0.13	3.64±0.24	2.03±0.18	4.13±0.24	590.9±29.5	346.1±20.7
Küpes	1.26±0.06	6.22±0.31	2.15±0.10	8.81±0.44	1325.9±79.5	429.6±21.4
Sardalya	3.33±0.17	10.53±0.53	2.92±0.17	12.74±1.01	1075.2±53.7	402.6±18.1
Hamsi	1.08±0.05	14.95±0.84	3.51±0.08	20.72±1.51	1373.8±54.9	707.2±28.2
Palamut	2.63±0.18	5.17±0.21	1.99±0.06	4.50±0.23	254.9±12.7	377.4±18.8

x ±SS (üç ölçümün ortalaması±Standart Sapma)

Analiz edilen nikel düzeyleri 0.15-0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek seviye palamutta (0.26  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve uskumruda (0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en düşük seviye ise istavritte (0.18  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve hamside (0.15  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. Nikel vücut tarafından genellikle iki değerlikli nikel iyonu olarak emilir ve beyin de dahil olmak üzere çeşitli organlara dağılarak nörotoksositeye neden olur. Nikel, insan lenfositleri üzerinde sitotoksiktir ve artmış ROS (Reaktif oksijen türleri) oluşumu, mitokondriyal membran potansiyel çökmesi, glutatyon tükenmesi, lizozomal membran hasarı, hücrel proteoliz ve kaspaz-3 aktivasyonu ile ilişkilidir (Nabrzyski, 2002).

Literatürde yapılan çalışmalarda balık örneklerindeki nikel seviyeleri, Kastamonu kıyılarındaki balık türlerinde 2.21-4.89  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Sönmez, Kadak, Özdemir ve Bilen, 2016), Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarında 0.02-3.97  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen, Türkmen, Tepe, Ates ve Gökkuş, 2008), Dicle Nehrindeki balık türlerinde 0.66-0.79  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Varol, Kaçar ve Akın, 2020), Doğu Karadeniz sahillerindeki balık pazarından satın alınan balık türlerinin kas dokusunda 1.07-24.0  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen ve Ögütçü 2020) ve Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarındaki balık örneklerinde ise 0.006-7.10  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Korkmaz vd., 2019) aralığında bulunmuştur. WHO günlük nikel alımını 100-300  $\mu\text{g}$  (WHO, 2004) aralığında sınırlandırmıştır. Ortalama 100'g lık bir porsiyon düşünüldüğünde çalıştığımız balıkların tüketilmesi durumunda alınacak maksimum nikel miktarının (25  $\mu\text{g}$ ) bu sınır değerinin altında olacağı tespit edilmiştir.

Balık türlerindeki kadmiyum düzeyleri 0.03-0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında belirlenmiştir. Balıklar içerisinde en yüksek seviye hamside (0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), palamutta (0.15  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve uskumruda (0.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en düşük seviye ise alabalıkta (0.03  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. Yüksek miktarda kadmiyum alımı, kalsiyum metabolizmasında bozukluklara,

böbrek taşlarının oluşumuna, kronik böbrek yetmezliğine, proteinüriye, renal tübüler disfonksiyona, akciğer fibrozisine ve aortik/koroner ateroskleroza neden olabilmektedir (Faroon vd., 2012).

Kuzeydoğu Akdeniz ve İskenderun Körfezi'ndeki balık örneklerinde kadmiyum seviyeleri 0.01–4.16  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen, Türkmen, Tepe, ve Akyurt, 2005), Marmara, Ege ve Akdeniz'deki balık türlerinde ise 0.02–0.37  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında tespit edilmiştir (Türkmen vd., 2008). İskenderun Körfezi'nde yapılan başka bir çalışmada ise kadmiyum düzeyleri 0.01–0.08  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında bulunmuştur (Yılmaz vd., 2007). Balık örnekleri için izin verilen maksimum kadmiyum seviyesi TGK'ya göre 0.1  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Gıda ve Tarım Örgütünde (FAO) ise farklı balık türleri için 0.05-0.25  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığındadır (TGK, 2011; FAO, 2003). Analiz edilen balıklardan kadmiyum düzeyi hamsi ve palamutta TGK'da izin verilen seviyenin üzerinde bulunurken diğer balıklarda bu sınırların altında bulunmuştur.

Toksik metallere bir diğeri olan alüminyum, en yüksek seviye olarak uskumruda (5.2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en düşük seviye ise hamside (1.3  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Alüminyum vücut için elzem olmayan bir metaldir. Akut ve kronik alüminyuma maruz kalınması ensefalopati, diyaliz demansı, alzheimer ve parkinson hastalığı dahil olmak üzere birçok olumsuz sağlık etkisine sahiptir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda alüminyum düzeyleri; İskenderun Körfezi'ndeki balık türlerinde 0.02–5.41  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen vd., 2005), Karadeniz'den yakalanan balık türlerinde 0.28-1.02  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Çulha, Yabanlı, Baki ve Yozukmaz, 2016) ve İran'ın Basra Körfezi kıyılarındaki balık türlerinde 0.25-3.89  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Pilehvarian, Malekirad, Bolandnazar ve Rezaei, 2015) belirlenmiştir. Alüminyumun gıdalarda Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarları (PTWI) FAO ile WHO'nun değerlendirmesine göre, 2  $\mu\text{g g}^{-1}$  vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir (FAO/WHO 2011). Analiz edilen balık örneklerindeki alüminyum düzeyleri kıyaslandığında bu çalışmada elde edilen EWI değerlerinin PTWI değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Krom mesleki ve çevresel kirlenici olarak kabul edilmektedir, kanserojen toksisiteye neden olan kesin krom mekanizmaları üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Hu vd., 2017). Serbest radikallerin ve ROS'un oluşumu ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Çalışmamızda; krom düzeyleri 0.34-2.79  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek sardalyada (2.79  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve istavritte (1.93  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenirken, en düşük krom düzeyi ise küpeste (0.34  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) bulunmuştur. Farklı değerlikte bulunabilen krom türleri elzem ve toksisite bakımından farklıdır. Cr (VI) türünün Cr (III) türüne göre daha toksik olduğu yapılan çalışmalarda raporlanmıştır. Cr (III) ise lipid metabolizması ve insülin fonksiyonunda aktif rol oynayan türdür. Bu nedenle türlendirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Marmara, Ege ve Akdeniz'den elde edilen balık türlerindeki metal düzeyleri ICP-AES ile belirlenmiş ve balık türlerinin yenilebilir kısmındaki krom seviyesi 0.04-1.75  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında belirlenmiştir (Türkmen vd., 2008). Dicle Nehri balık türlerinde yapılan analizlerde krom seviyesi 0.056-0.081  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Varol vd., 2020) ve Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarındaki balık türlerinde ise 2.15-7.10  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında belirlenmiştir (Korkmaz vd., 2019). Karadeniz ve Akdeniz'deki balık türleri üzerinde yapılan başka bir çalışmada krom düzeyi, 1.28–1.46  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında tespit edilmiştir (Turan, Dural, Oksuz ve Oztürk, 2009). TGK ve WHO'da balık örneklerinde maksimum krom seviyeleri hakkında bilgi bulunmadığından kıyaslama MHPRC (Ministry of Health of the People's Republic of China) Ulusal Gıda Güvenliği Standardına (MHRPC, 2013) göre belirlenen su ürünlerinde müsaade edilen krom düzeyine (2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) göre yapılmıştır. Tüm balık türlerinde bulunan düzeyler MHPRC standardına göre belirlenen limitin altında bulunmuştur.

Birçok metaloprotein yapılarında bulunan bakır, mangan, demir ve çinko; enzimlerin aktif olmasından vücut savunma sistemine kadar çeşitli süreçlerde önemli rol almaktadır.

Bakır, hemoglobin sentezinde ve çeşitli enzimlerde bulunması nedeniyle önemli bir metaldir. Çalışmamızda bakır seviyeleri 1.08-3.33  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişmekte ve balıklar içerisinde en yüksek seviye sardalyada (3.33  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve uskumruda (3.30  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en düşüğü ise küpeste (1.26  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve hamside (1.08  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. Çeşitli kaynaklardan temin edilen balık türlerindeki bakır seviyeleri, Marmara Denizi'nde 0.23-9.49  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Keskin vd., 2007), Ege Denizi ve Akdeniz'de 0.51-7.05  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen vd., 2008) ve

İskenderun Körfezi'nde 0.74–2.24  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen, Türkmen, Tepe, Mazlum ve Oymael, 2006) bulunmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda, Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarında 0.006–0.74  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Korkmaz vd., 2019), Akdeniz kıyılarında temin edilen balık türünde 0.54–1.23  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Ucar, 2020), Mersin Körfezi'ndeki balık türlerinde 0.77–9.20  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Karayakar, Baybek ve Cicik, 2017) ve Dicle Nehri'ndeki balık türlerinde ise 2.20–2.31  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Varol vd., 2020) bulunmuştur. Balıklar için izin verilen maksimum bakır düzeyi TGK'ya göre 20  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve FAO'ya göre 30  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (TGK, 2002; FAO, 1983). Elde ettiğimiz maksimum bakır düzeyleri literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak TGK ve FAO standartlarında müsaade edilen değerlerin altındadır.

Mangan, insan fizyolojisinde çok önemli bir yere sahiptir, çeşitli enzimlerin kofaktörüdür ve biyolojik sistemlerde bir eksiklik meydana geldiğinde, ciddi iskelet ve üreme anomalilerine neden olur. İnsanlarda Mn toksisitesi nadirdir. Bununla birlikte yüksek konsantrasyonlarda tehlikeli hale gelebilir. Çalışmamızda, mangan düzeyleri 1.99–3.54  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek mangan düzeyleri alabalıkta (3.54  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve hamside (3.51  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. En düşük mangan değeri ise istavritte (2.03  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve palamutta (1.99  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. Karadeniz'den temin edilen balık türlerindeki mangan düzeylerini 2.76–9.10  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında bulmuştur (Tuzen, 2009). Ege ve Akdeniz'den elde edilen balık türlerindeki mangan düzeyleri ise 0.10–0.99  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında tespit edilmiştir (Türkmen vd., 2008). Hazar denizi kıyı sularından yakalanan balık türlerinde mangan düzeylerinin 0.09–9.23  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında olduğu rapor edilmiştir (Anan, Kunito, Tanabe, Mitrofanov ve Aubrey, 2005). Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarından temin edilen türlerde 0.002–0.39  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Korkmaz, Ay, Ersoysal, Köroğlu ve Erdem, 2019), Akdeniz'den yakalanan balık türlerinde 0.08–3.88  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Korkmaz, Ay, Çolakfakioğlu, Cicik ve Erdem, 2017) ve Dicle Nehri balık türlerinde ise 0.856–1.146  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Varol vd., 2020) tespit edilmiştir. Türk standartlarında balık dokularında izin verilen maksimum mangan düzeylerine ilişkin herhangi bir kayıt bulunmamakla birlikte WHO'ya göre maksimum mangan düzeyi 1 mg  $\text{g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (WHO, 2004). Tayin ettiğimiz mangan düzeyleri literatürde verilen Karadeniz, Ege ve Hazar denizlerinden temin edilen balık türlerindeki düzeylerle uyumlu olduğu ve WHO'nun belirlediği sınır değerinin altında olduğu bulunmuştur.

Hayvansal gıdaların ana kaynak olduğu demir, insan sağlığı açısından gerekli bir metaldir ve eksikliği anemiye neden olur. Ancak, karaciğer ve dokularda aşırı birikiminin ciddi etkilere neden olacağı bildirilmektedir (Ashraf, Seddigi, Abulkıbash ve Khalide, 2006). Çalışmamızda demir seviyeleri 3.64–14.95  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek konsantrasyon hamside (14.95  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en düşüğü ise istavritte (3.64  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda balık örneklerindeki demir seviyeleri, Kuzeydoğu Akdeniz Yelkoma Lagünü'ndeki balık kaslarında 28.9–52.3  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında (Türkmen, Türkmen, Tepe ve Çekiç, 2010), Karadeniz ve Ege Deniz'lerinden temin edilen balıkların kaslarında 68.6–163  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Uluozlu, Tuzen, Mendil, Soyak, 2007), Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz den temin edilen balık türlerinde 5.15–135.00  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Ateş ve Türkmen, 2015), Orta ve Batı Karadeniz'deki balıkların kaslarında 2.09–54.1  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Türkmen ve Dura, 2016), Karadeniz kıyılarındaki balıklarda ise 30–160  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Topcuoğlu vd., 2002) bulunmuştur. Balıklar için TGK'da ve WHO'da izin verilen maksimum demir düzeyleri sırasıyla 50  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlemiştir (TGK, 2002; WHO, 2004). Çalışmamızda bulunan demir düzeyleri hem ulusal ve uluslararası standartlarda verilen hem de literatürde yayınlanan değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

İnsan sağlığı açısından önemli olan bir diğer metal ise çinkodur. Çinko hem hayvanlar hem de insanlar için önemli bir eser elementtir. Vücutta karbondioksit nakli ve A vitamininin kullanılması içinde gereklidir (EPA, 2014). Çinko eksikliği, gecikmiş büyüme, tat kaybına ve doğurganlığın azalmasına neden olur İnsanlardaki çinko eksikliğinin en önemli sebebi beslenmede, minerallerce zengin olan hayvansal kaynaklı gıdalara yeterince yer verilmemesidir. Analiz sonuçlarımıza göre çinko konsantrasyonları 4.13–20.72  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek çinko seviyesi, Hamside (20.72  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. En düşük çinko seviyesi ise palamutta (4.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve istavritte (4.13  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) tayin edilmiştir. Orta Karadeniz kıyılarından temin edilen balıkların kas dokularında çinko seviyeleri, 9.5–22.9  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Topcuoğlu, Kırbasoğlu,



ve Güngör, 2002), Batı Karadeniz kıyılarında yakalanan balıkların kas dokularında ise 5.45-9.89  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Sönmez vd., 2016) ve Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarındaki örneklerde 3.83-55.05  $\mu\text{g g}^{-1}$  aralığında (Korkmaz vd., 2019) belirlenmiştir. Balıklar için TGK'da ve WHO'da izin verilen maksimum çinko düzeyleri sırasıyla 50  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak düzenlenmiştir (TGK, 2002; WHO, 2004). Balıklarda belirlediğimiz çinko düzeyleri literatürde yapılan çalışmalarla uyumludur. Bulunan en yüksek çinko seviyeleri TGK ve WHO tarafından belirlenen en yüksek sınır değerlerinden daha düşüktür.

Tablo 8

Elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması

Element	Bu çalışma ( $\mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık)	Literatürdeki Çalışmalar ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Kaynak
Pb	0.26-0.43	0.068-0.874	Yılmaz vd., 2007 <sup>a</sup>
		0.28-0.64	Mendil vd., 2010 <sup>b</sup>
		0.018-0.112	Varol ve Sünbül 2020 <sup>a</sup>
		0.02-3.97	Türkmen vd., 2008 <sup>a</sup>
Ni	0.15-0.26	2.21-4.89	Sönmez vd., 2016 <sup>a</sup>
		0.006- 0.50	Korkmaz vd., 2019 <sup>a</sup>
		0.657-0.795	Varol vd., 2020 <sup>a</sup>
		0.02-0.37	Türkmen vd., 2005 <sup>b</sup>
Cd	0.03-0.25	0.01-0.084	Yılmaz vd., 2007 <sup>a</sup>
		0.03- 0.20	Ersoy ve Çelik 2010 <sup>a</sup>
		0.02-5.41	Türkmen vd., 2005 <sup>b</sup>
Al	1.3-5.2	0.25-3.89	Pilehvarian vd., 2015 <sup>b</sup>
		0.28-1.02	Çulha vd., 2016 <sup>a</sup>
		0.04-1.75	Türkmen vd., 2008 <sup>b</sup>
		1.28-1.46	Turan vd., 2009 <sup>b</sup>
Cr	0.34-2.79	0.03-2.08	Ateş vd., 2015 <sup>a</sup>
		2.15-7.10	Korkmaz vd., 2019 <sup>a</sup>
		0.056-0.081	Varol vd., 2020 <sup>a</sup>
		0.74-2.24	Türkmen vd., 2006 <sup>b</sup>
Cu	1.08-3.33	0.23-9.49	Keskin vd., 2007 <sup>a</sup>
		0.77-9.20	Karayakar vd., 2017 <sup>b</sup>
		2.20-2.31	Varol vd., 2020 <sup>a</sup>
		0.006- 0.74	Korkmaz vd., 2019 <sup>a</sup>
Fe	3.64-14.95	5.15-135.0	Ateş vd., 2015 <sup>a</sup>
		30-160	Topcuoğlu vd., 2002 <sup>b</sup>
		68.6-163	Uluozlu vd., 2007 <sup>b</sup>
		0.09-9.23	Anan vd., 2005 <sup>b</sup>
Mn	2.03-3.54	2.76-9.10	Tuzen vd., 2009 <sup>a</sup>
		0.08-3.88	Korkmaz vd., 2017 <sup>a</sup>
		0.002- 0.39	Korkmaz vd., 2019
		0.856-1.146	Varol vd., 2020 <sup>a</sup>
Zn	4.13-20.72	9.5-22.9	Topcuoğlu, Kırbasoğlu ve Güngör 2002 <sup>b</sup>
		5.45-9.89	Sönmez vd., 2016 <sup>a</sup>
Ca	254.9-1373.8	3.83-55.05	Korkmaz vd., 2019 <sup>a</sup>
		417-2003	Varol ve Sünbül, 2020 <sup>a</sup>
Mg	265.4-707.2	292-312	Varol ve Sünbül, 2020 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> yaş ağırlık, <sup>b</sup> kuru ağırlık

Magnezyum ve kalsiyumun birçok biyolojik proseste önemli minerallerden (makro element) olduğu bildirilmektedir. Kalsiyum, vücutta en çok bulunan ve mutlaka alınması gerekli olan bir elementtir. Ayrıca birçok enzim sisteminde düzenleyici rol oynar. Magnezyum ise, sinir iletimi, kas kontraksiyonu ve 300'den fazla enzimatik reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan bir makro elementtir (Ivy ve Portman, 2004). Sonuçlarımıza göre magnezyum düzeyleri 0.27-0.71 mg g<sup>-1</sup> arasında değişen balıklar içerisinde en yüksek magnezyum hamside (0.71 mg g<sup>-1</sup>) ve en düşük magnezyum değeri ise alabalıkta (0.27 mg g<sup>-1</sup>) tespit edilmiştir. Kalsiyum düzeylerinin 0.25-1.37 mg g<sup>-1</sup> arasında değişen balıklar arasında en yüksek kalsiyum seviyesi hamside (1.37 mg g<sup>-1</sup>) ve küpeste (1.32 mg g<sup>-1</sup>), en düşük değer ise palamutta (0.25 mg g<sup>-1</sup>) bulunmuştur. Analiz edilen balık örneklerinde bulunan metal düzeylerinin literatürde yapılan diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir.

Balık tüketiminden kaynaklı olası sağlık risklerinin değerlendirilmesi amacıyla EWI ve THQ hesaplamaları yapılarak sırayla Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir. Hesaplanan EWI değerleri, PTWI değerleri ile karşılaştırılmıştır. Analizi yapılan balıklardaki element düzeyleri bu limitlerin altında olduğu ve balık tüketiminde çalışılan metaller açısından herhangi bir risk oluşturmayacağı belirlenmiştir. Tüketicilerin metal kirleticilerine maruz kalması durumunda olası sağlık risklerinin belirlenmesi için THQ ve HI değerleri önemli bir parametredir. Bu değerlerin 1'den büyük olması; metal tüketiminin tüketici sağlığı açısından risk teşkil ettiğini ortaya koymaktadır (EPA, 2019). Balık dokularında ölçülen tüm metallere ait THQ ve HI değerlerinin, tehlikeli eşik (<1) altında olduğu belirlenmiştir.

Proteinler, vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri, eser ve makro elementler gibi temel besin içerikleri nedeniyle deniz ürünlerinin tüketimi insan sağlığına birçok fayda sağlar. Balıklar toplam hayvansal proteinin %17'sini ve insanlar tarafından tüketilen toplam proteinin %6'sını içerir (Pieniak vd., 2010). Balık tüketimi kardiyovasküler hastalıklar, psikolojik bozukluklar, romatoid artrit ve kanser gibi kronik hastalıkları azaltırken, çocuklarda normal nöron gelişimine de katkıda bulunur. Bunların yanında su ve deniz ürünlerinin kirletici maddelere maruz kalmasıyla tüketicilerde kronik sistemik etkiler geliştirme riski söz konusu olduğundan bu konular üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır (Giuseppe vd., 2014). Su ve deniz kirliliğinde ağır metaller, çevre kirliliğinin başlıca nedenleri arasındadır. Sucul ortam canlılarında ağır metaller, düşük miktarlarda olsa da birikebilir ve toksik etkilere neden olan seviyelere ulaşabilir. Balıklardaki metal seviyeleri balık türü, büyüklük, yaş, iklim, biyoçeşitlilik, pişirme şekli, biyolojik ve çevresel etki gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle tüketilecek balık örneklerinin ulusal ve uluslararası standartlara göre sonuçların uyumlu olup olmadığı düzenli araştırılmalıdır.

Tablo 9

Balık türlerinde tahmini haftalık metal alım miktarları

Metal	PTWI <sub>k</sub>	Kaynak	PTWI	EWI
Pb	25	FAO/WHO, 2004	1750	55.9
Ni	35	WHO, 2014	2450	32.5
Cd	7	WHO, 2014	490	32.5
Al	28.6	FAO/WHO, 2011	2000	676
Cr	23.3	FAO/WHO, 2004	1631	362,7
Cu	3 500	FAO/WHO, 2004	245 000	432.9
Fe	5 600	FAO/WHO, 2004	392 000	18 850
Mn	980	EPA, 2014	68 600	1183
Zn	7 000	FAO/WHO 2004	490 000	2693.6

PTWI<sub>k</sub>, Geçici Tolere edilebilir haftalık alım (µg/hafta/kg vücut ağırlığı), PTWI, Geçici Tolere edilebilir haftalık alım (µg/hafta/70 kg vücut ağırlığı), EWI, Tahmini haftalık alım miktarı (µg/hafta/70 kg vücut ağırlığı)

Tablo 10

Balık dokularında tayin edilen metaller için Hedef Tehlike Oranı (THQ)

	Tüketim sıklığı (gün/hafta)	Pb	Ni	Cd	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
THQ	5	0.0034	0.0004	0.008	0.0002	0.0297	0.003	0.0007	0.0008	0.0022
	3	0.0020	0.0002	0.005	0.0001	0.0178	0.002	0.0004	0.0004	0.0013
	1	0.0000	0.0000	0.002	0.0000	0.0059	0.000	0.0001	0.0000	0.0004

#### 4. Sonuçlar

Çalışmamızda Orta Karadeniz'den temin edilen yedi farklı balık türünde toksik ve esansiyel metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Uskumru dışındaki balık türlerinde kurşun seviyeleri TGK verilerine göre yüksek bulunurken, WHO'ya göre tüm balık türlerinde kurşun düzeyleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmuştur. Nikel, seviyeleri TGK ve WHO standartlarına göre müsaade edilen limitlere uygun olduğu belirlenmiştir. Kadmium düzeyi hamsi ve palamutta TGK ve WHO verilerine göre izin verilen seviyenin üzerinde bulunurken diğer balıklarda müsaade edilen üst sınırların altında bulunmuştur. Tüm balık türlerinde bulunan krom düzeyleri MHPRC standardına göre belirlenen limitin altında bulunmuştur. Alüminyum düzeylerinin, FAO ile WHO'nun gıdalarda geçici tolere edilebilen haftalık alım düzeyi verilerinin altında olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bakır düzeyleri literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak TGK standartlarından düşük bulunmuştur. Mangan düzeylerinin WHO'nun belirlediği sınır değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda bulunan demir düzeyleri hem ulusal ve uluslararası standartlarda verilen hem de literatürdeki değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çinko seviyelerinin TGK ve WHO tarafından belirlenen en yüksek sınır değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Çalışılan metaller için EWİ değerlerinin PTWI değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir THQ ve HI değerlerinin 1'den küçük olarak tespit edilmeleri, çalışmamızda analiz edilen balık türlerinin tüketilmesi halinde tüketici açısından kanser harici sağlık problemlerinin ortaya çıkma olasılığının düşük olacağı kararına varılmıştır. Çalışılan balık türlerinin düzenli olarak tüketilmesiyle (haftada en az 1 ve en fazla 5 güne kadar) vücudumuz için gerekli olan bakır, çinko, demir, mangan magnezyum ve kalsiyum düzeylerine katkı sağlanacaktır. Ayrıca çeşitli balık türlerinde mevsimsel ve periyodik olarak araştırmaların sürdürülmesinin gıda güvenliği ve halk sağlığı açısından önemli olacağını öngörmekteyiz.

#### Teşekkür

Çalışılan balık örneklerini tedarik eden Prof. Dr. Ergin Kariptaş'a teşekkür ederiz.

#### Yazar Katkıları

Harun Çiftçi: Çalışmayı planlamış ve çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve çalışmanın makale haline getirilmesine katkı sağlamıştır.

Çiğdem Er Çalışkan: Çalışmadaki analizlerin gerçekleştirilmesinde ve çalışmanın makale haline getirilmesinde katkı sağlamıştır.

Kübra Öztürk: Çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve çalışmanın makale haline getirilmesine katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

## Kaynaklar

- Analytik Jena AG. (2008). Detection Limits contrAA, Kundendienst, Konrad-Zuse-Str. 1 Jena, pp. 1/1.
- Anan, Y., Kunito, T., Tanabe, S., Mitrofanov I. ve Aubrey DG. (2005). Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 51(8-12), 882-8. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.038>
- Ashraf, W., Seddigi, Z., Abulkibash, A. ve Khalid, M. (2006). Levels of selected metals in canned fish consumed in Kingdom of Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1-3), 271-279. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-0989-5>
- Ateş, M. ve Türkmen, Y. (2015). Assessment of heavy metals in fourteen marine fish species of four Turkish seas. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 44 (1), 49-55. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-0989-5>
- Çulha, S.T., Yabanlı, M., Baki, B. ve Yozukmaz, A. (2016). Heavy metals in tissues of scorpionfish (*Scorpaena porcus*) caught from Black Sea (Turkey) and potential risks to human health. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(20), 20882-20892. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7337-2>
- EPA, U.S. (1989). Assessing Human health risks from chemically contaminated fish and shellfish: A Guidance Manual. EPA503/8-89-002. United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Research and Development, Washington. Erişim adresi: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000DGLF.PDF?Dockey=2000DGLF.PDF>
- EPA, U.S. (2006). Guidelines for carcinogenic risk assessment. EPA/630/P-03/001F, Risk Assessment Forum, Washington, DC. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- EPA, U.S. (2011). Regional Screening Level (RSL) Summary Table: June 2011. Erişim adresi: [https://epa-prgs.ornl.gov/chemicals/download/master\\_sl\\_table\\_run\\_JUN2011.pdf](https://epa-prgs.ornl.gov/chemicals/download/master_sl_table_run_JUN2011.pdf)
- EPA, U.S. (2011). Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. EPA 823-B00-008. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-11/documents/guidance-assess-chemical-contaminant-vol2-third-edition.pdf>
- EPA, U.S. (2014). EPA Manganese compounds. Erişim adresi: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/manganese.html>
- EPA, U.S. (2016). Integrated Risk Information System. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/iris/>
- EPA, U.S. (2019). Regional screening levels (RSLs) equations. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/risk/regional-screeninglevels-rsls-equations>
- Ersoy, B. ve Çelik, M. (2010). The essential and toxic elements in tissues of six commercial demersal fish from Eastern Mediterranean Sea. *Food and chemical toxicology*, 48(5), 1377-1382. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.03.004>
- FAO/WHO, (2004). Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA 1956–2003), (First through sixtyfirst meetings). ILSI Press International Life Sciences Institute.
- FAO. (2003). Heavy Metal Regulations Faolex. Legal Notice. No 66/2003. Erişim adresi: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/eri42405.pdf>
- FAO. (1983). Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. FAO Fishery Circular No. 464 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Erişim adresi: <http://www.fao.org/docrep/014/q5114e/q5114e.pdf>
- FAO/WHO. (2019). Codex Alimentarius Commission, General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. CODEX STAN 193-1995. Erişim adresi: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/>
- FAO/WHO. (2011). World Health Organization, Technical Report Series 966, Geneva: 2011. Seventy-fourth Report of the Joint Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants. Erişim adresi: <http://www.fao.org/3/a-at873e.pdf>
- FAO/WHO. (2014). Fisheries and Aquaculture, Turkey. FAO of the United Nations. Erişim adresi: [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_turkey](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_turkey)
- Faroon O., Ashizawa A., Wright S, Tucker P., Jenkins K., ve Ingerman L. Rudisill C. (2012). Toxicological profile for cadmium. *Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, 246-258. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158838/>
- Di Giuseppe, D., Crippa, A., Orsini, N., Wolk, A. (2014). Fish consumption and risk of rheumatoid arthritis: a dose-response meta-analysis. *Arthritis research & therapy*, 16(5), 446. <https://doi.org/10.1186/s13075-014-0446-8>

- Ivy, J. ve Portman, R. (2004). *Nutrient Timing: The future of sports of nutrition Original Publisher's*, 71-79.
- Karayakar, F., Bavbek, O. ve Cicik, B. (2017). Mersin Körfezi'nde avlanan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(3), 141-150. <https://doi.org/10.3153/JAEFR17017>
- Keskin, Y., Baskaya, R., Ozyaral, O., Yurdun, T., Luleci, N.E. ve Hayran O. (2007). Cadmium, lead, mercury and copper in fish from the Marmara Sea Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 78, 258-261. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9123-9>
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Çolakfakioğlu, C., Cicik, B. ve Erdem, C. (2017). Heavy metal levels in muscle tissues of Solea solea, Mullus barbatus, and Sardina pilchardus marketed for consumption in Mersin, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(8), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3503-5>
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Ersoysal, Y., Köroğlu, M. A. ve Erdem, C. (2019). Heavy metal levels in muscle tissues of some fish species caught from north-east Mediterranean: Evaluation of their effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 81, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3503-5>
- Lee, J.W., Choi, H., Hwang, U.K., Kang, J.C., Kang, Y.J., Kim, K.I. ve Kim, J.H. (2019). Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish. A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>
- Mendil D., Demirci Z., Tuzen M. ve Soylak M. (2010). Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black Sea. Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(3), 865-70. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.12.023>
- MHPRC (Ministry of Health of the People's Republic of China). (2013). National Food Safety Standard, Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762-2012). Erişim adresi:[http://www.seafish.org/media/publications/China\\_Max\\_levels\\_of\\_contaminants\\_in\\_food.pdf/](http://www.seafish.org/media/publications/China_Max_levels_of_contaminants_in_food.pdf/)
- Ojutiku, R.O. ve Okojevoh, F.I. (2017). Bioaccumulation of some heavy metals in three selected fish species from Chanchaga River, Minna Niger State Nigeria. *Nigerian Journal of Fisheries and Aqua Culture*, 5(1), 44-49.
- Pilehvarian, A. A., Malekirad, A.A., Bolandnazar, N.S. ve Rezaei, M. (2015). Heavy metal bioaccumulation in different fish species in the coast of the Persian Gulf, Iran. *Toxin Reviews*, 34(4), 215-219. <https://doi.org/10.3109/15569543.2015.1135959>
- Pieniak, Z., Verbeke, W. ve Scholderer, J. (2010). Health-related beliefs and consumer knowledge as determinants of fish consumption. *Journal of human nutrition and dietetics : the official journal of the British Dietetic Association*, 23(5), 480-488. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2010.01045.x>
- Rahman, M.S., Hossain, M.S., Ahmed, M.K. ve Akther, S. Jolly, Y.N., Akhter, S., Kabir, J.M., Choudhury T.R. (2019). Assessment of heavy metals contamination in selected tropical marine fish species in Bangladesh and their impact on human health. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management*, 11, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100210>
- Sönmez, A.Y., Kadak, A.E., Özdemir R.C. ve Bilen, S. (2016). Kastamonu kıyılarından yakalanan bazı ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti. *Alinteri Journal of Agricultural Sciences*, 31, 84-90. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/267500>
- TGK. (2011). T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmi Gazete: 29.12.2011-28157. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8-1.pdf/>
- TGK. (2002). Tarım ve Köyşleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinde Belirli Bulaşanların Maksimum Seviyelerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ (No:2002/63). Resmi Gazete:23.09.2002-24885. Erişim adresi: [http://www.istanbulsaglik.gov.tr/w/mev/mev\\_teb/tebl\\_temel\\_saglik/belirli\\_bulasanlar.pdf/](http://www.istanbulsaglik.gov.tr/w/mev/mev_teb/tebl_temel_saglik/belirli_bulasanlar.pdf/)
- Topcuoğlu, S., Kırbasoğlu, Ç. ve Güngör N. (2002). Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea, 1997-1998. *Environment International*, 106, 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00099-X)
- Tria, J., Butler, E.C.V., Haddad, P.R. ve Bowie, A.R. (2007). Determination of aluminum in natural water samples. *Analytica Chimica Acta*, 588(2), 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.048>
- Turan, C., Dural, M., Oksuz, A. ve Oztürk, B. (2009). Levels of heavy metals in some commercial fish species captured from the Black Sea and Mediterranean coast of Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82(5), 601-4. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9624-1>
- Tuzen, M. (2009). Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 1785-1790. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.029>



- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y. ve Çekiç, M. (2010). Metals in tissues of fish from Yelkoma Lagoon, northeastern Mediterranean. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 223-230. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1106-3>
- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y. ve Akyurt, İ. (2005). Heavy metals in three commercially valuable fish species from İskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, 91(1), 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.008>
- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., Mazlum, Y. ve Oymael S. (2006). Heavy metal levels in Blue Crab (*Callinectes sapidus*) and Mullet (*Mugil cephalus*) in İskenderun Bay (North Eastern Mediterranean, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 77, 186-193. <https://doi.org/10.1007/s00128-006-1049-0>
- Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y., Ates, A. ve Gökkuş. K. (2008). Determination of metal contaminations in sea foods from Marmara, Aegean and Mediterranean seas: Twelve fish species. *Food Chemistry*, 108(2), 794-800. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.025>
- Türkmen, M., Dura, N. (2016). Assessment of Heavy Metal Concentrations in Fish from South Western Black Sea. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45(11), 1552-1559. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/311651830\\_Assessment\\_of\\_Heavy\\_Metal\\_Concentrations\\_in\\_Fish\\_from\\_South\\_Western\\_Black\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/311651830_Assessment_of_Heavy_Metal_Concentrations_in_Fish_from_South_Western_Black_Sea)
- Türkmen, M., Ögütçü, B. (2020). Assessment of Heavy Metals in Selected Fish Species from Markets in the Black Sea Region of Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. 5(4), 636-639. <https://doi.org/10.35229/jaes.811753>
- Uçar, Y. (2020). Elemental Compositions and Fatty Acid Profiles of Bogue Fish (*Boops boops*) From Mediterranean Coast: A Comprehensive Evaluation of the Potential Effects on Human Health. *Biological Trace Element Research*, 196, 272-284. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02069-z>
- Uluozlu, O.D., Tuzen, M., Mendil, D. ve Soylak, M. (2007). Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas Turkey. *Food Chemistry*, 104, 835-840. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.003>
- Varol M. ve Sünbül R.S. (2020). Macro elements and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. *Environmental Research*, 184, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109298>
- Varol, M., Kaçar, E. ve Akın, H. K. (2020). Accumulation of trace elements in muscle, gill and liver of fish species (*Capoeta umbla* and *Luciobarbus mystaceus*) in the Tigris River (Turkey), and health risk assessment. *Environmental Research*, 186, 109570. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109570>
- Welz, B. (2005). High-resolution continuum source AAS: the better way to perform atomic absorption spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 381(1), 69-71. <https://doi.org/10.1007/s00216-004-2891-8>
- Yılmaz, F., Ozdemir, N., Demirak, A. ve Tuna, A.L. (2007). Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, 100, 830-835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.020>



## Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Şlam Kömürlerinin Spiral ile Zenginleştirilebilirliğine Tane Boyutunun Etkisi

Ali Uçar<sup>1,\*</sup>, Sevgi Karaca<sup>1</sup>, Nezahat Ediz<sup>1</sup>, Oktay Şahbaz<sup>1</sup>, İ.Göktay Ediz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

### Makale Tarihi

Gönderim: 19.11.2020

Kabul: 24.03.2021

Yayın: 30.06.2021

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek Lavvarına ait olan ve yaklaşık 4 milyon m<sup>3</sup> kapasiteli 4 Nolu şlam göletindeki atığın değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla artıktaki kömürün kazanılabilir alternatifleri incelenmiş ve ülkemizde ince kömürlerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan spiral yöntemi seçilmiştir. Şlam göletinden alınan örneklerle yapılan deneyler sonucunda malzemenin yaklaşık -5 mm boyutlu ve %68.01 kül içerikli olduğu belirlenmiştir. Zenginleştirme çalışmaları için numuneler +1mm, -1+0.212 mm, -0.212+0.038 mm ve -0.038 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. +1 mm boyut grubunun termik santraller için yeterli karbon içeriğine (%77.84) sahip olması, -0.038 mm boyut grubunun ise zenginleştirmeyi olumsuz yönde etkileyecek şekilde çok ince boyutta ve yüksek kül içeriğine sahip olması (%69.66 kül) nedeniyle deneylerde kullanılmamıştır. Şlam göleti atıklarının spiral ile zenginleştirilmesinde katı oranı ve besleme debisi gibi parametreler değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda en iyi değerler, -1+0.212 mm boyut grubunda, %30 katı oranında ve 15 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. -0.212+0.038 mm boyut grubunda ise katı oranının artması karbon içeriğini olumsuz etkilemiş ve en iyi değerler, %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. Ayrıca, +1 mm boyutlu ürün ile deneylerden elde edilen konsantre karıştırılarak sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Böylece %68.98 oranında karbon içerikli temiz kömür, %56.77 yanabilir verim ve 4712.31 kcal/kg üst ısı değeri ile kazanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Garp linyitleri işletmesi, spiral, şlam göleti, şlam zenginleştirme, tane boyutu

## The Effect of Particle Size on the Beneficiation of Coal Slimes of Western Lignite Company (WLC) by Spiral

<sup>1</sup>Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Kutahya Dumlupınar University, Kutahya, Turkey

### Article History

Received: 19.11.2020

Accepted: 24.03.2021

Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – In this research, beneficiation of coal slimes taken from the waste pond of Tunçbilek Coal Washery at WLC (Number-4) with a capacity of 4 million m<sup>3</sup> was investigated. For this purpose, beneficiation alternatives were investigated and spiral method was chosen which is commonly used for the beneficiation of fine coals in Turkey. It was determined that the coal slimes had an average particle size of -5 mm and an ash content of 68.01% from the analysis made. The slimes were classified into +1, -1+0.212, -0.212+0.038 and -0.038 mm particle size groups. The -0.038 mm material was excluded from the tests due to the high ash content (30.34% carbon content) and ultra-fine-particle size which are thought to affect the processes negatively, in addition the availability of +1 mm materials with suitable ash content (77.84% carbon content) for the power plant. Experiments were carried out changing the parameters such as solid ratio and feed rate for the beneficiation of the coal slimes. The best results were obtained on the -1+0.212 particle size group, at 30% solid ratio and 15 l/min feed rate. Increased solid ratio exacerbated the ash content for -0.212+0.038 mm size group and the best result was obtained at 20% solid ratio and 15 l/min feed rate. Moreover, +1 mm material was mixed up with the beneficiated coal and the result were evaluated together. Hence, a clean coal with an carbon content of 68.98%, a combustible recovery of 56.77% and an upper calorific value of 4712.31 kcal/kg was achieved.

**Keywords** – Western lignite company, spiral, slime pond, slime enrichment, particle size

<sup>1</sup> ali.ucar@dpu.edu.tr

<sup>2</sup> sevgi.karaca@dpu.edu.tr

<sup>3</sup> nezahat.ediz@dpu.edu.tr

<sup>4</sup> oktay.sahbaz@dpu.edu.tr

<sup>5</sup> goktay.ediz@dpu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Dünya kömür tüketiminin yaklaşık olarak %69'u elektrik ve ticari ısı üretiminde, %13'ü demir-çelik endüstrisinde, %3'ü ısınmada ve %15'i diğer sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır (IEA, 2018).Metin

Dünyada enerji üretiminde en çok kullanılan kömürün görünür rezervi 1.07 trilyon ton olup, alt bitümlü kömür ve linyit rezervi görünür rezervin %30'unu oluşturmaktadır. Türkiye'deki linyit kaynak rezervi ise 19.32 milyar tondur. Bu rezervin büyük bir kısmı Afşin-Elbistan'da bulunurken, Ege Bölgesi linyitleri bunu izlemektedir. Türkiye'de üretilen linyit kömürünün büyük bir kısmı termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır (TKİ, 2019).

Linyit kömürünün termik santrallerde kullanılabilmesi için belirli kalori değerleri değerlerine sahip olması gerekmektedir. GLİ tarafından Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst için protokol değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1

Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst değerleri

Baz AID (Kcal/Kg)	En Yüksek AID (Kcal/Kg)	En Düşük AID (Kcal/Kg)	Nem (%)	Kül (%)	Tane Boyu (mm)
2350	3000	1900	24 (± %10)	42 (± %10)	0-1000

Kömür içinde kükürt ve diğer inorganik bileşik maddeler bulunmakta, üretim ve yakılması sırasında bu maddeler açığa çıkarak çevreyi kirletmektedir. Bu nedenle özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı çevre kanunlarında, doğanın kirlenmesini önleyecek bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. Temiz yakıt tüketiminin zorunlu kılındığı bu yöntemler kömür yıkamanın önemini artırmıştır.

Kömür yıkama yöntemleri iri ve ince kömürler için farklılık göstermektedir. İri boyutlar için gravite yöntemleri, ince boyutlar için ise genellikle flotasyon ve spiral yöntemi uygulanmaktadır (Güney, Ateşok, Önal ve Altaş, 1996; Meenan, 1999). İri boyutlar için gravite yöntemleri, yüksek verimlilik ve düşük maliyet nedeniyle kömür zenginleştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce kömür zenginleştirmede (-0.5 mm) uygulanan flotasyon işleminde ise kullanılan kimyasallardan dolayı yüksek maliyetler oluşmaktadır. Dolayısıyla kömürdeki külü azaltmak amacıyla yeni teknolojiler araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir (Peer, Mongwe ve Van Heerden, 2002; Uslu, Sahinoglu ve Yavuz 2012). Son yıllarda mineraller arasındaki yoğunluk farkına dayanan gravite esaslı ayırıcılara ek olarak MGS, Kelsey jigi, Falcon ve Knelson konsantratörü gibi santrifüj kuvvetinden de yararlanılarak zenginleştirme yapan aletler kullanılmaktadır (Çiçek, Cöcen, Engin ve Cengizler, 2008; Erdem vd.,2012; Honaker, Wang ve Ho,1996; Koca, Koca ve Karaoglu, 2000; Özgen, Malkoç, Doğancik, Sabah ve Şapçı, 2011; Sivrikaya, 2014; Uslu vd., 2012). Fakat bu cihazlarında daha fazla su gerektirmesi, yüksek sermaye ve işletme maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Spiraller, metalik cevherler, endüstriyel mineraller, sahil kumları ve kömür zenginleştirmede dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır (Burt, 1984; Glass, Minekus ve Dalmun 1999; Holland-Batt, 1995; Ramsaywok, Vermaak ve Viljoen 2010; Richards ve Palmer, 1997). Spiraller yoğunluk ve tane şekli birbirinden farklı olmak şartıyla, genellikle -2+0.030 mm arasındaki, belirli bir serbestleşme derecesine sahip taneleri birbirinden ayırmak için kullanılır (Holland-Batt, 1995; Richards ve Palmer, 1997). Bu zenginleştiricilerde besleme olarak kullanılan malzemenin tane boyut dağılımı, şlam miktarı, serbestleşme derecesi, beslemenin içerdiği katı miktarı, besleme içerisindeki malzemelerin yoğunluğu, tane şekli gibi birçok özellik spiraldaki akış davranışını değiştirerek ayrımı etkileyen değişkenlerdir (Burt, 1984; Falconer, 2003). Spirallerin tasarım parametreleri; spiralin kesit alanının yapısı, oluğun çapı, sarmalın eğimi, sarmal sayısı, spiralin uzunluğu, spiralin yüzey özellikleri, bölücü bıçak pozisyonları ve yıkama suyu olarak sınıflandırılabilir.

Ekonomikliği, hareketli parçasının olmayışı, basit yapısı gibi öne çıkan avantajları ile spiral kullanılarak kömürdeki kül yapıcı maddelerin uzaklaştırılması pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir Düşük kül içerikli numuneler ile yapılan çalışmalarda yanabilir verimler daha yüksek olurken kül içeriği yükseldiğinde yanabilir verim değeri daha düşük olduğu görülmektedir (Glass vd., 1999; Honaker, Jain, Parekh ve Saracoglu, 2007; Öney, Tanrıverdi ve Çiçek 2014).

Öney vd. (2014), -1+0.150 mm boyut grubunda yaptığı taşkömürü deneylerinde, spirali %25, %30 ve %35 katı oranlarında çalıştırmıştır. Deney sonuçlarına göre %25 katı oranında %28.72 kül içerikli kömürü, %13.28 kül oranı ve %92.07 yanabilir verim ile kazanmıştır.

Honaker vd. (2007) -0.210+0.044 mm boyutlu ve %33.5 küllü kömürü kullanarak spiral deneyleri yapmıştır. Yaptıkları çalışmada 3 seviyeli Box-Behnken deney tasarımını kullanmışlardır. Deney tasarımında besleme akış hızı, katı oranı ve bıçak açısı parametrelerini kullanarak elde ettikleri sonuçlara göre, %11.71 küllü temiz kömürü %84 yanabilir verim ile kazanmıştır.

Sivrikaya (2014), -1.5 mm boyutlu %40 küllü Tunçbilek kömürünü %20, %25 ve %30 katı oranlarında Reichert spiriline beslemiş ve %18.28 küllü, 5582 kcal/kg ısı değere sahip temiz kömür elde etmiştir.

GLİ Tunçbilek Lavvarı, 1952 yılından 2001 yılına kadar 4 Nolu şlam göletine tesis artığını depolamıştır. Kömür üretiminde kullanılan mekanize kazı yöntemlerinin artması ve sonrasında uygulanan işlemler ince kömür oluşumuna ve tesis performanslarının düşmesine neden olmaktadır. Böylece çok fazla miktarda kömür, artıkla beraber artık barajlarına boşaltılmaktadır. Ayrıca, 4 Nolu artık göleti multi siklon grup (MSG) tesise ilave edilmeden önce de kullanıldığı için şlam göleti içinde kalorisi nispeten yüksek iri kömürler de bulunmaktadır. Bu durum, ekonomik kaybın yanı sıra artık barajlarında depolanma nedeniyle ciddi çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir (Chaurasia ve Nikkam, 2016).

4 Nolu artık göleti şlam kömürünün termik santrallerde kullanımı susuzlaştırma maliyetleri ve yetersiz kalori içeriği nedeniyle mümkün olamamaktadır. Bunun yanı sıra yönetmeliğin getirdiği ağır şartlara bağlı olarak artıkların depolanma maliyetleri de oldukça yüksektir. İşletme çevresindeki birçok barajın dolu olduğu (yaklaşık 18 milyon m<sup>3</sup>lük artık miktarı) ve yeni oluşturulan eski açık ocak çukurlarının da hızla dolduğu düşünüldüğünde mevcut yöntemlerle zenginleştirilemeyen bu ince kömürlerin geri kazanılması yine ekonomik ve çevresel açıdan gereklidir.

GLİ tüvenan kömüründen külün uzaklaştırması ve tesis artığından kömür kazanımı ile ilgili çeşitli fiziksel ayırıcılar kullanılarak zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada ise Lavvar kurulumundan itibaren tesisten çıkan artığın ve MSG kurulmadan önce sistemden kaçak olarak artık göletine giden malzemenin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Diğer fiziksel zenginleştirme yöntemlerine göre avantajlı olan spiralın kullanıldığı bu çalışmada, tane boyutunun yanı sıra katı oranı ve besleme debisi gibi parametrelerin kömürün kazanılabilirliğine etkisi de incelenmiştir. Ayrıca geri kazanılan kömürün termik santralde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

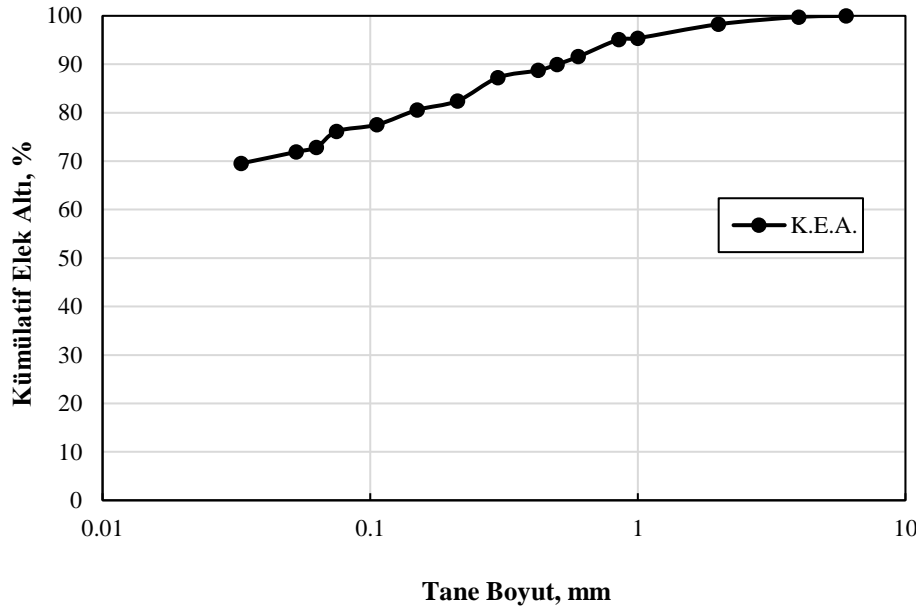
## 2. Materyal ve Yöntem

Deneylerde kullanılan kömür numunesi, Türkiye Kömür İşletmeleri A.Ş.'ye ait GLİ bünyesindeki 4 Nolu olarak adlandırılan artık göletinden temin edilmiştir. Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilen yaklaşık 400 kg'lık artık göleti numunesi laboratuvarında karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Daha sonra numune konileme-dörtleme yöntemi ile bölünerek depolanmıştır. Bu numunenin bir kısmı kimyasal ve boyut analizleri için kullanılmıştır.

Artık gölet numunesinin boyut aralıklarına göre madde miktarı dağılımını belirlemek için elek analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre artık göletindeki malzemenin yaklaşık olarak 5 mm'den daha ince olduğu ve 0.038 mm altındaki malzemenin ise %69.56 oranında bulunduğu tespit edilmiştir.

Artık gölet numunesinin tane boyut gruplarına göre nem, kül, kükürt, üst ısıl değer (ÜİD) ve alt ısıl değer (AİD) analizleri de yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Nem değerleri Moisture Analyzer AND ML-50 cihazında ölçülmüştür. Kül analizleri Nüve marka kül fırınında, kükürt analizi Leco SC 144 DR cihazında ve kalori ölçümleri Ika Werke cihazında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, 0.038 mm boyutun altındaki numunede toplam kükürt değerinin önemli miktarda azaldığı dikkat çekmektedir. Yani kükürdün büyük oranlarda bu boyutun üstünde olduğu ve daha çok kömüre bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca genel olarak tane boyutunun düşmesine bağlı olarak kül değerlerinin arttığı ve kalori değerlerinin azaldığı gözlenmektedir, bu da beklenen bir durumdur.



Şekil 1. 4 Nolu gölet artığına ait kümülatif elek altı eğrisi

Tablo 2  
4 Nolu gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısıl değerleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	ÜİD (Kcal/kg)	AİD (Kcal/kg)	Kükürt (%)	Nem(%)
+4	0.24	27.25	5191	4763	1.07	3.8
-4+2	1.5	24.83	5441	4944	1.16	4.7
-2+1	2.87	20.41	5731	5233	1.19	4.3
-1+0.85	0.24	25.45	5170	4710	1.23	4.3
-0.85+0.5	5.16	23.46	5403	4925	1.25	4.3
-0.5+0.3	2.75	30.52	4936	4501	1.23	4.3
-0.3+0.15	6.64	39.41	4561	4166	1.33	4.4
-0.15+0.075	4.41	47.38	3757	3498	1.42	2.6
-0.075+0.038	6.63	48.26	2255	2878	1.21	3.2
-0.038	69.56	81.91	431	295	0.64	1.6

Spiral ile zenginleştirme deneyleri için artık göleti numuneleri +1mm, -1+0.212 mm, -0.212+0.038 mm ve -0.038 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Kil içeriği yüksek ve çok ince boyutlu -0.038 mm’lik kısım, zenginleştirmeyi olumsuz yönde etkileyebileceğinden deneylerde kullanılmamıştır. +1 mm boyut grubu ise termik santraller için yeterli karbon içeriğine (%77.84) sahip olması nedeniyle zenginleştirme işlemine tabi tutulmamıştır. Böylece deneylerde -1+0.212 mm ve -0.212+0.038 mm tane boyut gruplarındaki malzemeler kullanılmıştır. Her tane boyut grubu için besleme katı oranı ve debisinin, karbon içeriği ile yanabilir verim üzerine



etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde Humprey spirali, %10, %20 ve %30 katı oranları ile 5 l/dk, 10 l/dk ve 15 l/dk besleme debilerinde kullanılmıştır. Bıçak açısının sabit tutulduğu deneylerde süreye bağlı olarak artık ve konsantre alınmıştır. Ürünler filtre edilip kurutularak tartılmış ve kül analizleri yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

-1+0.212 mm boyut grubunda yapılan spiral ile zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen temiz kömürün karbon içeriği değerleri Şekil 2’de ve yanabilir verim değerleri Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte incelendiğinde, 5 ve 10 l/dk besleme debilerinde, katı oranının artmasına bağlı olarak temiz kömürdeki karbon içeriği ve yanabilir verim değerlerinde önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Ancak 15 l/dk besleme debisinde ve %20 katı oranında çalışıldığında, temiz kömürdeki karbon içeriği değeri %76.81 gibi bir değere düşmektedir. Bunun nedeni olarak, besleme debisi ve katı oranının artışıyla birlikte şiste gitmesi gereken kısmın, temiz kömür içine gelmesi gösterilebilir. 15 l/dk besleme debisi ve %20 katı oranında yanabilir verimin %95.92’e yükselmesi de bu düşünceyi desteklemektedir.

-1+0.212 mm tane boyut grubunda, %30 katı oranı ve 10 l/dk besleme debisi ile çalışılan deney şartları optimum olarak kabul edilmiştir. Bu şartlarda %81.74 karbon içeriği değerine sahip temiz kömür, %93.09 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

Sivrikaya (2014) tarafından yapılan %40 küllü, -1.5+0.150 mm boyutlu Tunçbilek tüvenan kömürü ile yapılan çalışmada, farklı besleme hızı ve katı oranlarının verim üzerine etkisi araştırılmıştır. Besleme katı oranı ve hızı arttıkça şiste gitmesi beklenen taneler konsantreye gitmekte ve bu da yanabilir verimi kötü yönde etkilemiştir (Sivrikaya, 2014).

-0.212+0.038 mm boyut grubunda yapılan spiral ile zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen temiz kömürün karbon içeriği değerleri Şekil 4’de ve yanabilir verim değerleri Şekil 5’de verilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde, katı oranının artışına bağlı olarak karbon içeriği azalmakla birlikte besleme debisinin artışı önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Şekil 5 incelendiğinde ise 10 l/dk ve 15 l/dk besleme debilerinde katı oranının artışı, yanabilir verimde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. 5 l/dk besleme debisinde çalışıldığında, %20 katı oranına kadar yanabilir verimde artış daha belirgin iken, bu katı oranının üstünde hafif bir azalma görülmektedir. Debi artışına bağlı olarak ise yanabilir verimde artış olmaktadır. Dolayısıyla, -0.212+0.038 mm boyut grubunda optimum deney koşulları, %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisi olarak kabul edilmiştir. Bu şartlarda %50.98 karbon içerikli temiz kömür %89.12 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

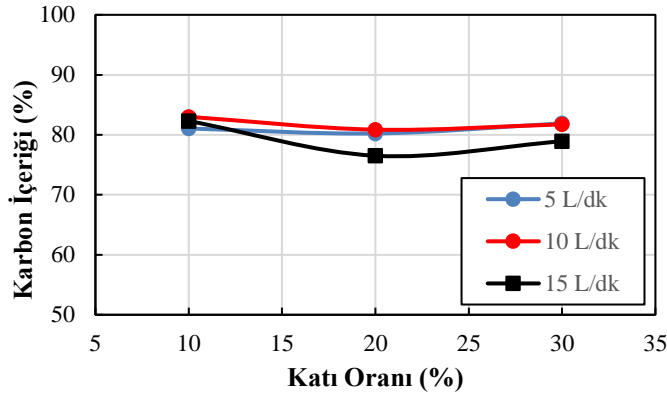
Çok ince boyut grubunda spiral ile yapılan zenginleştirme çalışmaları oldukça sınırlı kalmıştır. Honaker vd. (2007), -210+0.044 mm boyutlu, %33.5 küllü kömürü kullanarak %12 katı oranı ve 60 l/dk besleme akış hızı şartlarında yaptığı spiral deneyleri sonuçlara göre, %11.71 küllü temiz kömürü %84 yanabilir verim ile kazanmıştır. Deneylerde katı oranının azalması ve besleme akış hızının artışıyla optimum sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

-1+0.212 mm ve -0.212+0.038 mm boyut grubundaki beslemenin kül içeriği değeri sırasıyla %22.01 ve %53.85’dir. Dolayısıyla elde edilen karbon içeriği değerlerinin düşük olması, besleme kül miktarından da kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte boyutun azalmasıyla, şiste gitmesi gereken ağır-ince taneler hatve dış çeperine doğru gitmiş ve böylece ince boyut grubunda katı oranı artışına bağlı olarak karbon içeriği değerleri azalmış yanabilir verim ise artmıştır.

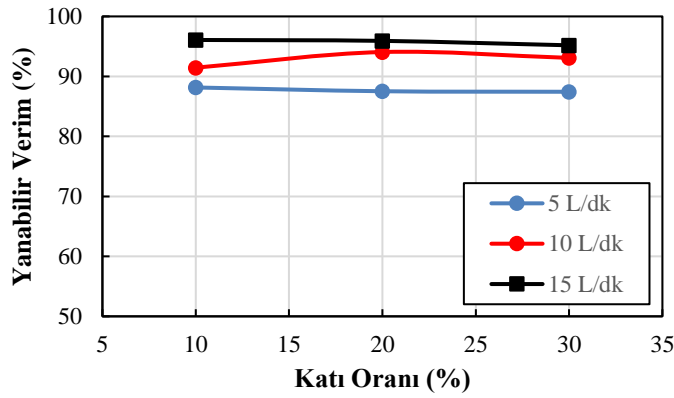
Spiral ile zenginleştirme sonucunda elde edilen ürünler ile +1 mm ve -0.038 mm boyutlarındaki artıkların karbon içeriği, yanabilir verim ve ÜİD değerleri, karşılaştırma yapabilmek amacıyla toplu olarak Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’e göre, deneylerden elde edilen her iki konsantre ile +1 mm’lik ürünün birleştirilmesi sonucunda %68.98 oranında karbon içeriği içerikli lave %56.77 yanabilir verim ve 4712.31 kcal/kg üst ısıl değeri ile elde

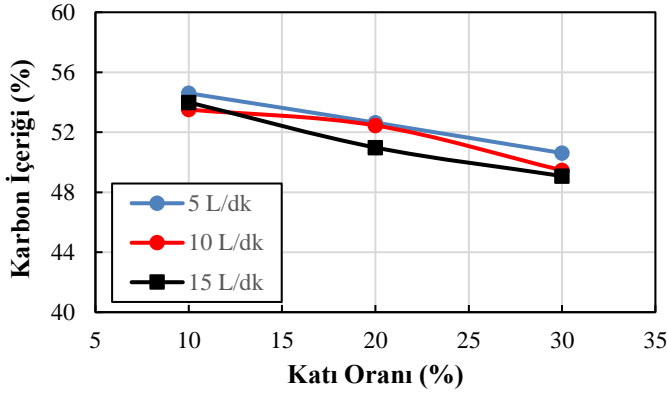
edileceği görülmüştür. Buna göre, Tablo 1'e bakıldığında elde edilen lave kömürün termik santralde kullanılabileceği belirlenmiştir.



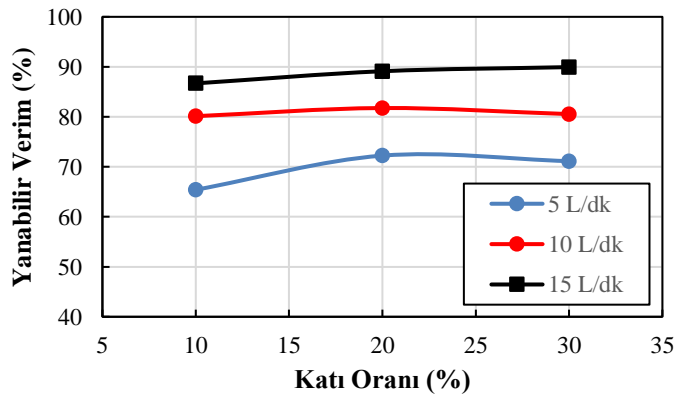
Şekil 2. -1+0.212 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin karbon içeriği miktarına etkisi



Şekil 3. -1+0.212 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin yanabilir verime etkisi



Şekil 4. -0.212+0.038 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin karbon içeriği miktarına etkisi





#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, GLİ'ye ait 4 Nolu şlam göletinden alınan numunedeki kömürün Humprey spirali kullanılarak kazanılabilirliğine tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Spiral ile yapılan zenginleştirme deneylerinde; -1+0.212 ve -0.212+0.038 mm boyut gruplarında 5, 10 ve 15 l/dk'lık besleme debileri ile %10, %20 ve %30'luk katı oranları kullanılmıştır.

-1+0.212 mm boyut grubunda optimum çalışma şartları %30 katı oranı ve 10 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. Böylece %81.74 oranında karbon içerikli temiz kömür %93.09 yanabilir verim ve 5521 kcal/kg üst ısı değeri ile kazanılmıştır. -0.212+0.038 mm boyut grubunda ise en iyi deney sonuçları %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisinde çalışıldığı zaman elde edilmiştir. %50.98 oranında karbon içeriği ile elde edilen temiz kömürün yanabilir verim değeri %89.12 ve ÜİD 3348 kcal/kg olarak belirlenmiştir. -1+0.212 mm boyut grubunda zenginleştirmenin daha kolay iken, -0.212+0.038 mm boyut grubunda daha zor olduğu görülmüştür.

Ara ürünün alınmadığı deneylerde, her iki boyuttan elde edilen konsantreler ile nispeten düşük küllü olan zenginleştirme işlemine girmemiş +1 mm boyutlu malzeme birleştirildiği zaman, %56.77 yanabilir verimli %68.98 oranında karbon içerikli temiz kömürün 4712.31 kcal/kg üst ısı değeri ile elde edileceği görülmüştür. Birleştirilmiş bu ürünün termik santrallerde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen birleştirilmiş ürün değerlerinin ön çalışma sonuçları ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Bununla birlikte ayrı ayrı zenginleştirme yapıldığında üst boyutlarda daha kaliteli lave elde edildiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Çalışmamızda yardımlarını bizden esirgemeyen Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederiz.

#### Yazar Katkıları

Ali Uçar: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, görselleştirme, deneylerin yapılması, kontrol işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Sevgi Karaca: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, görselleştirme, deneylerin yapılması işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Nezahat Ediz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, deneylerin yapılması işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Oktay Şahbaz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, deneylerin yapılması işlemlerini gerçekleştirmiştir.

İ.Göktay Ediz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma işlemlerini gerçekleştirmiştir.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

#### Kaynaklar

Burt, R.O. (1984). *Gravity Concentration Technology*. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.

Erişim adresi: [https://books.google.com.tr/books/about/Gravity\\_Concentration\\_Technology.html?id=Mo2PnQAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.tr/books/about/Gravity_Concentration_Technology.html?id=Mo2PnQAACAAJ&redir_esc=y)

Chaurasia, RC., Nikkam, S. (2016). A suitable process for clean coal recovery from tailing pond deposits.

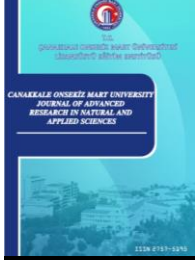
*Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff.*, 38, 3435–3439. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567036.2016.1156197>

Çiçek, T., Cöcen, I., Engin, VT., Cengizler, H. (2008). An efficient process for recovery of fine coal from

- tailings of coal washing plants. *Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff.*, 30, 1716–1728. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030701443533>
- Erdem, A., Gülmez, A., Altun, O., Toprak, S., Olgun, Z., Gitmez, A. (2012). Fine Coal Recovery from The Ömerler Washery Tailings and Plant Applications, *XIII. International Mineral Processing Symposium* (pp. 759-764). Bodrum, Turkey. Erişim adresi: <https://www.yumpu.com/en/document/view/5809093/fine-coal-recovery-from-the-omerler-washery-tailings-and-plant>
- Falconer, A. (2003). Gravity Separation: Old Technique/New Methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, 12(1), 31–48. Erişim adresi: <http://downloads.hindawi.com/archive/2003/812865.pdf>
- Glass, H.J., Minekus, N.J., Dalmun, W.L. (1999). Mechanics of coal spirals. *Minerals Engineering*, 12(3), 271-280. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687599000059>
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., Altaş, A. (1996). *Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler*. İstanbul: III. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı Yayınları, Önal ve Ateşok (Ed.). Erişim adresi: [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3008b2c6f5370b7\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3008b2c6f5370b7_ek.pdf)
- Holland-Batt, A.B. (1995). Some Design Considerations for Spiral Separators. *Minerals Engineering*, 8(11), 1381-1395. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/089268759500104X>
- Honaker, R.Q., Wang, D., Ho, K. (1996). Application of the Falcon Concentrator for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*, 9, 1143–1156. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0892687596001082?via%3Dihub>
- Honaker, R.Q., Jain, M., Parekh, B.K., Saracoglu, M. (2007). Ultrafine coal cleaning using spiral concentrators. *Minerals Engineering*, 20, 1315–1319. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268750700221X>
- IEA (2018). *Coal information (Rapor)*. Erişim adresi: [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2018\\_coal-2018-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2018_coal-2018-en)
- Karaca, S., Şahbaz, O., Ediz, İ.G., Uçar, A., Ediz, N., Şensöğüt, C. (2018). Garp Linyitleri İşletmesi Artıklarından Humprey Spirali ile Kömürün Kazanılabilirliğinin Araştırılması. *Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi* (s. 327-336), Zonguldak, Türkiye. Erişim adresi: [https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/1a9409a2200f285\\_ek.pdf](https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/1a9409a2200f285_ek.pdf)
- Koca, H., Koca, S., Karaoglu, M. (2000). Recovering of fine coal particles from tailing ponds of TKİ Alpagut-Dodurga coal washing plant. In: Hicyilmaz C. (Ed.), *Miner. Process. Verge 21st Century* (pp. 427-431), Antalya, Turkey. Erişim adresi: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/recovering-fine-coal-particles-tailing-ponds-tki%CC%87-alpagut-dodurga-coal-washing-plant-koca-koca-karao% C4%9Flu/e/10.1201/9780203747117-73>
- Meenan, G.F. (1999). *Modern coal flotation practices*. In: Advances in Flotation Technology, B.K. Parekh, and J.D. Miller, (Ed.). Denver: SME. Erişim adresi: <https://www.osti.gov/biblio/20050677>
- Öney, Ö., Tanrıverdi, M., Çiçek, T. (2014). Zonguldak ince kömürlerinin spiral ayırıcı ile zenginleştirilmesi. *Türkiye 19. Kömür Kongresi* (s. 217-225), Zonguldak, Türkiye. Erişim adresi: [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2ab23ac2430cc38\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2ab23ac2430cc38_ek.pdf)
- Özgen, S., Malkoç, Ö., Doğançik, C., Sabah, E., Şapçı, FO. (2011). Optimization of a Multi Gravity Separator to produce clean coal from Turkish lignite fine coal tailings. *Fuel*, 90, 1549–1555. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110006393?via%3Dihub>
- Peer, F., Mongwe, A., Van Heerden, J.H.P. (2002). A preliminary investigation into the metallurgical efficiency of an enhanced gravity separator. *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 4, 251-254. Erişim adresi: <https://www.saimm.co.za/Journal/v102n04p251.pdf>
- Ramsaywok, P., Vermaak, M.K.G., Viljoen, R. (2010). Case Study: High capacity spiral concentrators. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110(11), 637-642. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/290261494\\_Case\\_study\\_High\\_capacity\\_spiral\\_concentrators](https://www.researchgate.net/publication/290261494_Case_study_High_capacity_spiral_concentrators)
- Richards, R.G., Palmer, M.K. (1997). High capacity gravity separators a review of current status. *Minerals Engineering*, 10(9), 973-982. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268759700071X>



- Sivrikaya, O. (2014). Cleaning study of a low-rank lignite with DMS, Reichert spiral and flotation. *Fuel*, 119, 252–258. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236113011320>
- TKİ (2019). *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu-2019 Kömür (Linyit) sektör raporu (Rapor)*. Erişim adresi: [http://www.tki.gov.tr/depo/2019%20K%C3%96M%C3%96R%20SEKT%C3%96R%20RAPO%20\(1\).pdf](http://www.tki.gov.tr/depo/2019%20K%C3%96M%C3%96R%20SEKT%C3%96R%20RAPO%20(1).pdf)
- Uslu, T., Sahinoglu, E., Yavuz, M. (2012). Desulphurization and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator. *Fuel Processing Technology*, 101, 94–100. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382012001233>



## Sünek Betonarme Perde Duvarların Şekil Değişirme Esaslı Hasar Sınırları

Saeid Foroughi<sup>1,\*</sup>, S. Bahadır Yüksel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

### Makale Tarihi

Gönderim: 22.12.2020

Kabul: 06.05.2021

Yayın: 30.06.2021

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Betonarme perde duvarların deprem performansının belirlenmesi için doğrusal olmayan davranışları ile şekil değiştirme esaslı hasar sınırları araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmada on adet farklı parametreye sahip süneklik düzeyi yüksek perde duvar modelleri tasarlanarak çözümlenmeleri yapılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan performans düzeyi hasar seviyeleri için perde duvarların şekil değiştirme sınırları ile plastik dönme sınırları hesaplanmıştır. Perde duvarların şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımı için etkin kesit rijitliği ve akma dönme değerleri de hesaplanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre betonarme perde duvarların farklı performans düzeyleri için şekil değiştirme sınırlarının hesaplanmasında; malzeme dayanımları, kesitte donatı konfigürasyonu, kullanılan sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, kesitlerin moment-eğrilik gibi doğrusal olmayan davranışları ile plastik mafsallık özellikleri dikkate alınmaktadır. Perde duvarlar için farklı performans düzeylerine göre şekil değiştirme taleplerine karşılık gelen hasar sınırları elde edilerek değerlendirilmiştir. Perde duvar modellerinde farklı yatay donatı oranına göre hesaplanan beton toplam birim şekil değiştirmeleri ve farklı eksenel yük oranlarındaki akma dönmesi ile plastik dönme değerleri farklı performans düzeyleri için hesaplanarak araştırılmıştır. Betonarme perde duvarlar için elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinin üzerinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre hesaplanacak hasar sınırları ve bölgeleri görsel olarak işlenmiştir. Eksenel yük seviyesi, yatay ve düşey donatı oranı gibi, akma ve göçme öncesi eğrilik değerlerini etkileyen parametreler plastik dönme ve yönetmeliğin öngördüğü hasar sınırlarını etkilemektedir. Yatay donatı oranının artması ve aralığının azalması sonucunda perde duvar kesitleri daha güvenli yönde kalmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Betonarme perde duvar, hasar sınırları, performans düzeyi, plastik dönme, şekil değiştirme sınırları

## Deformation Based Damage Limits of the Ductile Reinforced Concrete Shear Walls

<sup>1</sup>Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey

### Article History

Received: 22.12.2020

Accepted: 06.05.2021

Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – Nonlinear behaviour and deformation-based damage limits investigated to determine the seismic performance of the shear walls. Ten high ductility levels shear walls having different parameters were designed and analysed. Deformation limits and plastic rotation limits of shear walls were calculated for the different performance level damage limits defined in Turkey Building Earthquake Code 2018. Effective section stiffness and yield rotation values were also calculated for the evaluation and design of shear walls according to deformation. According to Turkey Building Earthquake Code 2018, in the calculation of deformation limits for different performance levels of shear walls; material strengths, reinforcement configuration in the cross-section, the stress-strain relationship of the confined concrete used, nonlinear behaviour of the sections such as moment-curvature and plastic hinge properties are taken into consideration. The damage limits corresponding to the deformation demands according to different performance levels were obtained and evaluated for shear walls. Concrete strain values for different transverse reinforcement ratios, yield and plastic rotation values at different axial load levels were calculated and investigated for different performance levels. On the moment-curvature relationships obtained for shear walls, the damage limits and regions to be calculated according to the Turkey Building Earthquake Code 2018 were visually processed. Parameters such as axial load levels, transverse and longitudinal reinforcement ratios that affect the yield and ultimate curvature values, also affect the plastic rotation and the damage limits stipulated by the regulation. The shear wall sections remain in a safer direction as the transverse reinforcement ratio increases and the spacing decreases.

**Keywords** – Reinforced concrete shear wall, damage limits, performance level, plastic rotation, strain limits

<sup>1</sup> saeid.foroughi@yahoo.com

<sup>2</sup> sbyuksel@ktun.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Betonarme perde duvarların sismik davranışı, genel yapının sismik performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Xiao-chun ve Xiao-lei, 2011). Şekildeğiştirme esaslı tasarım yöntemleri; malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan şekildeğiştirme sınır değerleri, deprem yönetmeliklerinde farklı performans düzeyleri için tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistem elemanlarının hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir (Foroughi ve Yüksel, 2019).

Mevcut veya yeni yapılacak betonarme binaların kapsamlı bir performansa dayalı sismik değerlendirmesi için betonarme perde duvarların deformasyon kapasitesinin tahmin edilmesi çok önemlidir (Özdemir, Kazaz ve Özkaya, 2017). Yer değiştirme sünekliği, yapıların sismik tepkisini karakterize eden bir parametredir. Ayrıca, deplasman sünekliği, belirli sismik yönetmeliklere göre gerçekleştirilen bir yapısal tasarımda, sismik tasarımın ana amacına ulaşım ulaşamayacağını belirlemek için kullanılabilir (Perez ve Mulder, 2018). Betonarme perde duvarlar, depreme dayanıklı bina tasarımında veya mevcut yapıların deprem açısından güçlendirilmesinde etkin olarak kullanılmaktadır. Deplasman esaslı yapılan sismik tasarımda ve yapısal elemanların performans değerlendirilmesi için süneklik ve eğrilik gibi kesitsel deformasyon miktarları büyük önem taşımaktadır. Doğrusal olmayan analiz, yapısal elemanların deformasyon yanıtının yer değiştirme tabanlı prosedürlere göre tahmin edildiği yöntemlerdir (Kazaz, Gülkan ve Yakut, 2012a). Betonarme perde duvarlarda uç bölgeleri, eksenel yük oranı, perde duvar en boy oranı ( $b_w/l_w$ ) ve kesme açıklığı dâhil olmak üzere perde duvarların deformasyon kapasitesini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Uç bölgeleri, betonarme perde duvarların hasar modunu ve deformasyon kapasitesini kontrol eden önemli parametrelerden biridir (Zhou, Zhang, Huang ve Li, 2014).

Qian ve Xu (2007), betonarme perde duvarlar için yer değiştirme tabanlı bir performans sınırı için tasarım yöntemi geliştirmiş ve belirli bir hasar talebine göre enine donatı için karakteristik bir bağıntı önermişlerdir. Xin, Liang ve Deng (2009) farklı sismik seviyelerde ve eksenel basınç oranlarında, perde duvar uç bölgesi uzunluğunu ve donatı detaylandırmasını incelemişlerdir. Hong, Lu, Yang ve Zhang (2008) perde duvar uç bölgesi hasar modu, taşıma kapasitesi, süneklik oranı, sertlik ve betonarme perdelerin enerji yayma kapasitesi üzerindeki etkisini tartışmışlardır. Wallace ve Moehle (1992) geliştirdikleri yöntemle perdelerin şekil değiştirme talebi ile kapasiteyi karşılaştırarak perde uç bölgelerinde gerekli olan donatı detaylandırması ve sünekliği araştırmıştır. Deprem performans ve güçlendirilmesi için alternatif yaklaşım şekil değiştirme esaslı tasarımdır. Şekil değiştirme esaslı tasarımın yeni binalarda uygulanması deprem mühendisliğinde son yıllarda oldukça ilgi gören bir alandır (Karageyik ve Sucuoğlu, 2011; Moehle, 1992; Panagiotakos ve Fardis, 1999; Priestley, Calvi, Kowalsky ve Powell, 2008; Tjhin, Ascheim ve Wallace, 2007). Perde duvarlı binalarda, limit durumları ve karşılık gelen sınır değerleri tanımlamak için betonarme yapısal duvarların deformasyon sınırlarının araştırılması gerekmektedir (Taleb, 2018). Betonarme elemanlarda performansın ve hasarın doğru analitik değerlendirilmesi için, belirli hasar durumlarında iyi tanımlanmış deformasyon limitleri gereklidir (Kazaz, Gülkan ve Yakut, 2012b).

Gerçek yapısal davranışın daha doğru bir simülasyonunu elde etmek için, betonarme elemanların doğru moment-eğrilik ilişkileri ile sargısız ve sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin incelenmesi gerekmektedir (Foroughi ve Yüksel, 2020a). Daha önceki çalışmalarda, betonarme taşıyıcı elemanların moment-eğrilik, yanal kuvvet-tepe deplasman, eğrilik sünekliği ile deplasman süneklik davranışlarının, eksenel yük, boyuna ve enine donatı oranlarında meydana gelen değişikliklerden önemli ölçüde etkilendiği gözlenmiştir (Foroughi ve Yüksel, 2020b, 2020c). Betonarme perde duvarların yük taşıma kapasiteleri ile şekil değiştirmeyi inceleyen önceki çalışmalara bakıldığında (Rutenberg ve Nsieri, 2006) perde davranışını etkileyen en önemli değişkenlerin perde duvarların yükseklik / plandaki uzunluk oranı ( $H_w/l_w$ ), eksenel yük oranı ( $N/N_{max}$ ), boyuna ve yatay donatı oranı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Süneklik düzeyi yüksek betonarme perde duvarların kesit tasarımı, geometrisi, boyuna donatı oranı, yatay donatı oranı ve yerleşimleri Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500, 2000) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY, 2018) verilen hükümler dikkate alınarak tasarlanmıştır (bkz. Şekil 1). Tasarlanan perde duvarların planda uzun kenarının ( $l_w$ ) kalınlığına ( $b_w$ ) oranı 6'dan büyük olarak belirlenmiştir. Farklı boyuna ve yatay donatı oranına sahip tasarlanan süneklik düzeyi yüksek betonarme perde

duvarların davranışları, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak gerilme-şekil değiştirme ve moment-eğrilik ilişkilerinden incelenmiştir. Deprem etkisi altında binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesi için betonarme perde duvarların etkin kesit rijitliği, etkin rijitlik katsayısı, akma dönmesi ve süneklik değerleri **TBDY (2018)**'de verilen bağıntılar ve kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır. Betonarme perde duvarlar için **TBDY (2018)**'de tanımlanan Göçme Öncesi (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyleri için oluşan şekil değiştirme sınırları, farklı yatay donatı oranına göre beton birim şekil değiştirmeleri ve farklı eksenel yük seviyelerde plastik dönmeler hesaplanarak performans düzeyleri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle elde edilen şekil değiştirme sınır değerleri, perde duvar hasar sınırlarına karşı gelmek üzere **TBDY (2018)**'de öngörülen sayısal değerler ile karşılaştırarak performans düzeyleri hesaplanmıştır.

## 2. Betonarme Bina Elemanlarının Birim Şekil Değiştirme Sınırları

**TBDY (2018)**'de yapılacak performans değerlendirmesinde yapısal betonarme taşıyıcı elemanlar için GÖ, KH ve SH performans düzeyi ve sınır değerleri tanımlanmıştır. Betonarme kesitlerde SH performans düzeyi için sınırlı miktarda, KH için dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği ve GÖ ise ileri düzeyde doğrusal olmayan davranışı tanımlamaktadır. Farklı performans düzeyleri için yayılı plastik davranış modeline göre donatı çeliği ile beton birim şekil değiştirme sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Performans düzeyleri için yığılı plastik davranış modeline göre plastik dönme sınır değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Taşıyıcı elemanlarda eksenel yük seviyesi ve malzeme modelleri dikkate alınarak moment-eğrilik ilişkilerinden plastik dönme değerleri hesaplanabilmektedir.

Tablo 1

Performans düzeylerine göre şekil değiştirme sınırları (**TBDY, 2018**)

Şekil değiştirme sınırları	Betonda birim kısalma	Donatıda birim şekil değiştirme
GÖ	$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.40\varepsilon_{su}$
KH	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$
SH	$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$

Tablo 2

Performans düzeylerine göre plastik dönme sınırları (**TBDY, 2018**)

Şekil değiştirme sınırları	Plastik dönmeler
GÖ	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right]$
KH	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
SH	$\theta_p^{(SH)} = 0$

$\omega_{we}$ , etkin yatay donatısının mekanik donatı oranı Denklem (2.1) ile hesaplanabilmektedir. Yatay donatısının etkinlik katsayısı ( $\alpha_{se}$ ) ve minimum hacimsel yatay donatı oranı ( $\rho_{sh}$ ) Denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır.  $f_{ywe}$  ve  $f_{ce}$  donatı çeliği ve beton için beklenen dayanımıdır ( $f_{ce} = 1.3f_{ck}$ ,  $f_{ye} = 1.2f_{yk}$ ).  $A_{sh}$  ve  $s$  yatay donatı alanı ve aralığıdır.  $b_o$  ve  $h_o$ ; yatay donatı arasında kalan sargılı beton boyutu ve  $a_i$ ; bir yatay donatı veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.1)$$

$$\alpha_{se} = \left( 1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2h_o} \right), \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.2)$$

Betonarme perde modellerinin analizlerinde sargısız ve sargılı beton modelleri için Mander, Priestley ve Park (1988) tarafından geliştirilen model kullanılmıştır. Mander modeline göre sargı etki katsayısı ( $k_e$ ) Denklem (2.3),  $x$  ve  $y$  yönünde çekirdek betona uygulanan etkili yanal basınçlar ve ortalama basınç dayanımı ( $f'_{lx}$  ve  $f'_{ly}$ ) Denklem (2.4a) ve (2.4b), sargılı beton basınç dayanımı ( $f'_{cc}$ ) Denklem (2.5) ve maksimum basınç gerilmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerleri ( $\varepsilon_{cc}$ ) Denklem (2.6) ile hesaplanmaktadır. Betondaki en büyük birim şekildeğiştirme değeri  $\varepsilon_{cu}$  enine donatıda oluşan ilk kopma anındaki değere karşılık gelir. Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi  $\varepsilon_{cu}$  Denklem (2.7) hesaplanabilmektedir.

$$k_e = \left(1 - \sum_i^n \frac{(w'_i)^2}{6}\right) \left(1 - \frac{S'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{S'}{2d_c}\right) / (1 - \rho_{cc}) \quad (2.3)$$

$$f'_{lx} = k_e \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = k_e f_{lx} \quad (2.4a)$$

$$f'_{ly} = k_e \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} = k_e f_{ly} \quad (2.4b)$$

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( -1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f'_{cc}} \quad (2.7)$$

### 3. Betonarme Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri

Çatlamış kesite ait etkin kesit rijitlikleri ( $EI_e$ ), moment-eğrilik ilişkisi dikkate alınarak, akma momentinin akma eğriliğine oranı olarak ( $M_y/\phi_y$ ) hesaplanır.  $EI_e$  sabit olmamakla birlikte; beton basınç dayanımı, kesit geometrisi, kesit boyutu ve kesite etkiyen aksel yük seviyesi gibi tasarım parametrelerine bağlıdır. Betonarme perdelerin brüt atalet momenti ( $I$ ) ve betonun elastisite modülüne ( $E_c = 3250 + \sqrt{f_{ck}} + 14000$ ) göre çatlamamış kesit rijitlikleri ( $EI$ ) hesaplanmıştır. Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri moment-eğrilik ilişkilerinden,  $k_e = EI_e/EI$  olarak hesaplanmaktadır. Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemlerin akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsal akma dönmesi ( $\theta_y$ ) Denklem (3.1) ile hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem (3.2)'e göre belirlenmiştir. Denklemde;  $L_s$  kesme açıklığı ve perde duvarlar için  $\eta = 0.50$  olarak alınmıştır. Süneklik katsayısı, moment-eğrilik analizlerinden hesaplanan göçme öncesi eğriliğin akma eğriliğine oranı olarak hesaplanır ( $\mu = \phi_u/\phi_y$ ).

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (3.1)$$

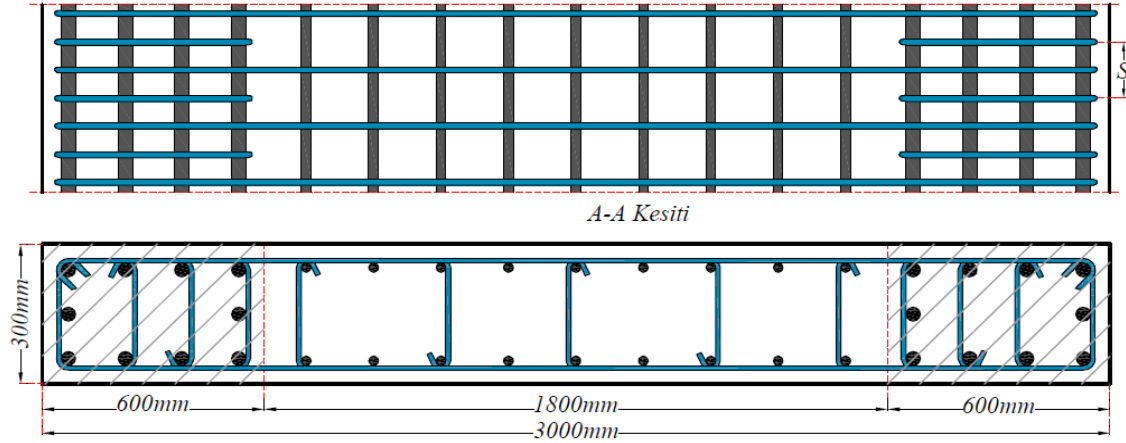
$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \quad (3.2)$$

### 4. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada betonarme yapısal elemanların şekildeğiştirme esaslı hasar sınırlarının belirlenmesi için farklı parametrelere sahip süneklik düzeyi yüksek betonarme perde duvar modelleri tasarlanmıştır. Perde duvarın kalınlığı  $b_w=300\text{mm}$ , plandaki uzunluğu  $l_w=3000\text{mm}$  ve uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu  $l_u=600\text{mm}$  olarak belirlenmiştir ( $l_u \geq 2b_w$  ve  $l_u \geq 0.2l_w$ ). Tasarlanan betonarme perde duvarların görünüşü Şekil 1'de ve perde duvar modellerine ait parametreler ve detaylar Tablo 3'te



verilmiştir. Betonarme perde duvarın uç bölgelerindeki düşey ve yatay donatı oranları **TBDY (2018)**'de verilen kurallara göre belirlenmiştir. **TBDY (2018)**'e göre tasarlanan betonarme perde duvar için uç ve gövde bölgelerindeki donatıların sınırlamaları kontrol edilmiştir. Tasarlanan betonarme perde duvar için uç ve gövde bölgelerindeki düşey donatı sınırlamalarının kontrolü Tablo 4'te verilmiştir. Tüm modeller için, C30 beton sınıfı ve B420C donatı çeliği dikkate alınmıştır. Yapılan analitik çalışmada **TBDY (2018)**'de donatı çeliği ve beton için verilen malzeme özellikleri dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Betonarme perde duvar modellerinin kesiti

Tablo 3

Tasarlanan betonarme perde duvar modellerine ait detaylar

Kesit No	Perde duvar uç bölgesi		Perde duvar gövde bölgesi	
	Düşey donatı (mm)	Yatay donatı (mm)	Düşey donatı (mm)	Yatay donatı (mm)
P1		Φ8/150		Φ8/150
P2	10Φ16	Φ8/100	18Φ12	Φ8/100
P3		Φ8/50		Φ8/50
P4		Φ10/100		Φ10/100
P5	10Φ16	Φ12/100	18Φ12	Φ12/100
P6		Φ14/100		Φ14/100
P7	10Φ18	Φ12/100	18Φ12	Φ12/100
P8	10Φ20	Φ12/100	18Φ12	Φ12/100
P9	10Φ20	Φ12/100	18Φ14	Φ12/100
P10			18Φ16	

Tasarlanan betonarme perde modellerinin gerilme-şekil değiştirme ve moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiş, gerekli hesaplar ve incelemeler yapılmıştır. Farklı aksenal yük, boyuna ve yatay donatı oranları için analizlerden elde edilen gerilme-şekil değiştirme ve moment-eğrilik ilişkileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Betonarme perde duvarlarda malzemelerin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak farklı tasarım parametreler için moment-eğrilik analizler SAP2000 (**SAP2000, v.20.2.0**) programı ile yapılmıştır. Kombine bükülme altındaki bir kesitin moment-eğrilik ilişkileri, aksenal yük seviyelerine bağlıdır. Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksenal basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere,  $A_c \geq N_{dm}/0.35f_{ck}$  koşulu sağlanmalıdır (**TBDY, 2018**). Betonarme perde duvar kesitlerinde,  $N_{max} = A_c \times f_{ck}$  olmak üzere  $N/N_{max}$  oranının 0.15, 0.25 ve 0.35 değerleri için moment-eğrilik analizleri yapılmıştır. Moment-eğrilik ilişkilerinden akma ve kırılma durumları için moment ( $M_y, M_u$ ) ve eğrilik ( $\phi_y, \phi_u$ ) değerleri, akma ve kırılma eğriliklerinden eğrilik süneklikleri ( $\mu$ ), etkin eğilme rijitlikleri ( $EI_e$ ) ve etkin rijitlik katsayısı ( $k_e$ ) hesaplanmıştır. GÖ, KH ve SH performans düzeyleri için oluşan sınır değerleri, farklı düşey ve yatay

donatı oranına göre hesaplanan donatı çeliği ve beton birim şekildeğiştirmeleri, farklı eksenel yük oranına göre moment-eğrilik analizlerinden hesaplanan akma ve göçme öncesi eğrilik değerleri, plastik mafsal uzunluğu, kesme uzunluğu ve düşey donatı çapına göre kesitlerin plastik dönmeleri hesaplanarak farklı parametrelere göre karşılaştırılmıştır. Betonarme perde duvarlarda plastik mafsal uzunluğunu hesaplamak için birçok farklı ampirik denklemler önerilmiştir. Plastik mafsal uzunluğu, eğrilik kapasitesinden güvenli bir yer değiştirme kapasitesini elde etmek için perde duvar uzunluğunun yarısı olarak kabul edilebilir (Bohl ve Adebbar, 2011). Betonarme perde duvarlarda plastik mafsal uzunluğu;  $L_p=0.5L_w = 1.5m$  ve kesme uzunluğu  $L_s = 3m$  olarak alınmıştır.

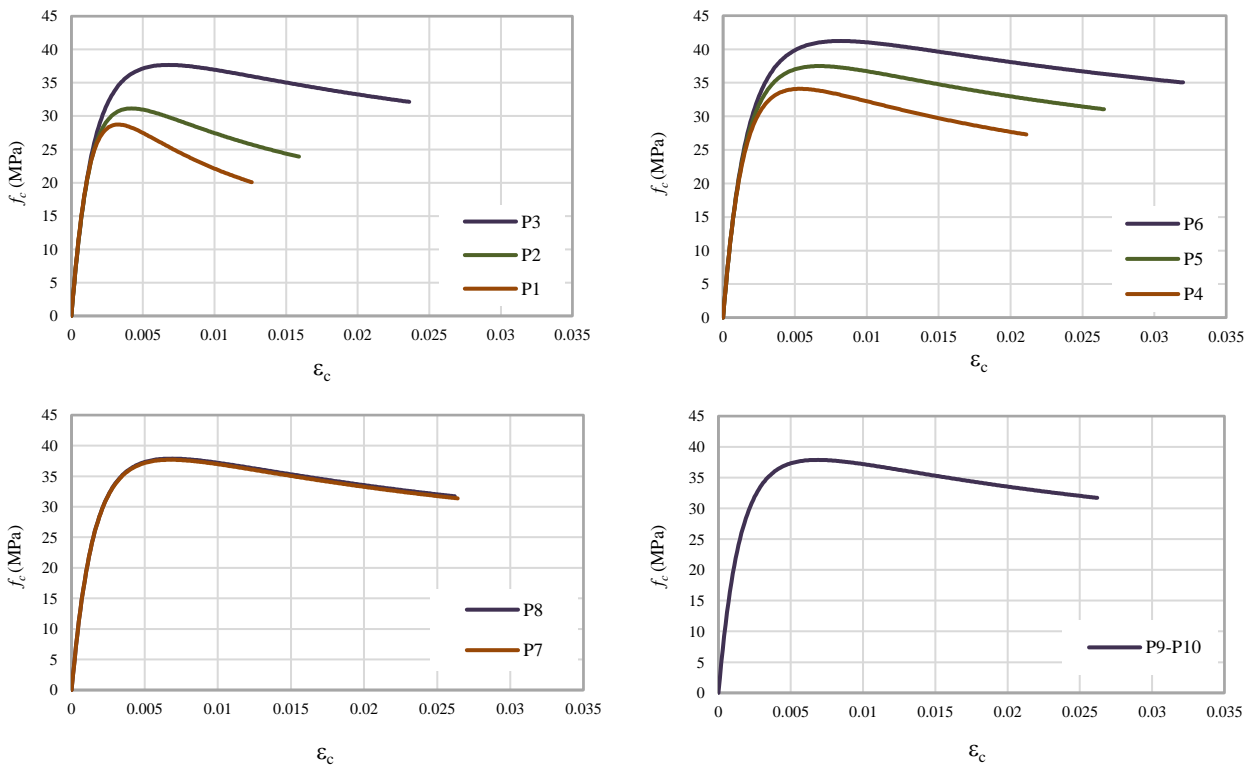
Tablo 4

Tasarlanan perde duvarlar için gövde ve uç bölgelerinde düşey donatı sınırlamaları

Perde gövde bölgelerinde düşey donatı kontrolü			
Seçilen gövde düşey donatısı	18Φ12	18Φ14	18Φ16
$\frac{A_s}{(L_w - 2l_u) \times b_w} \geq 0.0025$	$0.0038 \geq 0.0025$	$0.0051 \geq 0.0025$	$0.0067 \geq 0.0025$
Perde uç bölgelerinde düşey donatı kontrolü			
Seçilen uç bölge düşey donatısı	10Φ16	10Φ18	10Φ20
$\frac{A_s}{L_w \times b_w} \geq 0.002$	$0.0022 \geq 0.002$	$0.0028 \geq 0.002$	$0.0035 \geq 0.002$

## 5. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Tasarlanan betonarme perde duvarların farklı tasarım parametrelerine göre sargılı basınç dayanımı hesaplanmış (bkz. Şekil 2) ve elde edilen sonuçlar farklı tasarım parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Betonarme perde duvarların moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kesitlerin  $\phi_y$ ,  $M_y$ ,  $\phi_u$  ve  $M_u$  değerleri farklı eksenel yük seviyelerine göre Tablo 5'te verilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 3'te sunulmuştur. Tablolarda  $M_y$  ve  $M_u$  değerleri; ( $kN.m$ ),  $\phi_y$  ve  $\phi_u$  değerleri; ( $Rad/m$ ),  $(EI)_e$  değerleri; ( $kN.m^2$ ) ve  $\theta_y$  değerleri; ( $Rad$ ) olarak verilmiştir.



Şekil 2. Perde duvarların uç bölgelerinin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

Tablo 5

Perde duvarların akma ve kırılma durumu için hesaplanan M ve  $\emptyset$  değerleri

$N_d$	M, $\emptyset$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0.15	$M_y$	6847	6867	6895	6835	6897	6926	7328	7811	7899	7986
	$\emptyset_y$	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
	$M_u$	7823	7941	8506	8187	8471	8672	9144	9891	10180	10500
	$\emptyset_u$	0.0187	0.0246	0.0412	0.0352	0.0414	0.0428	0.0413	0.0413	0.042	0.0431
0.25	$M_y$	8841	8871	8964	8896	8971	9043	9403	9896	9955	10026
	$\emptyset_y$	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
	$M_u$	9704	9837	10236	9946	10169	10610	10798	11503	11688	11892
	$\emptyset_u$	0.0118	0.0172	0.0286	0.0244	0.0329	0.0406	0.0311	0.0314	0.0293	0.0292
0.35	$M_y$	10290	10379	10546	10449	10531	10671	10972	11464	11514	11570
	$\emptyset_y$	0.0016	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
	$M_u$	9999	11028	11519	11223	11487	11756	12011	12595	12715	12848
	$\emptyset_u$	0.0091	0.0118	0.0209	0.0175	0.0244	0.0291	0.0244	0.0244	0.0244	0.0243

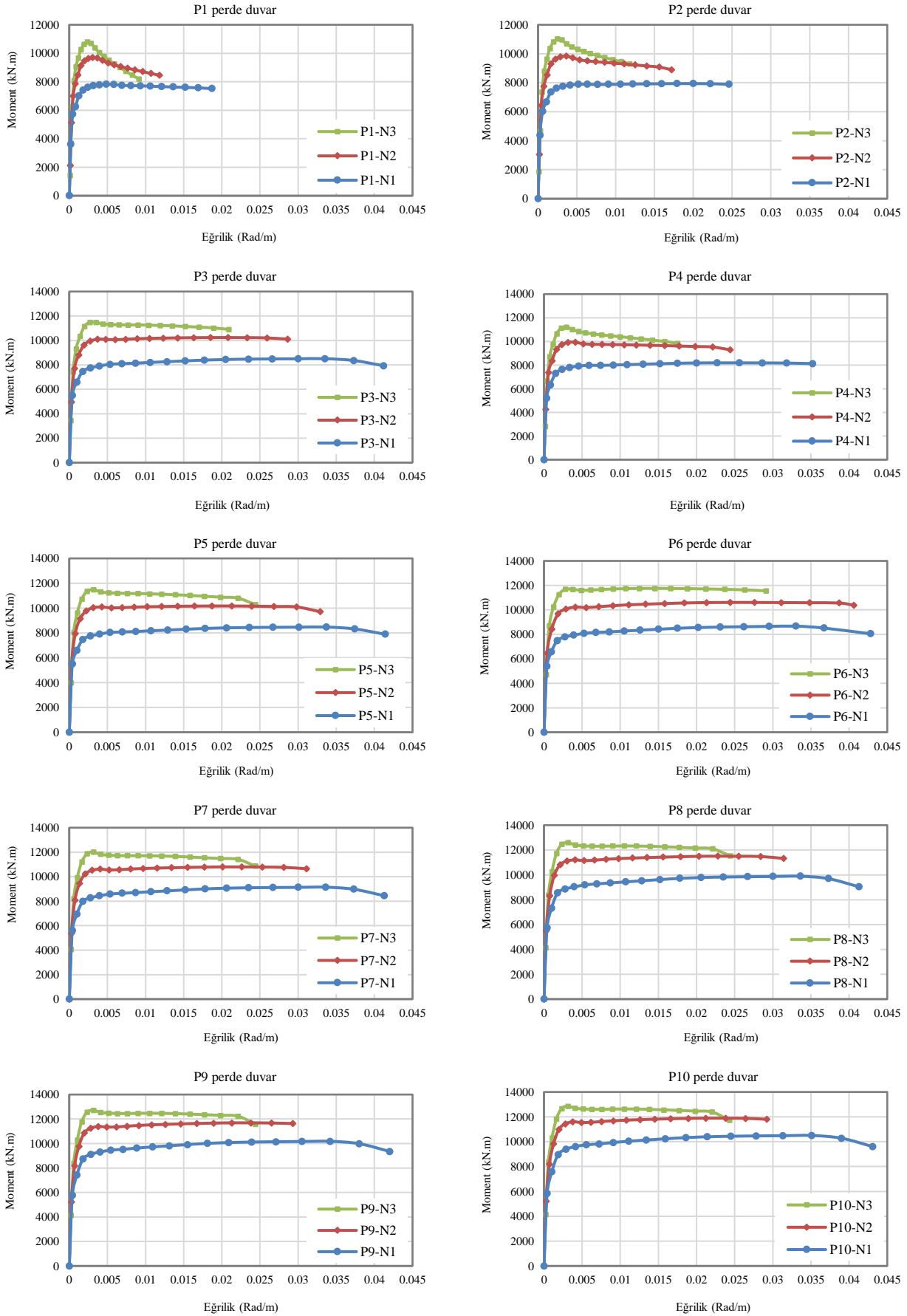
Doğrusal olmayan hesap için betonarme perde duvarların etkin kesit rijitliği, etkin rijitlik katsayısı, akma dönmesi ve süneklik değerleri elde edilmiştir. Araştırılan parametreler [TBDY \(2018\)](#)'de verilen bağıntılar ve perde duvarların moment eğrilik analizlerinden hesaplanmıştır.

Betonarme perde duvarları için moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen  $\mu - N/N_{max}$  ve  $k_e - N/N_{max}$  ilişkileri Şekil 4 ve Şekil 5'te karşılaştırılmıştır. Betonarme perde duvarların plastik mafsallı akma dönmesi ( $\theta_y$ ) değerleri farklı aksenal yük değerlerine göre Tablo 6'da özetlenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerinin etkin kesit rijitliklerinin hesaplanmasında, gerçekçi yollardan birisi de moment-eğrilik ilişkilerinin kullanılmasıdır. Betonarme kesitlerde  $EI_e$  değerleri, moment-eğrilik eğrilik ilişkisi ve yığılı plastik davranışına göre Denklem (3.2)'den hesaplanmıştır (bkz. Tablo 7). Betonarme perde duvarların farklı tasarım parametrelerine göre  $N/N_{max} - \theta_p$  ilişkileri Şekil 6'da verilmiştir. Farklı performans düzeyi için  $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.032$ ,  $\varepsilon_s^{(KH)} = 0.024$  ve  $\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$  sabit değerler olarak hesaplanmaktadır. Betonarme perde duvarlar için hesaplanan hasar sınırları ( $\varepsilon_c^{(KH)}$ ,  $\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$ ) ve bölgeleri üzerine işlenmiş moment-eğrilik ilişkileri sırasıyla Şekil 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

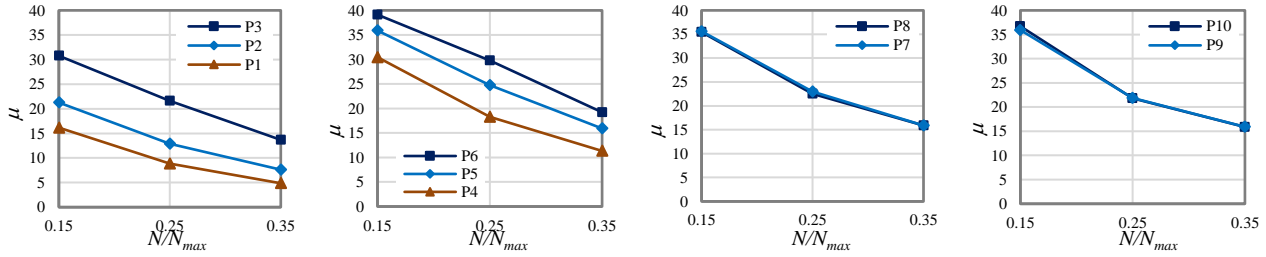
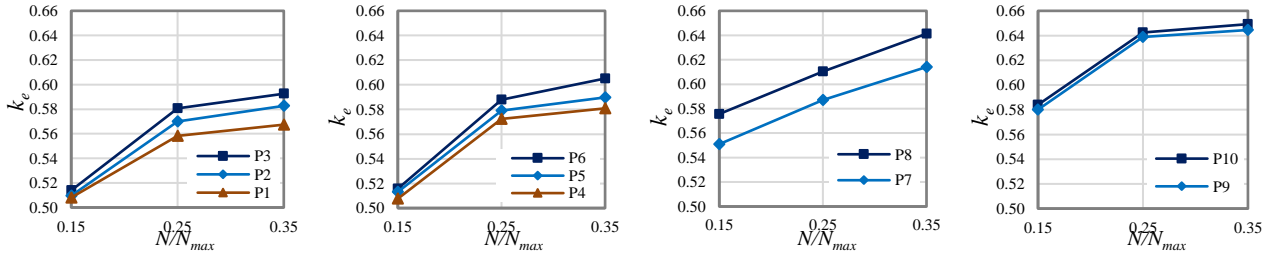
Betonarme perde duvarların uç bölgelerindeki boyuna donatı oranının artması  $f'_{cc}$ ,  $\varepsilon_{cc}$  ve  $\varepsilon_{cu}$  değerlerini çok fazla etkilememiştir. Perde duvarların uç bölgelerinde yatay donatı oranının artması ile  $f'_{cc}$ ,  $\varepsilon_{cc}$  ve  $\varepsilon_{cu}$  değerleri artmaktadır. Moment-eğrilik ilişkilerine göre; aksenal yük seviyesinin artmasıyla betonarme perde duvarların  $M_y$ ,  $\emptyset_y$  ve  $M_u$  değerleri artmakta  $\emptyset_u$  ve  $\mu$  değerleri azalmaktadır. Perde duvarlarda yatay donatı oranının artmasıyla  $M_y$ ,  $M_u$  ve  $\emptyset_u$  değerleri artarken  $\emptyset_y$  değerleri sabit kalmaktadır. Perde duvarlarda uç ve gövde bölgelerinde boyuna donatı oranının artmasıyla  $M_y$  ve  $M_u$  değerleri artmakta  $\emptyset_y$  ve  $\emptyset_u$  değerleri değişmemektedir.  $N/N_{max}$  değerinin artmasının eleman sünekliğini önemli derecede azalttığı görülmüştür.

Doğrusal olmayan davranışa göre hesaplanan  $\theta_y$  değerleri,  $N/N_{max}$  değeri, perde duvar uç ve gövde bölgesinde boyuna ve yatay donatı oranının artmasıyla artmaktadır. Perde duvar uç ve gövde bölgesinde boyuna ve yatay donatı oranının artmasıyla  $EI_e$  artmaktadır. Hesaplanan  $k_e$ ; uç ve gövde bölgesi boyuna ve yatay donatı oranının artmasıyla artmaktadır.  $N/N_{max}$  değerinin artmasına bağlı olarak  $EI_e$  artmıştır.

$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$ ,  $\varepsilon_c^{(KH)}$  hasar sınırları  $f_{ye}$ ,  $f_{ce}$  ve yatay donatısının konfigürasyonuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Farklı performans düzeylerinde  $\theta_p$  için izin verilen sınır değerleri;  $\emptyset_y$ ,  $\emptyset_u$ ,  $L_p$ ,  $L_s$  ve  $d_b$ 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla kesit geometrisi, boyuna ve yatay donatı oranı, aksenal yük seviyesi ve yatay donatı konfigürasyonu gibi  $\emptyset_y$  ve  $\emptyset_u$  değerlerini etkileyen tasarım parametreleri  $\theta_p$  sınır değerlerini de etkilemektedir.



Şekil 3. Betonarme perde duvarlarının moment-egrilik ilişkileri

Şekil 4. Betonarme perde duvarlarının  $\mu - N/N_{max}$  ilişkileriŞekil 5. Betonarme perde duvarlarının  $k_e - N/N_{max}$  ilişkileri

Tablo 6

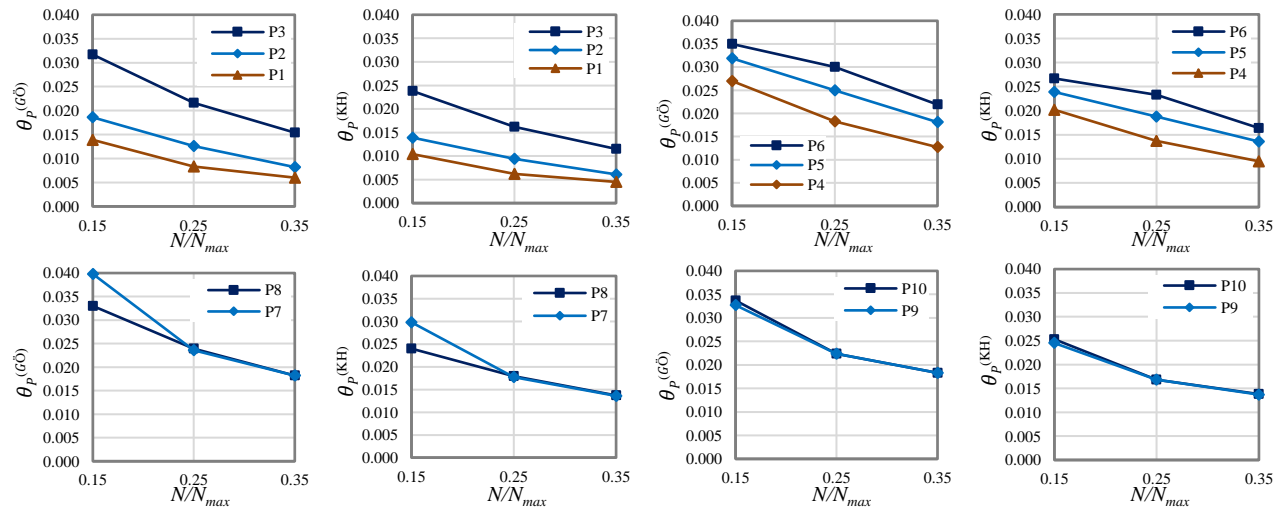
Perde duvarların farklı eksenel yük seviyelerine göre hesaplanan  $\theta_y$  değerleri

$N_d$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0.15	0.00431	0.00431	0.00431	0.00431	0.00431	0.00431	0.00432	0.00432	0.00433	0.00433
0.25	0.00452	0.00452	0.00451	0.00452	0.00451	0.00450	0.00452	0.00452	0.00452	0.00452
0.35	0.00477	0.00476	0.00474	0.00475	0.00474	0.00472	0.00474	0.00474	0.00474	0.00474

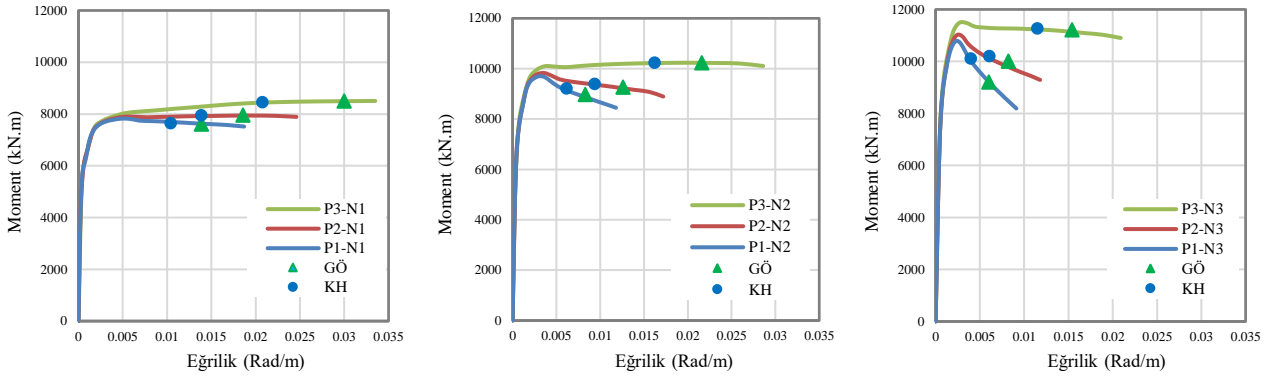
Tablo 7

Perde duvarların farklı eksenel yük seviyelerine göre hesaplanan  $(EI)_e$  değerleri

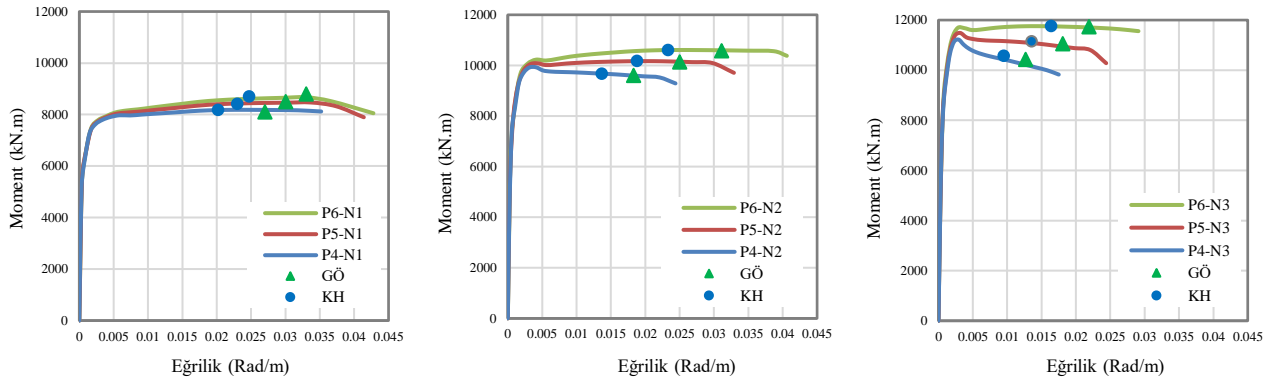
$N_d$	$(EI)_e$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0.15	$M_y/\phi_y$	5917891	5935177	5985763	5912630	5976603	6006938	6319966	6704721	6757057	6802385
	Denk. 3.2	1588631	1593271	1599768	1585847	1600232	1606961	1696296	1808102	1824249	1844342
0.25	$M_y/\phi_y$	6619001	6639970	6762221	6666167	6745113	6848682	6953853	7109195	7440765	7482648
	Denk. 3.2	1955973	1962611	1987583	1968142	1989135	2009556	2080310	2189381	2202434	2218142
0.35	$M_y/\phi_y$	6608863	6700452	6901832	6766172	6869537	7048217	7152542	7469377	7506846	7562092
	Denk. 3.2	2157233	2180462	2224895	2199789	2221730	2260805	2314768	2418565	2429114	2440928

Şekil 6. Betonarme perde duvarların  $N/N_{max} - \theta_p$  ilişkileri

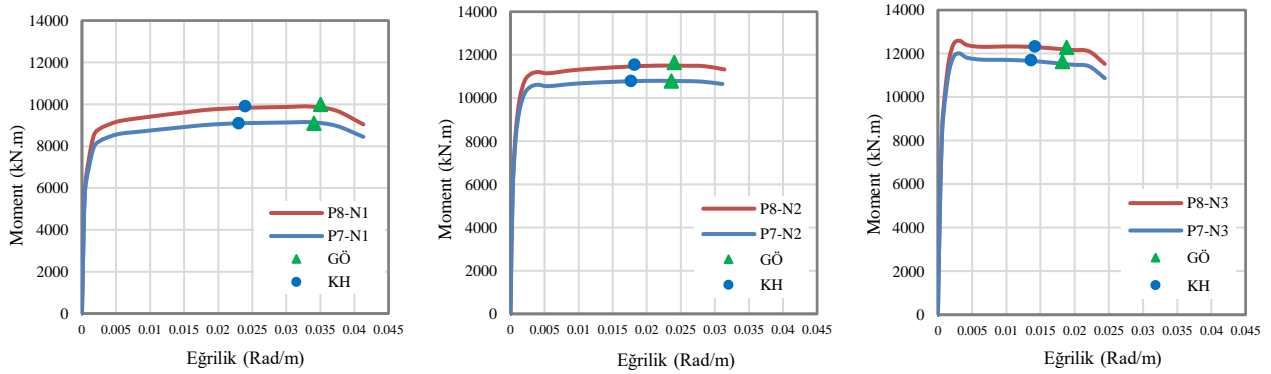




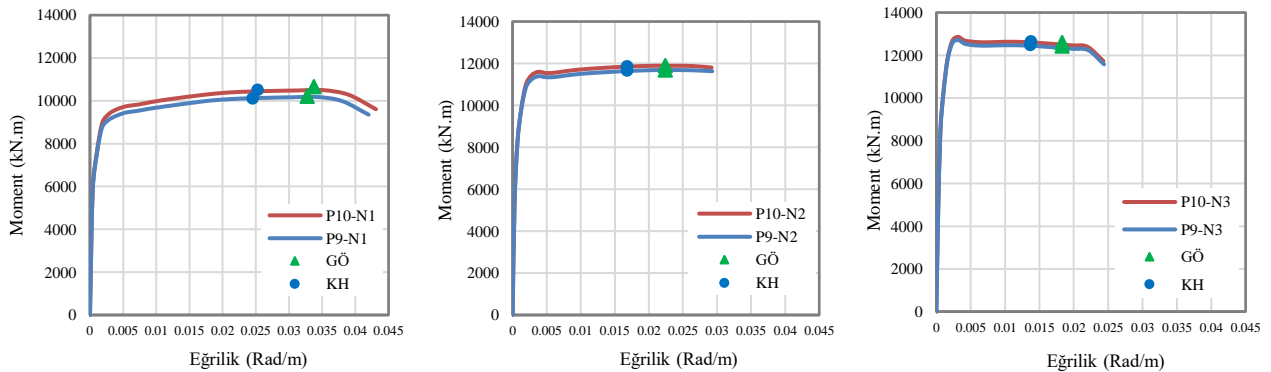
Şekil 7. Farklı yatay donatı aralığına sahip perdelerin moment-eğrilik ilişkileri ve hasar sınırları



Şekil 8. Farklı yatay donatı çapına sahip perdelerin moment-eğrilik ilişkileri ve hasar sınırları



Şekil 9. Perde duvar uç bölgelerindeki farklı boyuna donatı çapına sahip perdelerin moment-eğrilik ilişkileri ve hasar sınırları



Şekil 10. Perde duvar gövde bölgelerindeki farklı boyuna donatı çapına sahip perdelerin moment-eğrilik ilişkileri ve hasar sınırları

## 6. Sonuçlar

Perde duvarlarda yatay donatı oranının artmasıyla  $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ,  $\varepsilon_c^{(KH)}$  değerleri artmakta ve  $\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$  olarak sabittir. Boyuna donatı oranının artması sargılı beton basınç dayanımını fazla etkilemediği için hesaplanan beton birim şekil değiştirme ( $\varepsilon_c$ ) değerlerini etkilememiştir. Sabit yatay donatı oranı için boyuna donatı oranının artması ile  $\varepsilon_c^{(GÖ)}$  ve  $\varepsilon_c^{(KH)}$  değerleri sabit kalmaktadır. Farklı boyuna ve yatay donatı oranına göre hesaplanan  $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ ,  $\varepsilon_s^{(KH)}$  ve  $\varepsilon_s^{(SH)}$  değerleri sabit kalmaktadır.  $\theta_p^{(GÖ)}$  ve  $\theta_p^{(KH)}$  sınır değerleri  $N/N_{max}$  değeri ve moment-eğrilik ilişkisine göre değişmektedir.  $N/N_{max}$  değerinin artmasıyla  $\theta_p^{(GÖ)}$  ve  $\theta_p^{(KH)}$  sınır değerleri azalmaktadır. Sabit  $N/N_{max}$  değeri, boyuna ve yatay donatı çapı için yatay donatı aralığının artması ile  $\theta_p^{(GÖ)}$  ve  $\theta_p^{(KH)}$  sınır değerleri azalmaktadır. Sabit boyuna donatı çapı, yatay donatı aralığı ve  $N/N_{max}$  değeri için yatay donatı çapının artması ile  $\theta_p^{(GÖ)}$  ve  $\theta_p^{(KH)}$  sınır değerleri artmaktadır. Sabit  $N/N_{max}$  değeri, yatay donatı çapı ve aralığı ve için boyuna donatı çapının artması ile  $\theta_p^{(GÖ)}$  ve  $\theta_p^{(KH)}$  sınır değerleri az farkla artmaktadır.  $N/N_{max}$  değeri arttıkça hasar sınır değerleri azalmakta, bu yük seviyelerinde yatay donatı oranının daha da önemli olduğu ve yönetmeliğin öngördüğü sınırlamanın son derece etkili olduğu sonuçlarına varılmaktadır. Hesaplanan hasar sınırı değerleri ve bölgeleri perde duvarların moment-eğrilik ilişkileri üzerinde işlenmiştir. Moment-eğrilik ilişkilerinden hesaplanan hasar sınırları ve bölgelerinden görüleceği gibi perde duvarlarda yatay donatı oranının artması sonucunda perde duvar kesitleri daha güvenli yönde kalmaktadır.

## Teşekkür

Yazarlar; zaman ayırdıkları, kıymetli yorum ve önerilerde buldukları için makaleyi değerlendiren hakemlere teşekkür etmektedir.

## Yazar Katkıları

Çalışma ile ilgili analiz planı, betonarme perde duvar modellerinin tasarlanması, veri toplanması, istatistiksel analizlerin yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin yazılması birinci ve ikinci yazar tarafından paylaşılarak yapılmıştır.

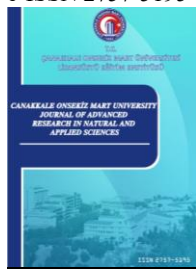
## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Bohl, A. and Adebar, P. (2011). Plastic hinge lengths in high-rise concrete shear walls. *ACI Structure Journal*, 108(2), 148–157. doi: <https://doi.org/10.14288/1.0063296>.
- Foroughi, S. and Yuksel, S. B. (2020a). Investigation of the Moment-Curvature Relationship for Reinforced Concrete Square Columns. *Turkish Journal of Engineering*, 4(1), 36-46. doi: <https://doi.org/10.31127/tuje.571598>.
- Foroughi, S. and Yuksel, S. B. (2020b). Analytical Investigation of Curvature Ductility of Reinforced Concrete Columns. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 25(1), 27-38. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.510862>.
- Foroughi, S and Yuksel, S. B. (2020c). Investigation of nonlinear behavior of high ductility reinforced concrete shear walls. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 4(2), 116-128. doi: <https://doi.org/10.35860/iarej.693724>.
- Foroughi, S. ve Yuksel, S. B. (2019). Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD)*, 11(2), 584–601. doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.519208>.
- Kazaz, İ., Gülkan, P., and Yakut, A. (2012a). Performance limits for structural walls: An analytical perspective, *Engineering Structures*, 43, 105–119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.011>.

- Kazaz, İ., Gülkan, P. and Yakut, A. (2012b). Deformation limits for structural walls with confined boundaries. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1019–1046. doi: <https://doi.org/10.1193/1.4000059>
- Karageyik, C. and Sucuoğlu, H. (2011). Betonarme binaların perdelerle güçlendirilmesinde şekil değiştirme esaslı yöntemlerin uygulanması. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. (pp. 1–10) 11-14 Ekim 2011-ODTÜ-Ankara. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/18184862-Betonarme-binalarin-perdelerle-guclendirilmesinde-sekildegistirme-esasli-yontemlerin-uygulanmasi.html>.
- Moehle, J. P. (1992). Displacement-based design of RC structures subjected to earthquakes. *Earthquake Spectra*, 8(3), 403–428. doi: <https://doi.org/10.1193/1.1585688>.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 114(8), 1804–1826. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)).
- Özdemir, M. A., Kazaz, İ. and Özkaya, S. G. (2017). Evaluation and comparison of ultimate deformation limits for RC columns. *Engineering Structures*, 153, p. 569–581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.050>
- Perez, J. C. V. and M. M. Mulder. (2018). Improved procedure for determining the ductility of buildings under seismic loads, *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, 34(1), 1–8. doi: <https://doi.org/10.23967/j.rimni.2018.03.001>.
- Panagiotakos, T. B. and Fardis, M. N. (1999). Estimation of inelastic deformation demands in multistory RC frame buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 3(4), 495–518. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199905\)28:5<501::AID-EQE827>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199905)28:5<501::AID-EQE827>3.0.CO;2-5).
- Qian, Jia-ru., and Xu, Fu-jiang. (2007). Displacement-based deformation capacity design method of RC cantilever walls. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 47(3): 305–308. Erişim adresi: [https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-QHXB200703000.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-QHXB200703000.htm).
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., Kowalsky, M. J. and Powell, G. H. (2008). Displacement-based seismic design of structures. *Earthquake Spectra*, 24(2). doi: <https://doi.org/10.1193/1.2932170>.
- Rutenberg, A. and Nsieri, E. (2006). The seismic shear demand in ductile cantilever wall systems and the EC8 Provisions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4, 1–21. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-005-5407-9>.
- SAP, 2000. Structural Software for Analysis and Design, Computers and Structures, Inc. Version 20.2.0. USA.
- Tjhin, T. N., Ascheim, M. A. and Wallace, J. W. (2007). Yield displacement-based seismic design of RC wall buildings. *Engineering Structures*, 29(11), 2946–2959. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.10.022>.
- Taleb, R., Watanabe, H. and Kono, S. (2018). Numerical study on the ultimate deformation of RC structural walls with confined boundary regions. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 191–199. doi: <https://doi.org/10.3311/PPci.10554>.
- TS500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye. Erişim adresi: [http://www.iibh.org/kijun/pdf/Turkey\\_06.pdf](http://www.iibh.org/kijun/pdf/Turkey_06.pdf).
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>.
- Wallace, J. W. and Moehle, J. P. (1992). Ductility and detailing requirements of bearing wall buildings, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 118(6), 1625–1644. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1992\)118:6\(1625\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:6(1625)).
- Xiao-chun, L. and Xiao-lei, H. (2011). Performance index limits of high reinforced concrete shear wall components. *Journal of the Central South University of Technology*, 18, 1248–1255. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0829-9>.
- Xin, Li., Liang, Xing-wen. and Deng, Ming-ke. (2009). Plastic hinge rotation-based design method of shear walls boundary elements. *Industrial Construction*, 39(6), 50–64. Erişim adresi: [https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-GYJZ200906014.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GYJZ200906014.htm).
- Zhou, Y., Zhang, D., Huang, Z. and Li, D. (2014). Deformation capacity and performance-based seismic design for reinforced concrete shear walls. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13(1), 209–215. doi: <https://doi.org/10.3130/jaabe.13.209>.
- Zhang, Hong-mei., Lu, Xi-lin., Yang, Xue-ping., and Zhang, song. (2008). Influence of boundary stirrup on seismic behavior of reinforced concrete shear walls. *Structural Engineers*, 24(5), 100–118. Erişim adresi: [https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JGGC200805018.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JGGC200805018.htm).



## Using Granular Waste Tire as a Factor to Increase Shear Strength of Cohesionless Soils

Koray Aktürk<sup>1</sup>, Öznur Karaca<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

### Article History

Received: 30.03.2021

Accepted: 27.05.2021

Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – Soils used as foundation or structural materials in construction are considered to be weaker than rocks and problems such as bearing capacity, erosion, sliding, collapse, and liquefaction can be encountered. In such cases, since most soil problems are site specific, the soil properties should also be improved by appropriate techniques. Improvement methods applied to strengthen soils often cause financial burden. Recently, there are studies about the use of waste rubber tires, which pose an environmental risk during storage, as a reinforcement material for soils. The main purpose of this study is to examine the effect of poorly graded sand (SP) mixed with granular waste tires in different proportions (10%, 20%, 30%, 40% and 50%) on the shear strength of the sand. For this purpose, the physical (water content, specific weight, unit volume weight) and mechanical (shear strength) parameters of the mixtures were determined. According to the results of the research, the material with 100% sand content contributes to the shear strength by a certain proportion when compared to the mixed materials containing granular-sized waste rubber. According to the results of this research, the highest shear resistance value was observed in material with 20% tire content in waste rubber sand mixtures, while higher rates of tire addition provided lower results than 100% sand material. In addition, considering the issue in terms of environmental impact, a column test was carried out on the mixture containing 20% rubber-80% sand and no adverse effects of the pollutants were observed.

**Keywords** – Sand, scrap tire, shear strength, soil, soil improvement


### 1. Introduction

Soil is the name given to material comprising rock fragments formed as a result of weathering and degradation with a variety of environmental factors, containing organic matter, voids and which may hold water. Therefore, they are considered more problematic compared to rocks (Huat, 2010). Depending on the soil properties and environmental conditions, problems such as liquefaction, sliding, collapse, subsidence, bearing capacity, erosion may occur. In such cases, since most soil problems are site specific, the soil properties should also be improved by appropriate techniques.

When improvement methods are investigated, in addition to improving methods aiming to compact and strengthen soils from depth, like dynamic compaction, injection and vibroflotation, there are surface improvement methods aiming to strengthen the soils by adding supplementary material like lime, volatile clay, cement, etc. to improve strength at the level close to the foundation surface (Şengezer, 2010). Additionally, the use of lightweight materials like volatile ash, glass fragments, slag, plastic waste and especially waste rubber tires have been investigated by many researchers in recent years with the aim of ameliorating soft and compressible fill soils.

Waste tires have become a global environmental problem due to difficulties with storage and separation processes (Chang, 2008). These tires are flammable and fires tend to release toxic gases. This situation affects the health of organisms and at the same time causes aesthetic discomfort (Attom, 2006; Reddy and Marella, 2001).

<sup>1</sup>  koraybahce17@gmail.com

<sup>2</sup>  oznurkaraca@comu.edu.tr

\*Corresponding Author

Waste tires, when useful life finished and inappropriate for repeated use, are one of the materials with most successful results in terms of regain through recycling, at present. When research is examined, the regain rates for recycled waste tires are 95% in Europe and 84% around the world ([url1](#)). When European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ERTMA) data are examined, 292.000 tons of waste tires were produced in Turkey in 2014, with this number reaching 314.000 in 2015 and 251.000 in 2016 ([Çataklı and Ergüder, 2019](#)). According to data from the Ministry of Environment and Urbanization in Turkey for "regulation and applications for the control of end-of-life tires" in 2018, 184.313 tons of waste tires were collected in 2017 ([Eryılmaz and Demirarslan, 2011](#)). Nearly 59% of the collected waste tires can be recycled in facilities ([url1](#)).

The use of waste tires in construction engineering applications may be beneficial not just with the aim of strengthening soils but from an environmental aspect ([Keskin and Laman, 2012](#)). The use of waste tires in construction engineering projects has many benefits like reducing the pressure on natural fill, lowering material costs, improving the geotechnical properties of soil, and ensuring effective recycling. In the recent past, many studies were performed about the properties of waste tires, including in potential engineering applications ([Edil and Bosscher, 1994](#); [Foose et al., 1996](#); [Zornberg et al., 2004](#); [Cetin et al., 2006](#); [Hataf and Rahimi, 2006](#); [Vinod et al., 2015](#)). Studies using tires from scrap vehicles, especially as light weight material, commonly choose sand ([Marto et al., 2013](#); [Umu et al., 2014](#); [Erenson, 2015](#); [Vinod et al., 2015](#); [Göztepe, 2016](#); [Ordu et al., 2017](#); [Bayat et al., 2019](#); [Ghaffari, 2020](#)) and rarely silty sand ([Benavente-Huaman et al., 2019](#)) and clay materials ([Cetin et al., 2006](#); [Balaban et al., 2019](#)) as soils. Though waste tires are mostly used in granular ([Göztepe, 2016](#); [Balaban et al., 2019](#); [Bayat et al., 2019](#); [Ghaffari, 2020](#)) and sliced ([Marto et al., 2013](#); [Benavente-Huaman et al., 2019](#)) forms, there is rare research where they are used in powder form ([Umu et al., 2014](#); [Ordu et al., 2017](#)) and even whole ([Erenson, 2015](#)).

Among the important properties of waste tires, beginning to come to the forefront for construction engineering applications, are the low unit weight in addition to insulating features, resistance, and high drainage capacity ([Youwai and Bergado, 2003](#)). However, when tire particles are used alone, high deformation and compression problems may be encountered, just as they may be sensitive to exothermic reactions. For this reason, research in recent years has used sand-waste tire mixtures which are not sensitive to exothermic reactions ([Youwai and Bergado, 2003](#); [Zornberg et al., 2004](#)). Thus, adding waste tires to soil materials does not just solve the exothermic reaction problem, at the same time it improves deformation features and increases the strength of the fill. Here, the topic that requires special attention is the proportions in the mixture, because increased proportions of soil material within the mixture increases total weight and this may cause settlement of foundations resting on loose soils ([Youwai and Bergado, 2003](#)).

Among the current uses for waste tires, uses as reinforcement material for road construction, for control of erosion, stabilization of sloped areas, thermal insulation, fill for retaining walls and bridge feet, edge drainage and construction of storage areas and use in building foundations may be listed.

Shear strength is a basic mechanical property used in stability analysis. Previous studies observed that optimum shear strength values were reached with a certain proportion between waste tires and soil materials.

A study researching the effect of waste tires on groundwater quality ([Humphrey et al., 1997](#)) investigated the possible polluting effects of waste tire chips placed above groundwater level. As a result of tests completed with regular checks within a long time period of nearly five years, there was no evidence that the primary standards for drinking water of barium (Ba), cadmium (Cd), chrome (Cr), lead (Pb) and selenium (Se) and secondary standards for drinking water of aluminum (Al), zinc (Zn), chlorine (Cl) or sulfate (SO<sub>4</sub>) levels were increased ([Humphrey and Katz, 2000](#)). Additionally, research in field conditions in 7 different regions of the USA investigated the possible pollutant effects on groundwater of aggregate produced from tires and rubber-modified asphalt material ([Humphrey and Sweet, 2006](#)). The results of this research did not encounter any pollutant value exceeding primary and secondary drinking water standards.



The aim of this study is to investigate the usability of granular waste tires for improving problematic soils to overcome a range of difficulties experienced with problematic soils during geotechnical applications and to effectively reuse this waste. Within this scope, the ability to increase the strength of sandy soils with granular waste tire rubber supplementation was considered by using natural material instead of industrial sand and the optimum mixing rates were determined. The raw material of rubber tires is formed by the combination of oils and a variety of chemical materials. For this reason, it is very important to research the effect on the environment of tires in a variety of areas of use when mixed with soils. Within the scope of this study related to the topic, column leach tests were performed for waste tire-sand mixtures and the leaching of harmful elements from tires to the environment was researched.

## 2. Materials and Methods

The sand used in the study was obtained from an active landslide region in Çanakkale province along the coast of Güzelyalı village in September 2015. The waste tire samples used in laboratory studies were obtained from a workshop located in Bursa Organized Industrial Zone with steel wire bands removed, particle sizes 2-4 mm and obtained in granular form (Figure 1).



Figure 1. Waste tire particles at granular size

The natural water content ( $\omega$ ) and specific gravity ( $G_s$ ) of the sandy sample obtained from the study area were determined. With the aim of determining the grain size distributions of tire fragments and sand samples, sieve analyses (ASTM D 422) were performed.

In this study, compaction tests were performed on samples of waste tires mixed with soil. Samples prepared with combinations of sand and tire fragments were placed in a compaction mold in layers. Each layer was hit with a hammer 25 times for compression and then the mold and compacted sample were weighed. To determine water content, a sample was left in an oven for 24 hours at 105 °C. With the addition of water to the soil, the other steps were repeated in the same way and compaction tests were performed. Finally, the values for water content as a result of the obtained data were plotted on a graph of equivalent dry unit weight and optimum water content was found.

Standard proctor tests determined the maximum and minimum dry unit weight per unit volume ( $\gamma_{kmax}-\gamma_{kmin}$ ) for waste tire and sand and the optimum water content ( $\omega_{opt}$ ). Additionally, the maximum and minimum void

ratio reflecting the loosest and most compressed situation for sand were identified. Using the calculated void ratios, the relative compaction values were obtained (Equation 2.1).

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2.1)$$

In this study, with the aim of determining the shear strength of mixtures prepared with sand and tire grains at granular size with 10%, 20%, 30%, 40% and 50% proportion by weight, a range of direct shear box tests (ASTM D 3080) were performed. A direct shear device of 6 cm x 6 cm x 3.5 cm sized was used during these tests. A total of six direct shear tests were carried out, one of which was sand. Prepared samples were tested three times with the normal stress of 50, 100, and 200 kN/m<sup>2</sup>.

Furthermore, a column test was conducted to investigate the environmental impact of the optimum waste tire-sand mixture obtained in this study. This test was conducted using a glass column with 2.5 cm inside diameter and 30 cm length. Known mass of sample was placed in the column, and porosity and pore volume were calculated. Deionized (DI) water was flushed through it from the top at a constant flow rate. The effluent was collected for each pore volume separately. Analyses were carried out using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) for the elements considered to be harmful.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Index Properties

Laboratory tests were performed with the aim of determining the physical parameters of the sand and waste tire mixtures used as soil material in the study. In this context, sand was found to have natural water content ( $\omega_n$ ) of 15.46% as a result of water content experiments. The specific gravity of pure sand was determined as 2.62 with pycnometer method. The unit weight values determined with experiments on the mixtures are shown in Table 1. In addition, sieve analysis was carried out to determine the grain size of both the sand and the granular size tire used in this study (Figure 2, 3). As a result of the sieve analysis, uniformity coefficient ( $C_u$ ) and coefficient of gradation ( $C_c$ ) values of sand were found from the grain size distribution curve (Equations 3.1, 3.2).  $C_u$  and  $C_c$  values were computed as 2.235 and 0.819, respectively, and are shown in Figure 2. Based on these results, soil class for sand samples was determined as SP (poorly graded sand).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.1)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})} \quad (3.2)$$

Table 1  
Unit weight data for tire-sand mixture

Mixing rate		Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
Sand	Tire	
90%	10%	16.975
80%	20%	16.769
70%	30%	16.063
60%	40%	16.337
50%	50%	16.337

#### 3.2. Standard Proctor Test

The standard Proctor test was used to obtain the maximum dry unit weight of soil and the corresponding optimum water content. Repeatedly performed standard Proctor experiments observed the dry unit weight ( $\gamma_k$ ) values reached up to 19.90 kN/m<sup>3</sup> with a reduction after this point. For this reason, for the maximum dry

unit weight ( $\gamma_{kmax}$ ), value of the material of  $19.90 \text{ kN/m}^3$ , the optimum water content was calculated as 19.50%. In this context, the variation in water content linked to dry unit weight values is shown in Figure 4.

The maximum and minimum void ratios ( $e_{max}$  and  $e_{min}$ ) were calculated for full sand and waste tire-sand mixtures. For 100% sand, the  $e_{max}$  and  $e_{min}$  values were 0.77 and 0.29, respectively. Additionally, the maximum void ratio ( $e_{max}$ ) reached lowest values for the mixture containing 20% tires (0.370), while the minimum void ratio ( $e_{min}$ ) reached highest values (0.180) for the mixture with 30% tire content. Both values form the peak values in terms of the experimental sets.

As a result of experiments, the relative density of sand ( $D_r$ ) was determined as 58%, while the sand used in the study is qualified as ‘medium dense’ according to the relative density table (Table 2).

### 3.3. Shear Box Tests

The type of material examined within the scope of this study may be used in construction engineering applications such as road fill and fill behind retaining walls on weak or compressible soils and it is necessary to know the strength and deformation properties of materials used in these types of applications. As a result, with the aim of determining the shear strength characteristics of the mixtures, shear box tests were performed with soil alone and later with the mixtures. During the tests, shear force versus horizontal displacement of the samples were measured and plotted. From the plot, the maximum shear stress was determined and shear stress graphs corresponding to the normal stress are plotted. From the plot, a straight-line approximation of the failure envelope curves was drawn. In the graph the cohesion is the y-intercept, and the angle of internal friction is the slope of the line.

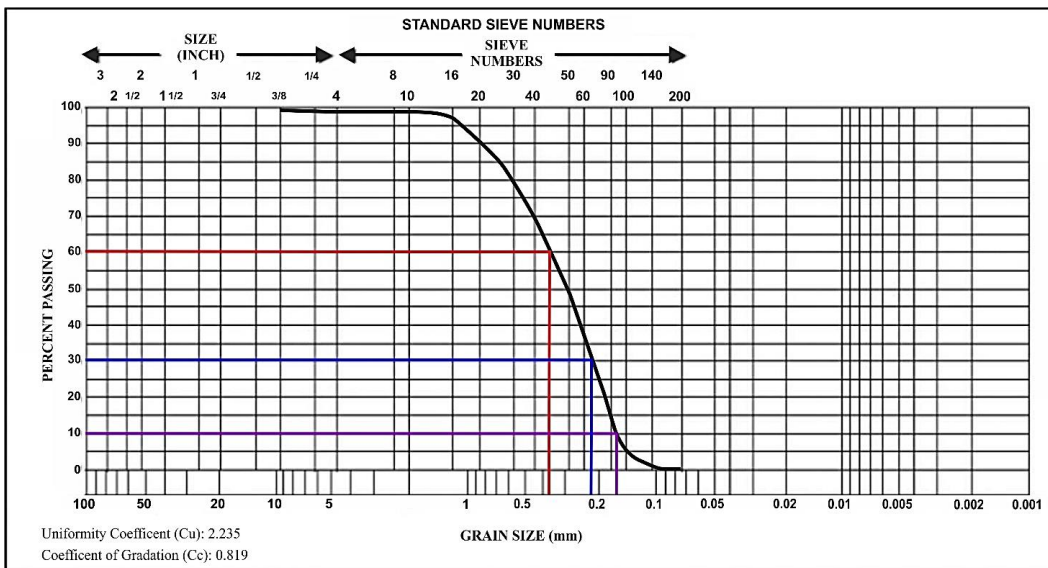


Figure 2. Grain size distribution of sand

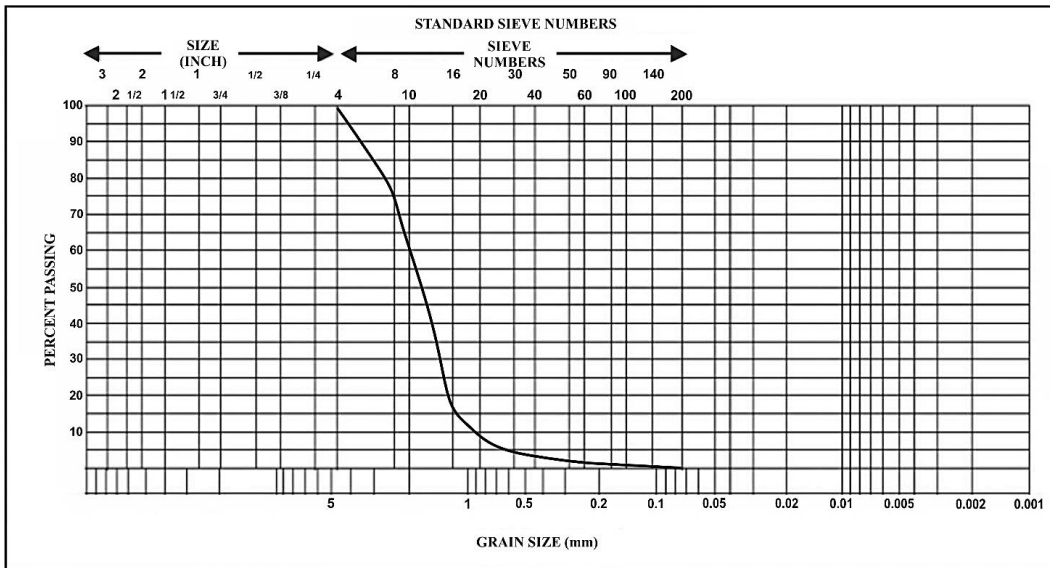


Figure 3. Grain size distribution of waste tires

Considering the shear box experiment data, the angle of internal friction value reached highest values for the mixture containing 20% waste tires (48.82°). As the tire content continued to increase, a reduction was observed in these values (Figure 5).

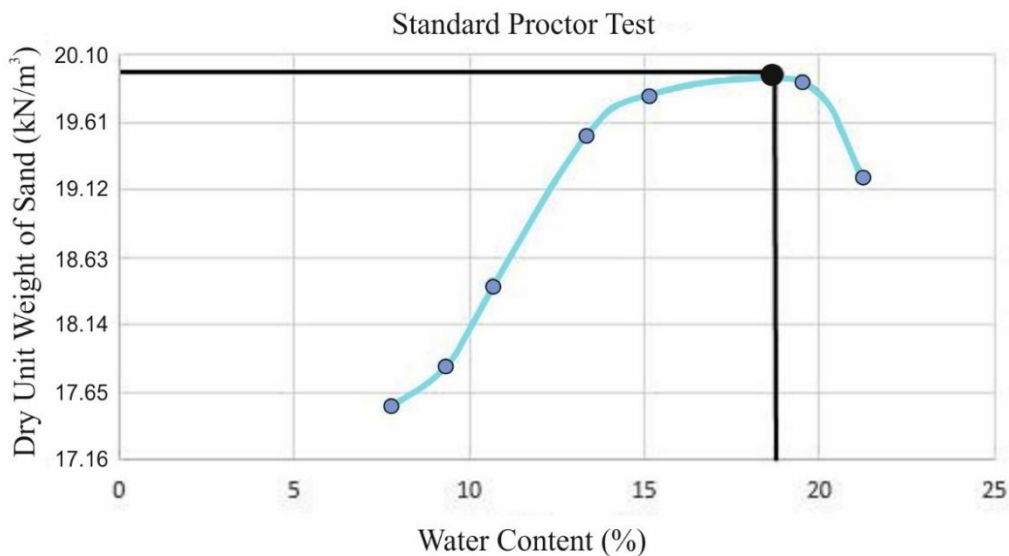


Figure 4. Water content versus dry unit weight relationships

Table 2  
Soil classification based on relative density (Lambe and Whitman, 1969)

Relative density ( $D_r$ )	Soil compactness
0 – 15%	Very loose
15 – 35%	Loose
35 – 65%	Medium dense
65 – 85%	Dense
85 – 100%	Very dense

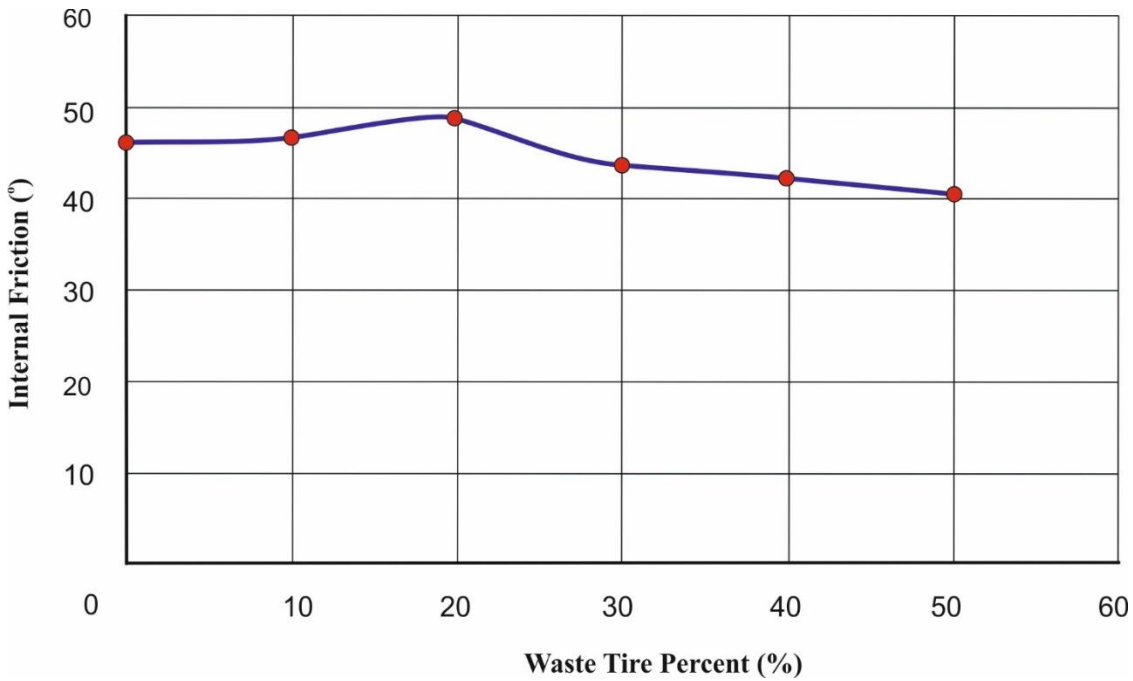


Figure 5. Variation in internal friction angle linked to tire content

There was a linear increase in cohesion values with highest value for the mixture containing 30% waste tires (52.465 kN/m<sup>2</sup>). However, when the tire content was above 30%, a reducing tendency was observed (Figure 6).

When the shear strength values obtained as a result of the shear box tests are examined, these values linearly increased in proportion to the waste tire content of the mixtures, in parallel to the internal friction angle values. Again, highest shear stress values were reached for the mixture containing 20% waste tires.

The failure envelopes obtained from all samples are shown in Figure 7. As seen on the figure, the soil containing only sand (0% tire) had 118 kN/m<sup>2</sup> shear strength under 100 kN/m<sup>2</sup> normal stress, while this value increased to 152.30 kN/m<sup>2</sup> for the 20% (waste tire) mixture (Aktürk, 2018).

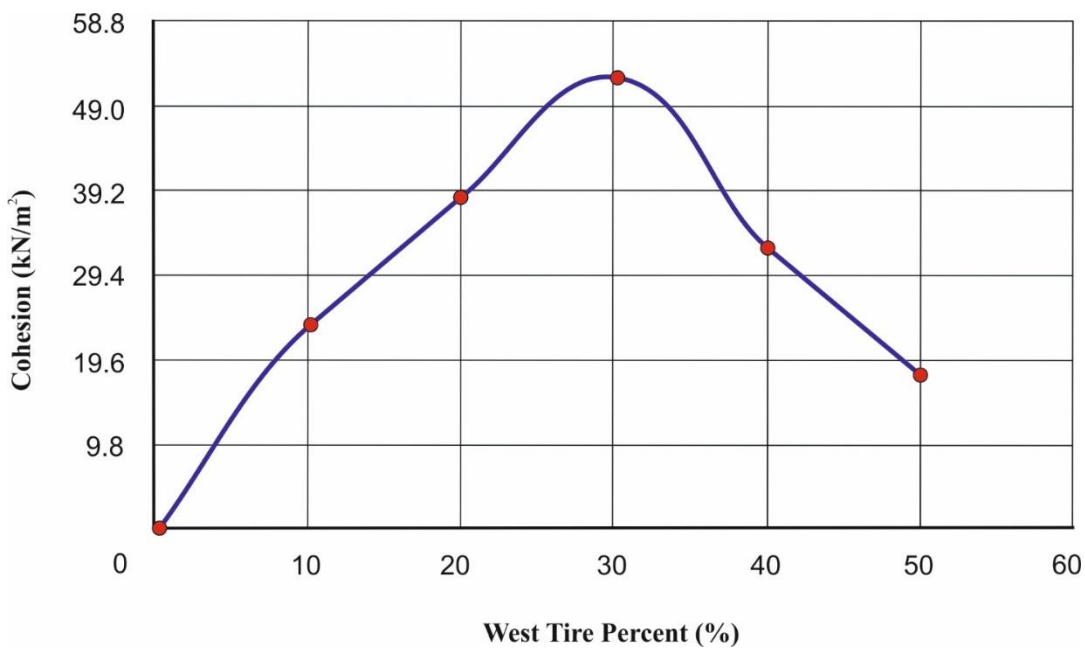


Figure 6. Variation in cohesion linked to tire content



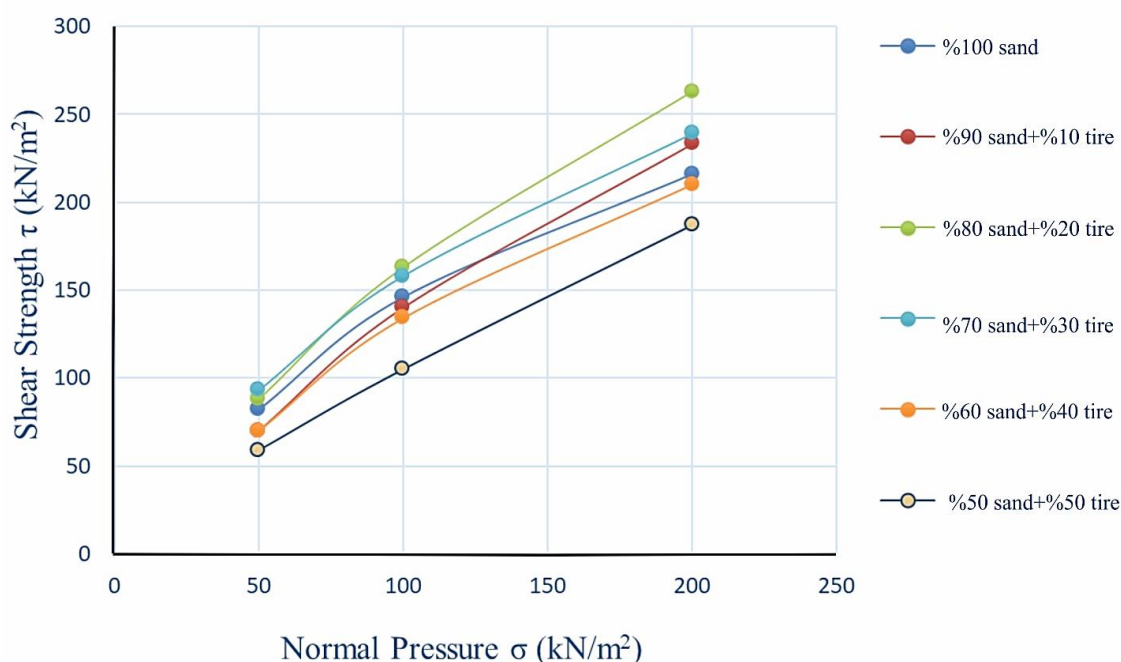


Figure 7. Normal stress vs. shear stress plot for the mixtures

In addition, column test was carried out to investigate the environmental impact of the 20% tire and 80% sand mixture obtained at the end of this study. Laboratory analyses were performed on the leachate from the mixture and the values for elements that may have a polluting role were investigated (hydrocarbon, arsenic, iron, chrome, chlorine, fluorine, nitrate, sulfate, aluminum, antimony, barium, beryllium, boron, cadmium, calcium, cobalt, copper, lead, lithium, magnesium, manganese, molybdenum, nickel, phosphorus, potassium, selenium, silver, sodium, vanadium, zinc, thallium). While the hydrocarbon amount remained below 50  $\mu\text{g}$ , there was no major cation encountered. For this reason, it was concluded that the leachate did not have any polluting effect.

#### 4. Conclusion

In this study the effect of waste tire contributions to sandy soils were investigated. Laboratory tests were carried out to determine the engineering properties of the soil sample collected from Güzelyalı. For this purpose, water content, sieve analysis, pycnometer and standard Proctor tests were performed. Soil was classified as SP-poorly graded sand. Then direct shear box tests were performed to determine the shear strength parameters of both soils alone and the waste tire-sand mixture. The increase in tire content caused an increase in strength to a certain value; however, continued increase then caused a reduction in strength parameters. Hence, the increase in tire amount after the optimum value provided shear strength values that were lower even then the situation where only sand material was used. Large-scale shear box tests and slope stability analysis are needed to determine the role of mixtures created with waste tire particles and sand material in different projects to be used in practice. This study also focused on identifying potential environmental problems of waste tires, which are considered to be used in practice. For this purpose, the leachability of the 20% tire and 80% sand mixture were investigated. Thus, column test was performed by using mixture and DI water. When the effluent was analysed, no contaminants were found. For this reason, the use of waste tires in this way gains importance in the sense of improvement and carries great importance for reuse of tires with no storage areas and with hundreds of tons discarded in the environment every year.

#### Acknowledgement

This study was produced from the master's thesis called "Effect of Tire Particles on Shear Resistance of Sandy Soils" supported by the Scientific Research Projects (BAP) no. FYL-2017-1181.

## Author Contributions

Koray AKTÜRK: Performed sampling studies in the field, completed experiments in the study and contributed to writing the article.

Öznur KARACA: Ensured the study was completed according to plan, performed sampling studies in the field, checked the completion of experiments in the study and contributed to writing the article.

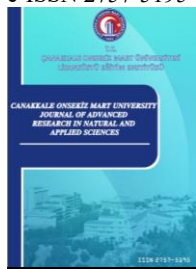
## Conflicts of Interest

The authors report no conflict of interest.

## References

- Aktürk, K. (2018). *Effect of granular waste tires on the shear strength of sandy soil (In Turkish)* (Unpublished master's thesis). Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- ASTM-D422 (2003). Standard test method for particle-size analysis of soils. *Annual Book of ASTM Standards*, pp. 10–17, Vol. 04.08. American Society For Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM-D3080 (2003). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. *Annual Book of ASTM Standards*, pp. 347–352, Sect. 4, Vol. 04.08. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Attom, M. F. (2006). The use of shredded waste tires to improve the geotechnical engineering properties of sands. *Environmental Geology*, 49(4), 497-503. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/227314487\\_The\\_use\\_of\\_shredded\\_waste\\_tires\\_to\\_improve\\_the\\_geotechnical\\_engineering\\_properties\\_of\\_sands](https://www.researchgate.net/publication/227314487_The_use_of_shredded_waste_tires_to_improve_the_geotechnical_engineering_properties_of_sands)
- Balaban, E., Smejda, A. & Onur, M. I. (2019). Influence of tire crumbs on mechanical properties of sand-fine soil mixtures. *Geomechanics and Geoengineering*, 1-16. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/17486025.2019.1688870>
- Bayat, O., Askarani, K. K. & Hajiannia, A. (2019). Effects of waste tire on the shear strength of sand. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/335797966\\_Effects\\_of\\_Waste\\_Tire\\_on\\_the\\_Shear\\_Strength\\_of\\_Sand](https://www.researchgate.net/publication/335797966_Effects_of_Waste_Tire_on_the_Shear_Strength_of_Sand)
- Benavente-Huaman, E., Navarro-Cardenas, M. ve Duran-Ramirez, G. (2019). Strength behaviour of shredded rubber silty sand mixtures. *In 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology*. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8943600>
- Cetin, H., Fener, M. & Gunaydin, O. (2006). Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as a fill material. *Engineering Geology*, 88(1-2), 110-120. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.09.002>
- Chang, N. B. (2008). Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, 86, 435–450. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706004294>
- Çataklı, T. & Ergüder, T. H. (2019). Biyo-devulkanizasyon: Atık lastik yönetiminde çevre dostu bir yaklaşım. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1), 20-34. Erişim tarihi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/44367/548695>
- Edil, T. B. & Bosscher, P. J. (1994). Engineering properties of tire chips and soil mixtures. *Geotechnical testing journal*, 17(4), 453-464. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/245403336\\_Engineering\\_Properties\\_of\\_Tire\\_Chips\\_and\\_Soil\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/245403336_Engineering_Properties_of_Tire_Chips_and_Soil_Mixtures)
- Erenson, C. (2015). *Atık lastiklerin taş/kum kolon uygulamalarında kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Eryılmaz, H. & Demirarslan, K. O. (2019). Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ötl) sınıflandırılarak geri dönüşümünün araştırılması. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 2(1), 50-56. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/smutgd/issue/45823/523437>
- Foose, G. J., Benson, C. H. & Bosscher, P. J. (1996). Sand reinforced with shredded waste tires. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(9), 760-767. Retrieved from: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1996\)122:9\(760\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:9(760))

- Ghaffari, J. (2020). Triaxial determination of shear strength of tire chips-sand-geotextile mixtures. *AUT Journal of Civil Engineering*. Retrieved from: [https://ajce.aut.ac.ir/article\\_3898.html](https://ajce.aut.ac.ir/article_3898.html)
- Göztepe B. (2016). *Experimental study on mitigation of earthquake hazards using rubber-soil mixture*. Yüksek Lisans Tezi. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Hataf, N. & Rahimi, M. M. (2006). Experimental investigation of bearing capacity of sand reinforced with randomly distributed tire shreds. *Construction and Building Materials*, 20(10), 910-916. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/229113150\\_Experimental\\_investigation\\_of\\_bearing\\_capacity\\_of\\_sand\\_reinforced\\_with\\_randomly\\_distributed\\_tire\\_shreds](https://www.researchgate.net/publication/229113150_Experimental_investigation_of_bearing_capacity_of_sand_reinforced_with_randomly_distributed_tire_shreds)
- Huat, B. B. K. (2010). Problematic soil in search for solution. Biography, Universiti Putra Malaysia Press Serdang p. 131. Retrieved from: <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/18250/2/INAUGURAL%20PROF.%20BUJANG.pdf>
- Humphrey, D. N., Katz, L. E. & Blumenthal, M. (1997). Water quality effects of tire chip fills placed above the ground water table. *Testing soil mixed with waste or recycled materials*. ASTM International. Retrieved from: [https://www.astm.org/DIGITAL\\_LIBRARY/STP/PAGES/STP15659S.htm](https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/STP/PAGES/STP15659S.htm)
- Humphrey, D. N. & Katz, L. E. (2000). Water-quality effects of tire shreds placed above the water table: Five-year field study. *Transportation research record*, 1714(1), 18-24. Retrieved from: <https://doi.org/10.3141/1714-03>
- Humphrey, D. N. & Swett, M. (2006). Literature review of the water quality effects of tire derive aggregate and rubber modified asphalt pavement. *Report for US EPA*. Retrieved from: <https://archive.epa.gov/epawaste/conserva/materials/tires/web/pdf/tdastudy.pdf>
- Keskin, M. S. & Laman, M. (2012). Atık lastik-kum karışımlarının kayma mukavemetinin laboratuvar deneyleriyle incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2): 27-36. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cukurovaummfd/issue/22761/242943>
- Lambe, T. W. & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.
- Marto, A., Latifi, N., Moradi, R., Oghabi, M. & Zolfeghari, S. Y. (2013). Shear properties of sand-tire chips mixtures. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18: 325-334. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/260390260\\_Shear\\_Properties\\_of\\_Sand\\_-\\_Tire\\_Chips\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/260390260_Shear_Properties_of_Sand_-_Tire_Chips_Mixtures)
- Ordu, E., Biçer, P., Ordu, S. & Abanozoğlu, E. G. (2017). An investigation on the soil stabilization with waste tyres materials in granular soils. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 1(1), 51-61. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/320646165\\_An\\_investigation\\_on\\_the\\_soil\\_stabilization\\_with\\_waste\\_tyres\\_materials\\_in\\_granular\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/320646165_An_investigation_on_the_soil_stabilization_with_waste_tyres_materials_in_granular_soils)
- Reddy, K. R. & Marella, A. (2001). Properties of different size scrap tire shreds: implications on using as drainage material in landfill cover systems. Retrieved from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.513.6637>
- Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*. Retrieved from: <https://trid.trb.org/view/127844>
- Şengezer, L. (2010). *Granüler zeminlerde dinamik kompaksiyon uygulaması*. Doktora Tezi. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Umu, S. U., Okur, D. V., Yılmaz, G. & Fırat, S., (2014). Dinamik yükleme şartlarında kum/lastik karışımlarının rijitlik ve sönüm özelliklerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 17 (1):13-21. Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/d578/8e17cbddb7fde13498ee23f47fedf6dd6271.pdf>
- Vinod, J. S., Tsang, M. N., Mastello, D., Indraratna, B. & Mashiri, M. S. (2015). The direct shear strength of sand-tyre shred mixtures. *Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering*, (pp. 193-196). Retrieved from: <https://ro.uow.edu.au/eispapers/4475/>
- Youwai, S. & Bergado, D. T. (2003). Strength and deformation characteristics of shredded rubber tire sand mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(2), 254-264. Retrieved from: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/t02-104>
- Zornberg, J. G., Cabral, A. R. & Viratjandr, C. (2004). Behaviour of tire shred sand mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, 41 (2): 227-241. Retrieved from: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/t03-086> url1: <https://atiksahasi.com/Omrunu-Tamamlamis-Lastikler>, Retrieved date: 15.11.2020



# Lipid Productivity of Marine Microalgae *Dunaliella tertiolecta* in Marmara Seawater and Johnson's Media with Different Salinities and Evaluation as A Raw Material Source for Biofuel Production

Togayhan Kutluk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

## Article History

Received: 18.12.2020

Accepted: 02.04.2021

Published: 30.06.2021


## Research Article

**Abstract** – The valuable components from microalgae are increasingly used in the synthesis of several commercial chemicals. Lipids from major microalgae crops are similar to lipids obtained from oilseed plants and can be converted into biodiesel, moreover, microalgae are more advantageous than plants in oil production in many ways. Therefore, oil and biodiesel production technology from microalgae is a current and interesting research topic. The effect of salinity in the nutrient medium on the growth and lipid productivity of marine microalgae *Dunaliella tertiolecta* was examined. The usability of Marmara Seawater (MSW) as a growth medium and its suitability for microalgae were also investigated. The highest cell concentration (1.53 gdw / L), growth rate ( $\mu_{max}=0.006 \text{ h}^{-1}$ ) and oil productivity (12.8 g / L. Day) ( $10^{-3}$ ) in nutrient medium (5g) were obtained. On the other hand, the cetane (CN) number was calculated according to the dominant arachidic acid (C20:0), it was determined as 74.9 and the mean molecular weight of the oil was determined as 849.1 g / mol. According to the experimental results, it is predicted that microalgae lipids will be widely used as an alternative to vegetable oils soon as raw materials.

**Keywords** – Algae oil, biofuel, cetane number, dunaliella, fatty acids, microalgae, salinity

## 1. Introduction

Microalgae are unicellular microorganisms that are extensively found in marine and freshwater ecosystems. They are classified according to their shape, pigment content, and differences in their life cycle. Diatoms and blue-green microalgae show the most common distribution according to their abundance in nature (Chisti, 2007). Microalgae are used in different industrial areas with the valuable organic chemicals they contain, and microalgae biotechnology is becoming increasingly important today. The use of microalgae as cellular biofactories for the synthesis of valuable bioproducts for the aquaculture (fish feed), food, pharmaceutical, and biofuel sectors attracts high interest (Eryalçın et al., 2013; Kutluk, 2019). Microalgae are grown in closed (photobioreactor) or open (pool) systems. The production of valuable organic materials produced from microalgae is carried out using a light source (sun) and carbon dioxide photosynthetically. While outdoor pools are suitable for such production in tropical ecosystems, photobioreactors are used for microalgae production in countries that cannot utilize solar energy all day long. Also, recently, for high oil production from microalgae, using sugar and acetic acid as carbon sources, oil is obtained heterotrophically in a non-light environment (Ganuza & Izquierdo, 2007). Three macromolecular compounds are extracted from microalgal biomass: fat, carbohydrate, and protein. These chemical compounds can be converted into fuels such as alcohol, biodiesel, green diesel, methane, and of the reaction of vegetable, algal, or animal origin oils with two main alcohol (methanol or ethanol) by a suitable catalyst. However, despite its many advantages such as biodiesel biodegradability and low emission characteristics, it still cannot be where it deserves commercially. The main reason for this is that the raw material (oil), which is the biggest cost item of biodiesel, is expensive (Mata et al., 2010). Otherwise, oils, which are major microalgae products, are similar to oils obtained from

<sup>1</sup>  togay71@gmail.com

\*Corresponding Author

oilseed plants in terms of triglyceride content and can be converted into biodiesel (Knothe, 2010). The fact that the natural oil (lipid) form produced by microalgae is suitable for biofuel synthesis puts microalgae in a privileged place in this application (Stephens et al., 2010). Biomass extraction from microalgae, which is called the third generation energy source, has recently become important. Studies on obtaining lipids which are used as a raw material for biodiesel, from microalgae, which offer a potential to contribute to reducing dependence on fossil fuels, have increasingly continued in recent years. Lipid production mechanisms may change under different stress conditions (Nitrogen and Phosphorus restriction etc.) applied to the food environment of microalgae (Mata et al., 2010). The amount of lipid in microalgae generally varies between 20-50 %, in some of them, this ratio can be up to 80% (Halim et al., 2012). *Dunaliella salina* shows lipid accumulation which up to 70% of its cell content in response to high environmental salinity (Takagi & Yoshida, 2006). *Dunaliella sp.*, which is cultured in commercial levels in the world. The direct conversion of algae biomass to biodiesel raw material contributes to the economy (Pick & Avidan, 2017). It has been reported that *Dunaliella tertiolecta* has a lipid capacity of 36-42% (Tsukahara & Sawayama, 2005). *Dunaliella tertiolecta* is a hopeful microorganism for alternative fuel applications for the synthesis of biodiesel for major reasons: its high salt tolerance, It is not affected by harsh climate conditions, and is not contaminated easily (Pick & Avidan, 2017; Tang et al., 2011).

In this study, the *Dunaliella tertiolecta* species was selected considering factors such as its easy availability, specific morphological characteristics, resistance to contamination, adaptation to cold and heat, and different pH requirements. The influence of salinity in the nutrient medium on the growth and lipid productivity of marine microalgae were analysed. According to the author's knowledge for the first time in literature, the use of Marmara Seawater (MSW) as a growth medium and its suitability for microalgae were also investigated. Finally, *Dunaliella tertiolecta* was evaluated for utilization as a raw material for biodiesel synthesis.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

Microalgae culture was gained from the culture collection of Dr.Turgay ÇAKMAK (İstanbul Medeniyet University /TURKEY). Johnson's nutrient medium and Marmara seawater with 24% salinity was used as growth media. Johnson's media has been prepared using distilled water under laboratory conditions. "No nutrients have been added in MSW It was aimed to investigate that the microalgae species used in the study are grown in the synthetic environment and natural environment (MSW) and the effects of these environments on microalgae oil productivity. It Is Specified that in The Marmara Sea Report Published in 2016 by The Ministry of Environment and Urbanisation, In the MSW close to the coast section where it is in open waters in the range of 0.02-15.9  $\mu\text{M}$ , 0,05-0,53  $\mu\text{M}$   $\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$  elements are specified respectively. The chemical composition of Johnson's medium and other solutions are shown in Table 1, Table 2, and Table 3.

Table 1  
Chemical composition of Johnson's medium

Chemical	Formula	Molecular Weight (g/mole)	Quantity (g)
Magnesium chloride hexahydrate	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	203.30	1.5
Magnesium sulfate heptahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.47	0.5
Potassium chloride	KCL	74.55	0.2
Calcium chloride	$\text{CaCl}_2$	110.98	0.2
Potassium nitrate	$\text{KNO}_3$	101.10	1.0
Sodium bicarbonate	$\text{NaHCO}_3$	84.01	0.043
Potassium dihydrogen phosphate	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	136.09	0.035

\*Prepare 980 ml and add 10 milliliters of iron solution (Table 2) and trace element solution (Table 3) to 1 liter.



Table 2  
Iron solution (for 1 Liter)

Chemical	Formula	Molecular Weight (g/mole)	Quantity (g)
The ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt	$C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$	372.24	1.89
Ferric chloride hexahydrate	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270.30	2.44

Table 3  
Trace element solution (for 1 Liter)

Chemical	Formula	Molecular Weight (g/mole)	Quantity (mg)
Zinc chloride	$ZnCl_2$	136.30	4.1
Boric acid	$H_3BO_3$	61.83	61.0
Cobalt(II) chloride hexahydrate	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	237.93	5.1
Copper(II) chloride dihydrate	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	170.48	4.1
Manganese(II) chloride tetrahydrate	$MnCl_2 \cdot 2H_2O$	197.91	4.1
Ammonium molybdate tetrahydrate	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	1235.86	38.0

The salt source NaCl and other chemicals used in the study were in chromatographic purity and Merck brand. The prepared nutrient medium was sterilized in an autoclave at 121°C under 1-atmosphere pressure for 20 minutes. Microalgae species were cultured under continuous illumination (at a light intensity of 3 Klux Osram Led) on IKA RCT brand magnetic stirrers set at 150 rpm at room temperature.

## 2.2. Microalgae Cultivation Under Different Salinities and Marmara Seawater

Experiments were carried out in 100 ml open flasks. Microalgae inoculating from stock cultures to 5% of the growth medium. The starting temperature of cultures is set at  $25 \pm 2^\circ C$ . Temperature and pH were measured with a relative accuracy of  $\pm 0.5^\circ C$  and  $\pm 0.001$  pH respectively with Mettler Toledo S20 SevenEasy model pH meter. The pH value of the medium was initially measured at 7.59. The culture's environments were naturally ventilated from the surface. The cell concentration and growth were determined spectrophotometrically at 600 nm using Jenway 6800 UV Vis. Spectrophotometer. Different proportions of salt to Johnson's media (5,10, 30) g/100ml. Also, MSW contains 24% salinity (Türkoğlu et al., 2004). Sea water samples were taken from Marmara Sea (Kocaeli Değirmendere with GPS coordinates  $40^\circ 43' 34.5'' N$   $29^\circ 47' 40.0'' E$ ). The growth rate was determined according to Eq.2.1.

$$\ln \frac{X}{X_0} = \mu_{net} \cdot t \quad \text{or} \quad X = X_0 e^{\mu_{net} \cdot t} \quad (2.1)$$

Where  $\mu_{net}$  net specific growth rate, X, and  $X_0$  are cell concentration at t, and t = 0. Doubling time of the microorganism determined by Eq. 2.2.

$$\tau_d = \frac{\ln 2}{\mu_{net}} = \frac{0.693}{\mu_{net}} \quad (2.2)$$

## 2.3. Microalgae Sampling and Harvesting

Samples of 3 ml were collected regularly from culture media for pH, temperature, and absorbance measurements. Microalgae removed from the liquid media by centrifuge (5000 rpm/5 min) and then dried in an 80°C oven per night. The experimental system was repeated 2 times. The number of dry microalgae (gdw/L) obtained from 100 ml flasks after harvesting is given in Table 4.

Table 4

Effect of different salinities on growth and lipid content for *Dunaliella tertiolecta*

Salinity (g)	X <sub>max</sub> (gdw/L)	μ <sub>max</sub> (h <sup>-1</sup> )	Doubling Time (h)	Fat content (%)	Lipid productivity (g/L. day)(10 <sup>-3</sup> )
5	1.53	0.06	11.6	15	12.8
10	1.12	0.05	13.9	12	7.4
MSW(24)	0.99	0.06	11,6	7	3.8
30	0.72	0.05	13.9	5	2.0

## 2.4. Lipid and Fatty Acid Profile Analyses

20 ml of a 0.4% CaCl<sub>2</sub> solution on a 0.2 g sample was added to 120 ml of methanol /chloroform 1/2 and then stirred on a magnetic stirrer for three hours. After, the drained samples from the filter paper (Whatman No: 1) were stored in the filter for two hours at 105°C and filtered through the flasks. The mouths of the balloons were closed in an air-tight manner and kept in a dark place for one night and the next day the top layer consisting of methanol-water was collected with the help of a separating funnel. The chloroform remaining in the bubbles was evaporated from the lipid to chloroform at 60°C in the dryer. The balloons were then allowed to stand at 90°C for one hour to allow the entire chloroform to evaporate and cooled to 25°C in the desiccator. The mass of the oil was specified gravimetrically (Bligh & Dyer, 1959). Microalgae oil content was determined according to Eq. 2.3.

$$\text{Oil content \%} = \frac{[\text{Flask tare (g)} + \text{Lipid (g)}] - [\text{Flask tare (g)}]}{\text{Sample amount (g)}} \times 100 \quad (2.3)$$

The fatty acid composition was determined in gas chromatography (Agilent GC 7820) with the help of Agilent application notes. Analysis conditions are clearly stated in the application notes (David et al., 2005). No internal standard was used in GC analysis.

## 2.5. Cetane Number (CN) Identification

Fatty acids CN of oils obtained from microalgae were calculated according to Eq.2.4 (Klopfenstein, 1982).

$$\text{CN} = 58.1 + [(1.4) \times (n-8)] - [15.9 \times (\text{double bond number})] \quad (2.4)$$

*n* indicates that the number of carbons in fatty acid

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Microalgae Growth Behaviour

Important parameters affecting microorganism culture growth or cultivation; nutrient quality and quantity of the medium, light, pH, salinity, and temperature. These parameters can vary by species. The parameter, which is optimum in the environmental conditions created in the studies, may not be optimum for another environment (Chisti, 2007). The salinity value varies according to the microalgae species (Mata et al., 2010). The time-dependent growth of *Dunaliella tertiolecta* in photobioreactors under the influence of different salinities is shown in Figure 1.

For *Dunaliella tertiolecta*, as can be seen from Figure 1, microorganism growth in all media increased at different rates until the 96th hour. From this hour until the 240th hour, microorganism cell concentrations increased at low rates, after the 240th hour the growth increased a little more until the 384th hour and after this time it switched to the stagnant phase. The microorganism adapted to all conditions and showed a tendency to grow at different growth rates.

After 18 days of culture, the highest cell concentration (1.53 gdw/L), growth rate ( $\mu_{\max} = 0.006 \text{ h}^{-1}$ ) and oil productivity (12.8 (g/L.Day) ( $10^{-3}$ )) in nutrient medium (5 g) were reached (Table 4). Microalgae oil from *Dunaliella Tertiolecta* is shown in Figure 2.

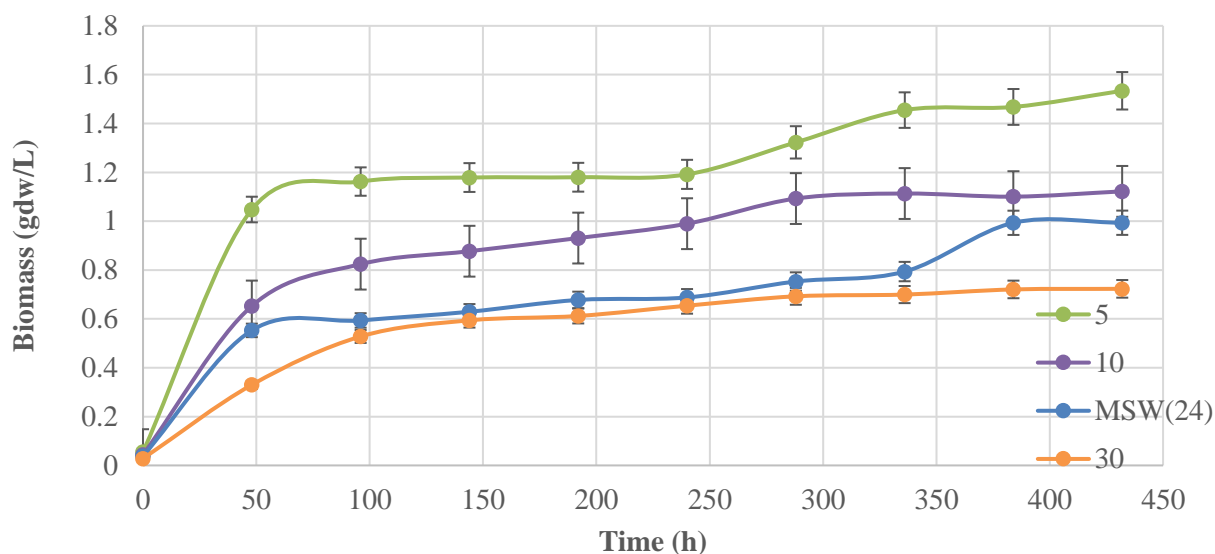


Figure 1. *Dunaliella tertiolecta* growth curve under different salinities

It was determined that with the increase of salt starvation in the growth media the oil production within the microorganism also increased. According to the author's knowledge, limited studies are examining the behavior and lipid production potential of *Dunaliella tertiolecta* under salt starvation. A comparable single study, Hopkins et al. (2019) reported that the lipid which they obtained from microalgae was suitable as a raw material source for biofuel manufacture. Besides by reaching the highest cell concentration for *Dunaliella* species in f2 nutrient media containing 120 g / L salinity. The pH changes of the photobioreactors during the culture are given in Figure 3.



Figure 2. Microalgae oil from *Dunaliella tertiolecta*

During the culture, an increase was observed in pH values depending on the growth and after the 384th hour, it changed between 10.2 and 10.6 with small fluctuations. In autotrophic cultures, microalgae use inorganic carbon and release hydroxyl into the environment. Therefore, the pH of the environment is expected to rise and be stable after a certain time (Kutluk, 2019). As can be seen from Figure 2, the initial pH of the environment is around 7.5 for each culture.

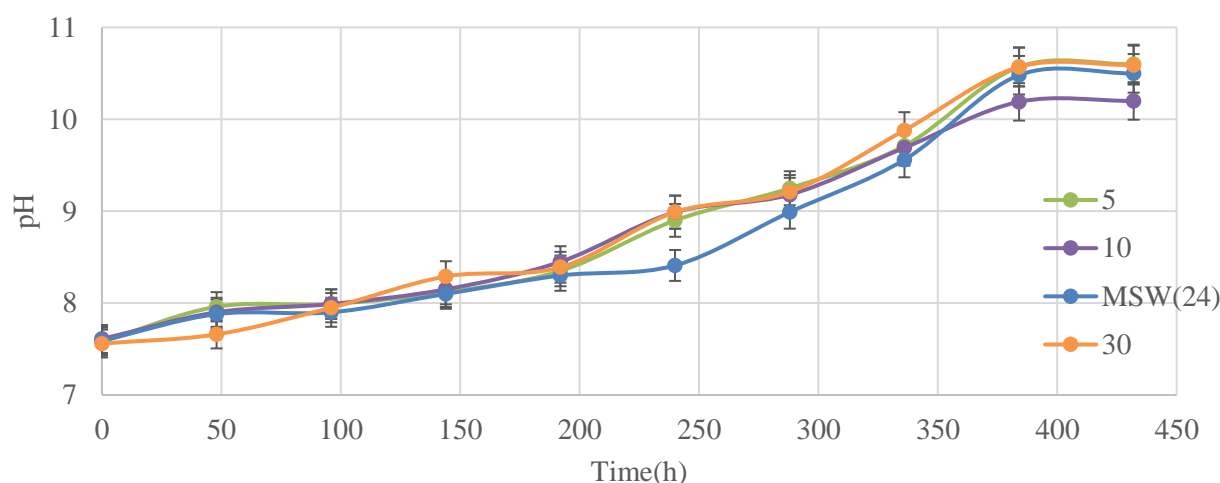


Figure 3. pH distribution in cultures under the different salinities

### 3.2. Fatty Acid Distribution of *Dunaliella tertiolecta*

The fatty acid dispersion and the amount of fat synthesis by microalgae vary by species. Fatty acid compositions or profiles may also vary depending on the physical (light, temperature) and chemical (compounds in the nutrient media) conditions of the growing medium. Generally, the fatty acids of microalgae species vary between C12 and C22. In some species, the upper limit can be up to C24 (Halim et al., 2012). The fatty acid profile of *Dunaliella tertiolecta* microalgae is given in Table 5.

Table 5  
Fatty acid compositions of *Dunaliella tertiolecta*

Type of fatty acid	Percentage %
C17:0 Heptadecanoic	8.6
C18:1 Oleic	17.8
C18:2 Linoleic	25.3
C18:3 $\alpha$ -Linoleic	9.4
C20:0 Arachidic	30.2
C20:1 Eicosenoic acid	8.7

The fatty acid dispersion of the microalgae oil changes between C17 and C20:1. The CN was calculated according to the dominant arachidic acid, it was determined as 74.9 and the mean molecular weight of the oil was determined as 914.3 g / mol. CN is very high. It is expected that methyl or ethyl esters (biodiesel) to be obtained from this oil can be easily ignited and burned rapidly.

CN is major characteristics determining the ignition quality of the fuel to be used in a diesel engine. CN of esters of edible oils than diesel fuel higher (Krisnangkura, 1986). The diesel fuel CN is between 55 and 60. The CN in biodiesel varies between 55 and 75, the CN of biodiesel is higher than diesel as can be seen (Klopfenstein, 1982). Fuel with a high CN is easily flammable and can burn quickly. A comparable study with the same microalgae species Hopkins et al. (2019) reported that the fatty acid dispersion of the microalgae oil is rich in C16 and C18. They have also demonstrated its suitability for biodiesel production.

#### 4. Conclusion

In this study, the influence of salinity in the nutrient medium on the cultivation and lipid productivity of marine microalgae was investigated. The usability of Marmara Seawater (MSW) as a growth medium and its suitability for microalgae were also investigated. Finally, *Dunaliella tertiolecta* was evaluated for utilization as a feedstock for biofuel industries.

From the obtained experimental data, it is possible to draw some conclusions from this study;

- After 18 days of culture, the highest cell concentration (1.53 gdw/L), growth rate ( $\mu_{max} = 0.006h^{-1}$ ) and oil productivity (12.8 (g/L.Day)( $10^{-3}$ )) in nutrient medium (5 g) were reached.
- The CN and molecular weight of the oil were calculated according to the dominant arachidic acid (C20:0), it was determined as 74.9 and 849.1 g/mol respectively.

The results obtained from this study are promising for future studies and environmentally friendly industrial enterprises that are planned to be established. Besides, it is predicted that microalgae lipids will be widely used as an alternative to vegetable oils soon as raw materials.

#### Acknowledgment

The author thanks Prof. Dr. Turgay ÇAKMAK for providing microalgae culture.

#### Author Contributions

Togayhan KUTLUK: Conceived and designed the analysis, Collected data, performed the analysis, and wrote the paper.

#### Conflicts of Interest

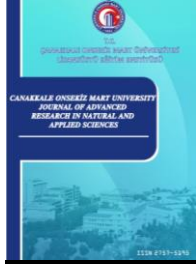
The author declares that have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### References

- Bligh, E. G., & Dyer, W.J. (1959). A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917. DOI:<https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- David, F., Sandra, P. & Vickers, A.K. (2005). Column selection for the analysis of fatty acids methyl esters. Application Agilent Technologies Incorporation. Retrieved from: <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5989-3760EN.pdf>
- Eryalçın, K. M., Roo, J., Saleh, R., Atalah, E., Benítez, T., Betancor, M. & Izquierdo, M. (2013). Fish oil replacement by different microalgal products in micro diets for early weaning of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.). *Aquaculture Research*, 44(5), 819-828. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03237.x>
- Ganuza, E. & Izquierdo, M. (2007). Lipid accumulation in *Schizochytrium G13/2S* produced in continuous culture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76, 985–990. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00253-007-1019-4>
- Halim, R., Danquah, M. K., Webley, P. A. (2012). Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A review. *Biotechnology Advances*, 30(3), 709-732. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.01.001>
- Hopkins, T.C., Sullivan Graham, E.J. & Schuler, A.J. (2019). Biomass and lipid productivity of *Dunaliella tertiolecta* in a produced water-based medium over a range of salinities. *Journal of Applied Phycology*, (31), 3349–3358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01836-3>
- Klopfenstein, W. E. (1982). Estimation of Cetane Index for Esters of Fatty Acids. *Journal of American Oil Chemists Society*, 59(12), 531–533. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02636316>
- Knothe, G. (2010). Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 364-373. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>



- Krisnangkura, K. (1986). A Simple Method for Estimation of Cetane Index of Vegetable Oil Methyl Esters. *Journal of American Oil Chemists Society*, 63(4), 552–553. DOI:<https://doi.org/10.1007/BF02645752>
- Kutluk, T. (2019). Production of Different *Chlorella* Species used in Biodiesel and Waste Water Treatment. (Ph.D. thesis). Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Mata, M.T, Martinas, A.A. & Caetano, N.S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14,217-232. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano N.S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217-232. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Pick, U. & Avidan, O. (2017). Triacylglycerol is produced from starch and polar lipids in the green alga *Dunaliellatertiolecta*. *Journal of Experimental Botany*, 68(17), 4939–4950. DOI:<https://doi.org/10.1093/jxb/erx280>
- Stephens, E., Ross, I.L., Mussgnug, J.H., Wagner, L.D., Browitzka, M.A., Posten, C., Kruse, O. & Hankamer, B. (2010). Future prospects of microalgal biofuel production systems. *Trends in Plant Science*, 15, 554–564. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.06.003>
- Takagi, M. & Yoshida, T. (2006). Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 10, 223–226. DOI:<https://doi.org/10.1263/jbb.101.223>
- Tang, H., Abunasser, N., Garcia, M.E.D., Chen, M., Simon, K.Y. & Salley, S.O. (2011). Potential of microalgae oil from *Dunaliellatertiolecta* as a feedstock for biodiesel. *Applied Energy*, 88:3324–3330. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.013>
- Tsukahara, K. & Sawayama, S. (2005). Liquid Fuel Production using Microalgae. *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 48(5), 251-259. DOI:<https://doi.org/10.1627/jpi.48.251>
- Türkoğlu, M., Yenici, E., İşmen, A., & Kaya, S. (2004). Variations of nutrient and chlorophyll-a in the Çanakkale Strait (Dardanelles). *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 21, 93-98. Retrieved from: <http://www.egejfas.org/tr/download/article-file/57874>



# Assessment of Habitat Quality of Bozalan Clay Quarry Wetland (Ezine, Çanakkale) Using Macroinvertebrates and Water Quality Parameters

Serpil Odabaşı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vocational School of Marine Technologies, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

## Article History

Received: 03.03.2021

Accepted: 15.06.2021

Published: 30.06.2021

## Research Article


**Abstract** – In this study, it is aimed to determine the habitat quality of the Bozalan quarry wetland by using diversity and a compositional index of benthic macroinvertebrates and some of the water quality parameters. The field studies were conducted in the three sampling sites chosen in the wetland three times (March, April, and May) in 2018. The standard multi-habitat method was used for the benthos sampling. Besides, water sampling was performed for the parameters measured *in-situ* and analyzed in the laboratory to reveal the water quality status of the wetland. Some of the diversity index values of the benthic macroinvertebrates including Shannon Wiener ( $H'$ ), Evenness Index (EI), and BMWP-e were calculated. The results showed that the sampling sites were categorized into higher classes (I and II) in general according to water quality criteria of the surface waters of Turkey. Fourteen taxa of benthic macroinvertebrates were identified. The most dominant taxa were *Coenagrion* sp. (42.31%), *Baetis rhodani* (15.38%), and *Physella acuta* (10%) in the study area. The highest number of individuals of macroinvertebrates was obtained in March (62 ind./m<sup>2</sup>), meanwhile the highest taxa number was determined in May (10 taxa). The  $H'$  index was reached its highest value in May (1.723), whereas the lowest value of the index was in March (1.054). The highest score of the BMWP-e was found in May (26), while the lowest score was found in April (16).

**Keywords** – Biodiversity, clay quarry, community index, macroinvertebrates, secondary wetland

## 1. Introduction

The increasing need for energy and raw materials global-scale has been significantly contributed to environmental impacts. Mining activities are one of the main issues that draw attention to the effects of the environment including land degradation, noise, and water pollution (Dudka & Adriano 1997). Thus, environmental protection is required for the sustainable development of a country (Monjezi, Shahriar, Dehghani & Samimi Namin 2009). On one hand, an open mining operation eliminates habitats and natural communities on the surface, on the other hand, may result in new habitats such as artificial wetlands through filling the pits by precipitation and groundwater. Though these unnatural wetlands in other words, “secondary wetlands”, are mainly not designed to create a natural reserve for wildlife, these environments can be tempting for some organisms, as it visually looks like a natural aquatic environment (Dolny & Harabis, 2012). Consequently, these habitats might be promoting the local biodiversity and persist the communities (Bendell-Young et al., 2000; Scheffers & Paszkowski, 2013; Thiere et al., 2009). In contrast to natural habitats, artificial wetlands need time for the recovery of all the life forms (Zhang, Yuan & Wang, 2019), meaning that the recolonization stage of an organism begins from the first level: the introduction stage (Suding, Gross & Houseman, 2004).

Monitoring the macroinvertebrates in the natural aquatic habitats are primary elements of biological monitoring studies due to their ubiquitous dispersion and enormous species numbers (Mandaville, 2002). Thus, there is plenty of research focused on the biological monitoring using aquatic macroinvertebrates to assess the ecological quality of aquatic habitat and estimate the intensity of anthropogenic impacts (Rosenberg & Resh 1993; Borcharding & Volpers 1994). However, very little attention is paid to macroinvertebrates in the newly established habitats such as abandoned quarry wetlands (Zhang, Yuan & Wang, 2019).

<sup>1</sup>  serpilodabasi@comu.edu.tr

The present study is conducted on the Bozalan Clay Quarry Wetland (northwest Turkey), where the open-pit mining operation continues which covering an area of about 99 hectares. Operation area is a forest status and there is a first-degree natural protection zone approximately 650 m. far from the license border of the quarry. As the operation area has been used for clay extraction since 1980, an artificial pond as a secondary wetland has been formed at the base of the site which is partly surrounded by the reeds, most common wetland plants namely, *Phragmites* sp. and *Typha* sp. In the present study, it was aimed to evaluate the ecological status of the quarry wetland using the monitoring macroinvertebrates and some of the water quality parameters to provide information on the monitoring programs for the secondary wetlands.

## 2. Materials and Methods

The study area, Bozalan Clay Quarry wetland, is located near the Bozalan village, Ezine district of Çanakkale-Turkey (Northwestern Turkey) (Figure 1). The mining area is established on an area of 99.27 ha since 1980. The water-filled at the base of the operation area and then it was arranged and rehabilitated as an artificial wetland to serve biodiversity (including bird and aquatic species) under the supervision of an academic team in 2014 (Güçlü, Tokoğlu & Vardar, 2014). The water source of the wetland is mainly rainfall and a small amount of groundwater that contributes to keeping the water level at a constant level in the dry season. On the other hand, there is a spillway designed to prevent floods during the wet season. Therefore the artificial wetland has a constant level of water all year round. The maximum depth of the quarry wetland was 1.5 m at the sampling periods.

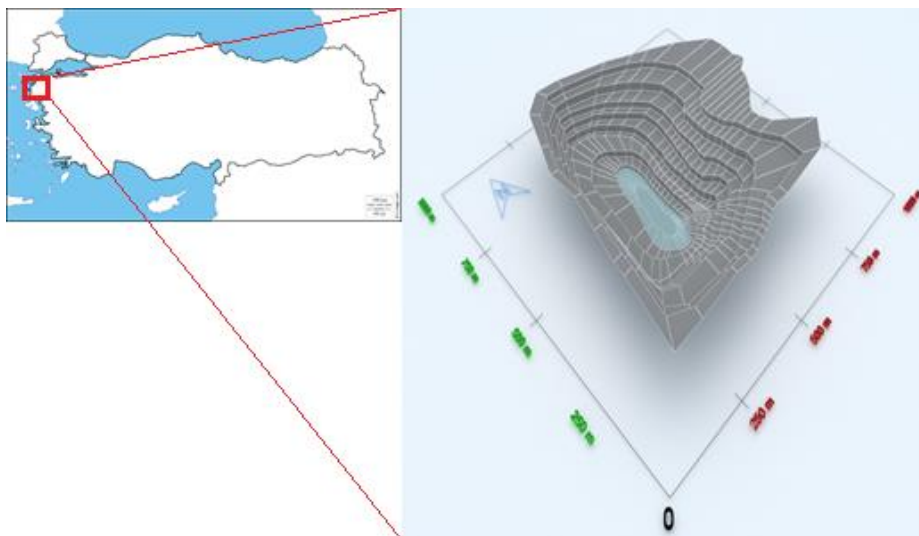


Figure 1. The study area

Three field studies were carried out on the three sampling sites preselected in the wetland in 2018. The sampling periods were March, April, and May in 2018.

Some of the physical and chemical parameters of the water including temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids and dissolved oxygen were recorded *in-situ* using portable multi-parameter equipment (Hanna, HI 98194), concurrently the benthic sampling was performed in the three sampling sites. Water samples were taken into polyethylene bottles from the station 2 for determination of concentrations of some elements (i.e. B, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, ) and some ions (e.g. Cl and  $\text{SO}_4^{2-}$ ) and transferred to the laboratory in a cool place. Element and ion analysis were performed by ICP-OES (with the range of 160-900 nm) and classical method (TS4164 ISO9297, SM4500  $\text{SO}_4^{2-}$ D) respectively in Çanakkale Onsekiz Mart University, Science and Technology Application and Research Center. For the determination of the microbiological load, water samples were taken into sterile-dark glasses bottles (250 ml). All the samples were kept under cool conditions using an insulated box to transferring to the laboratory of Microbiology, Faculty of Marine Science and Technology (ÇOMU). Inoculation was made to reveal the Total Aerobic Bac-

treia Count (TAB) (log-n cfu/ml), Total Coliform (TC) (log-n cfu/ml), Fecal Coliform (FC) (log-n cfu/ml), and Fecal *Streptococcus* (FS) (log-n cfu/ml). Plate Count Agar (PCA) (Merck 1.05463), Violet Red Bile Agar (VRB) (Merck 1.014060), and D-Coccosel Agar (DCA) (bioMérieux) were used in Total Aerobic Bacteria Count, Total and Fecal Coliform, and Fecal Streptococcus, respectively. The spread plate method was performed in microbiological inoculations. Total Aerobic Counts is intended to determine the microbial density in the surface water. This method was applied into PCA for 24-48 hours at 37 °C using cooled incubator. The same procedure was applied to Total Coliform and Fecal Streptococcus inoculations using VRB Agar. Fecal Coliform was applied into DCA for 24-48 hours at 44.5 °C (FDA-BAM 2001; Halkman 2005).

The benthic macroinvertebrates community was sampled with a standard multi-habitat-sampling method by using hand-net (covering area: 0.0625 m<sup>2</sup>, 0.5 mm mesh size; ISO 10870:2012) from the different representative locations in the wetland. After sampling, the samples transferred to the laboratory. The samples washed by tap water and the macroinvertebrates were sorted and then fixed by ethanol (80%). Identification was made under binocular and stereo microscope. All macroinvertebrates were identified to the lowest feasible taxonomic level and counted. For Identifications Şahin (1991), McCafferty (1981), Glöer (2015) were used.

Dominance and frequency percentages of the macroinvertebrates were calculated according to formula mentioned by Kazancı & Dügel (2000). Some biodiversity indices including Shannon wiener (H') and Evenness index (EI) of the benthic macroinvertebrates were calculated using PAST (ver1.75. On the other hand, Spanish version of biological monitoring working party (BMWP-e), a compositional index, was calculated.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Physical and Chemical Parameters

Water quality parameters that were measured *in-situ* are showed very limited fluctuation between sampling periods. All parameters are in acceptable ranges according to the Water Quality Criteria Legislation of Turkey (WQCL) (Anonymous, 2015). pH levels were varied between 7.39 and 7.74. Dissolved oxygen (DO) concentrations were varied between 3.63 and 5.08 ppm, in the II and III of the WQCL category. The temperature (T) of water fluctuated in parallel with the atmospheric temperature. Electrical conductivity (EC) values were nearly constant in all sampling periods. All total dissolved solids (TDS) levels were categorized as class II according to the WQCL except first and third sampling sites in May. TDS values of the sampling sites were found in correlation with the EC values (Table 1).

Table 1

Water quality parameters of clay quarry wetland measured *In-situ* with the water quality classes.

Date	Station	pH	DO (ppm)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)
5.03.2018	1	7.70	3.63 (III.)	15.3	1530	767 (II.)
	2	7.74	4.09 (II.)	17.3	1583	791 (II.)
	3	7.42	4.48 (II.)	14.01	1480	740 (II.)
5.04.2018	1	7.39	5.08 (II.)	14.1	1467	729 (II.)
	2	7.69	3.92 (III.)	21.96	1429	738 (II.)
	3	7.54	4.46 (II.)	16.3	1355	678 (II.)
29.05.2018	1	7.47	4.48 (II.)	23.1	1567	424 (I.)
	2	7.55	4.21 (II.)	22.76	1412	518 (II.)
	3	7.36	4.01 (II.)	21.3	1511	387 (I.)

Considering the element and ion parameters of the water were compared to WQCL. Accordingly, chlorine (Cl) concentration was in class IV respectively. Apart from Cl, all the concentrations of ions were found in acceptable ranges (WQCL Class I) (Table 2). The water quality parameters that were measured in this study showed that the artificial wetland could be used as a recreational purpose.

Table 2.  
Element and ion concentrations of the clay quarry wetland water.

Parameter	Value		
	05.03.2018	05.04.2018	29.05.2018
P (mg/L)	0.122	0.121	0.117
Co (µg/L)	ND	3.527	ND
Cd (µg/L)	ND	2.116	ND
Ba (µg/L)	69.24	34.55	125.70
Fe (µg/L)	8.226	20.98	11.36
B (µg/L)	30.33	19.69	ND
Mn (µg/L)	13.29	4.298	10.58
Mg (mg/L)	27.84	25.34	32.68
Ca (mg/L)	40.54	37.80	44.81
Cu (µg/L)	6.951	4.992	ND
Na (mg/L)	34.19	24.32	35.30
K (mg/L)	1.821	1.184	2.155
Cl (mg/L)	60.27	58.49	65.58
SO4-2 (mg/L)	71.78	84.29	46.93

ND: Not Determined (Out of the measuring range).

### 3.2. Microbiological Parameters

In the microbiological analyses, total aerobic bacteria (TAB) counts might show probable contamination to the water source. Especially in surface waters winds, precipitation, and rising temperature can be caused an increase of the TAB. According to the Ministry of Health, our TAB values were over the limitation of human consumption purpose of water legislation (Anonymous, 2016). Total aerobic bacteria counts indicate that the water of the wetland is not suitable for use domestic and household consumption, because categorized as class II by this parameter. Throughout the study period, FC and FS bacteria were not detected. Fecal coliform comes from the digestive systems of hot-blooded animals and humans (Halkman, 2005), so it could be an indication of contamination. The absence of these parameters was indicated that is no domestic discharge into the area. When TC values were compared to WQCL for surface waters, the study area can be placed into class I, because of the values below the 1.9 (log cfu/ml). According to the microbiological investigation in the present study, the water of the Bozalan wetland has good quality as surface water, however, is not suitable for drinking purpose due to the excessive values of TAB (Figure 2).



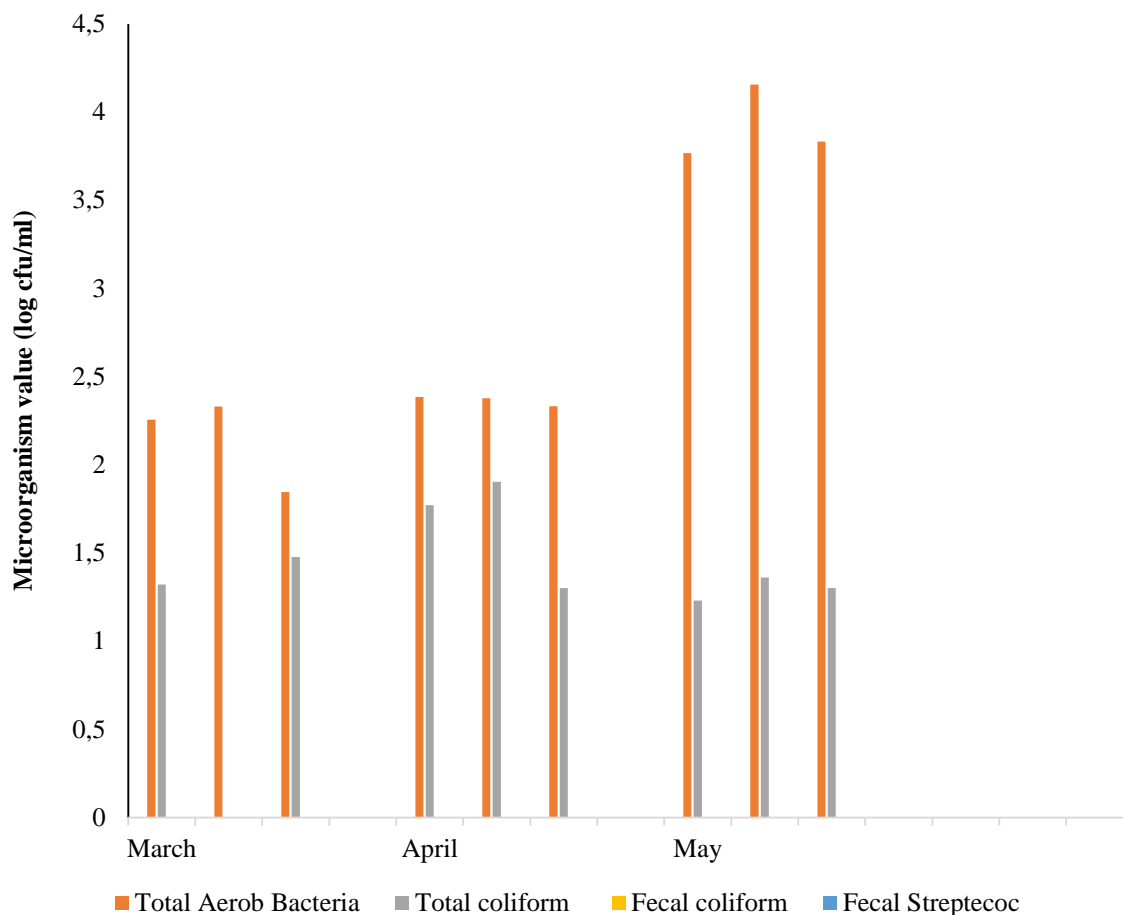


Figure 2. Microbiological data of water obtained from Bozalan Clay Quarry Stations.

### 3.3. Macroinvertebrates

In the study area, 14 taxa of benthic macroinvertebrates were determined. These taxa are belonging to Gastropoda (1), Insecta (12) and Malacostraca (1) class. The dominant taxa were *Coenagrion* sp. with 42.31% and *Baetis rhodani* with 15.38%, whereas the least dominant were *Corixa punctata* and *Erythemis* sp., *Potamon ibericum* and *Psectrocladius (P.) limbatellus* with 0.77%. According to the data, insect class were dominated the benthic macroinvertebrates fauna. The most frequent taxa (%) in the study area were *Coenagrion* sp. and *Tabanus* sp. with 100% (Table 3).

The most dominant taxon of the region is *Coenagrion* sp.. This genus and close relative taxon *Libellula* sp. are both known as dragonflies which are susceptible to environmental changes, thus they are highly useful ecological indicators (Simaika & Samways, 2011). Also these dragonflies are playing a vital role in the ecological restoration of post-mining freshwater wetlands (Tichánek, 2016). *Baetis rhodani* is a frequently sampled species in the region. *B. rhodani* is a widespread Ephemeropteran (mayfly) that occurs throughout the West Palaearctic. According to Meyer (1987), species belonging to *Baetis* can be found in less-polluted regions of freshwaters, categorized as I-II. Larvae of Chironomidae mostly found in stagnant waters (Şahin, 1984, 1991). In this study, it is observed that several Chironomidae taxa in the wetland. The larva of Ceratopogonidae, similarly, lives in stagnant or slow flowing waters such as marshes and temporary waters (Bouchard, 2004). Although, *Physella acuta* is one of the most widespread and invasive species in the world (Coffman, Cummins & Wuycheck, 1971; Zhadin, 1965), it was found in low individual numbers in the wetland. According to Odabaşı (2011), this species was recorded from closer water basins with a high number of individuals.

Table 3  
List of the macroinvertebrates and their index values

Class	Family	Species	5.03.2018	5.04.2018	29.05.2018	D%	F%
Gastropoda	<u>Physidae</u>	<i>Physella acuta</i>	10	–	3	10	66.67
Insecta	Coenagrionidae	<i>Coenagrion</i> sp.	40	2	13	42.31	100
	<u>Libellulidae</u>	<i>Libellula</i> sp.	8	–	–	6.15	33.33
		<i>Erythemis</i> sp.	1	–	–	0.77	33.33
	Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.	3	2	2	5.38	100
	Chironomidae	<i>Procladius</i> (H.) sp.	–	9	1	7.69	66.67
		<i>Cladotanytarsus</i> <i>mancus</i>	–	1	–	0.77	33.33
		<i>Einfeldia carbo-</i> <i>naria</i>	–	–	2	1.54	33.33
		<i>Polypedilum aber-</i> <i>rans</i>	–	–	4	3.08	33.33
		<i>Psectrocladius</i> <i>(P.) limbatellus</i>	–	–	1	0.77	33.33
		Ceratopogonidae	Ceratopogonidae	–	4	2	4.62
	Corixidae	<i>Corixa punctata</i>	–	–	1	0.77	33.33
	Baetidae	<i>Baetis rhodani</i>	–	–	20	15.38	33.33
Malacostraca	Potamidae	<i>Potamon ibericum</i>	-	1	-	0.77	33.33
BMWP-e Score			21	16	26		
Taxa Num- ber			5	6	10		
Individuals			62	19	49		
Shannon_H'			1.054	1.33	1.723		
Evenness_EI			0.574	0.756	0.5603		

Shannon Wiener is varied between 0 and 5 in general from the poor to the richest of diversity. In the present study, H' was the highest in May with 1.723 in parallel of the taxa numbers. Evenness is varied between 0 and 1, means that stability of taxa number occurring in the study area. In the present study, the highest value of EI was detected in the second period of the sampling due to balanced individual numbers per taxa. The compositional index, BMWP-e, was higher in the first and the third sampling periods with 21 and 26 respectively. The scores of BMWP-e were indicated that the ecological quality was better in the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> periods than the 2<sup>nd</sup> period.

#### 4. Conclusion

In conclusion, it is thought that additional studies are required to improve our knowledge regarding taxa inventories with various metrics (i.e. diversity, tolerance, and compositional) of the macroinvertebrates which are mostly used quality components in an aquatic environment on the secondary or artificial wetlands. Thus, type-specific ecological assessments conducted on such environments could provide an informational background for water managers to implement the Water Framework Directive in Turkey.

## Acknowledgement

This project was financially supported by AKÇANSA Corporation within the scope of the Quarry-Life Award international project competition in 2018. The author is grateful to the AKÇANSA corporation authorities and coordinators. I would like to thank to Çanakkale Onsekiz Mart University. I am indebted to Dr. Deniz Anıl ODABAŞI, Dr. Fikret ÇAKIR for their indisputable contributions to the study. Ömer YAVUZ, who produced the 3-D map of the study area, was also acknowledged.

## Author Contributions

Author S.O.: Conducted the field and laboratory works of this study and has currently written the paper.

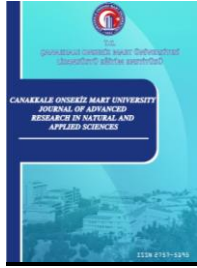
## Conflicts of Interest

The author declares no conflict of interest.

## References

- Anonymous. (2015). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY). Resmi Gazete Tarihi: RG-13/2/2008-26786. Retrieved from: <https://www.arcev.com.tr/images/PDF/skky2pdf.pdf>
- Anonymous. (2016). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25730. Retrieved from: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217.htm>
- Bendell-Young, L. I., Bennett, K. E., Crowe, A., Kennedy, C. J. Kermode, A. R., Moore, M. M., Plant, A. L., & Wood, A. (2000). Ecological characteristics of wetlands receiving an industrial effluent, *Ecol. Appl.*, 10, 310–322. Retrieved from: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0310:ECOWRI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0310:ECOWRI]2.0.CO;2)
- Borcherding, J., & Volpers, M. (1994). The Dreissena-monitor –1st results on the application of this biological early warning system in the continuous monitoring of water quality. *Water Science and Technology*, 29: 199-201. Retrieved from: <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0099>
- Bouchard, R. W. (2004). Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest: identification manual for students, citizen monitors, and aquatic resource professionals. University of Minnesota, Water Resources Research Center.
- Coffman, W. P., Cummins, K. W., & Wuycheck, J. C. (1971). Energy flow in a woodland stream ecosystem: I. Tissue support trophic structure of the autumnal community. *Arch. Hydrobiol.*, 68(2), 232-276.
- Dolny, A., & Harabis, F. (2012). Underground Mining Can Contribute To Freshwater Biodiversity Conservation: Allogenic Succession forms suitable habitats for dragonflies. *Biol. Conserv.*, 145, 109– 117. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.020>
- Dudka, S., & Adriano, D. C. (1997). Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *J Environ Qual* 26:590–602. Retrieved from: <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030003x>
- FDA-BAM. (2001). Aerobic Plate Count. In “FDA’s Bacteriological Analytical Manual, Edition 8, Chapter 3, Retrieved from: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methodsfood/bam-aerobic-plate-count>
- Glöer, P. (2015). Süßwassermollusken: Ein Bestimmungsschlüssel für die Muscheln und Schnecken im Süßwasser der Bundesrepublik Deutschland [Freshwater Molluscs: An Identification Key for the Freshwater Mussels and Snails of Germany].
- Güçlü, H., Tokoğlu, M., & Vardar, O. (2014). Biodiversity Oriented Rehabilitation Plan for Bozalan Clay Quarry. (Final Report), Ankara, 44 pp. Retrieved from: <http://www.quarrylifeaward.co.il/download-final-report/274/finalreport.pdf>
- Halkman, K., A. (2005). Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları (Editör, Halkman). Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları. s. 261-281.
- Kazancı, N., & Dügel, M. (2000). An Evaluation of the Water Quality of Yuvarlakçay Stream, in the Köycegiz-Dalyan Protected Area, SW Turkey. *Turkish Journal of Zoology* 24,1:69–80.
- Mandaville, S. M. (2002). Benthic macroinvertebrates in freshwaters – taxa tolerance values, metrics, and protocols. Nova Scotia: Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. Retrieved from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.516.2776&rep=rep1&type=pdf>
- Mccafferty, W. P. (1981). Aquatic Entomology: The Fishermen's and Ecologists' Illustrated Guide To Insects And Their Relatives. Jones and Bartlett Publishers, London.
- Meyer, D. (1987). Makroskopisch-Biologische Feldmethoden zur Wassergütebeurteilung von Fließgewässern, 3. Auflage, A.L.G., 6, 3000, 140 p. Hannover.

- Monjezi, M., Shahriar, K., Dehghani, H., & Namin, F. S. (2009). *Environmental impact assessment of open pit mining in Iran*. *Environmental geology*, 58(1), 205-216. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00254-008-1509-4>
- Odabaşı, D. A. (2011). *Sarıçay, Karamenderes Çayı, Kocabaş Çayı ve Tuzla Çayı'nın (Biga Yarımadası-Marmara, Türkiye) Molluska Faunasının Mevsimsel Değişimlerinin Araştırılması*. Çanakkale Onsekiz Mart Üniv. Fen Bilimleri Enst. Su Ürünleri ABD, (Doktora Tezi), 187 s.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Introduction to Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. In: Rosenberg, D.M. and Resh, V.H., Eds., *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman/Hall, New York, 1-9.
- Scheffers, B. R., & Paszkowski, C. A. (2013). Amphibian Use Of Urban Stormwater Wetlands: The Role Of Natural Habitat Features, *Landscape and Urban Planning*, 113, 139–149. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.01.001>
- Simaika J. P., & Samways M. J. (2011). Comparative assessment of indices of freshwater habitat conditions using different invertebrate taxon sets. *Ecol Indic.* 11: 370–378. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.005>
- Şahin, Y. (1984). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri Akarsu ve Göllerindeki, Chironomidae (Diptera) Larvalarının Teşhisi ve Dağılımları. Anadolu Üniv. Yay. No: 57, Fen Ed. Fak. Yay. No: 2, Eskişehir.
- Şahin, Y. (1991). Türkiye Chironomidae Potamofaunası, TÜBİTAK – Proje No: TBAG –869 ve VHAG – 347.
- Suding, K. N., Gross, K. L., & Houseman, G. R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in ecology & evolution*, 19(1), 46-53. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.005>
- Tichánek, F. (2016). *Ecology of endangered damselfly Coenagrion ornatum in post-mining streams in relation to their restoration*. University of South Bohemia Faculty of Science, 53 p. (MSc Thesis)
- Thiere, G., Milenkovski, S., Lindgren, P. E., Sahlen, G., Berglund, O., & Weisner, S. E. B. (2009). Wetland Creation In Agricultural Landscapes: Biodiversity Benefits On Local And Regional Scales, *Biol. Conserv.*, 142, 964–973. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.006>
- Zhadin, V. I. (1965). Mollusc of fresh and brackish waters of the U.S.S.R., Israel Program for Scientific Translations Ltd., 368 p. Jerusalem.
- Zhang, G., Yuan, X., & Wang, K. (2019). Biodiversity and temporal patterns of macrozoobenthos in a coal mining subsidence area in North China. *PeerJ* 7:e6456 Retrieved from: <https://peerj.com/articles/6456/>



# Investigation and Comparison of Some Laboratories in Terms of Occupational Health and Safety by ELMERI Observation Method

Orkun Dalyan<sup>1</sup>, Nuray Özkaya<sup>1</sup>, Ömer Faruk Öztürk<sup>2</sup>, Mehmet Pişkin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational Health and Safety, School of Graduate Studies, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

<sup>2</sup>Department of Chemical, Faculty of Arts and Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

<sup>3</sup>Department of Food Processing, Vocational School of Technical Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

## Article History

Received: 26.03.2021

Accepted: 20.06.2021

Published: 30.06.2021

## Research Article

**Abstract** – Laboratories are classified as dangerous workplaces and contain various risk factors that may cause work accidents. For this reason, studies to reduce the dangers should be conducted in the laboratory by complying with the corrective and preventive activities specified in the relevant regulation. In this study, a survey was conducted for three laboratories in three different cities using the checklist of the The Ministry of Labor and Social Security. The survey data were applied with the ELMERI observation method and the safety indexes of the laboratories were created. According to the data obtained from the ELMERI safety index, the necessary measures to be taken in the laboratories were determined and recommendations were made. According to this research, average index values of laboratories according to categories; training and information 96%, diseases and accidents 94%, biological factors 86%, physical factors 82%, ergonomics 81%, machinery and hand tools 78%, personal protective equipment 75%, waste management 72%, electricity 71%, chemical factors 69%, fire-explosion and emergencies 67%, psychosocial factors 67%, storage 64% and general workplace layout 62%. Although there are occupational safety evaluation studies in the literature using the checklists published by the relevant ministry, there is almost no study to create safety indexes for workplaces by combining the relevant lists with the ELMERI observation method. It is suggested that this study will shed light on and form a source for future studies on laboratory safety and ELMERI observation method, especially in the laboratories where research was conducted.

**Keywords**– Applicable observation method, elmeri safety index, laboratory safety, occupational health and safety, laboratory checklist

## 1. Introduction

### 1.1. Laboratory Safety

Occupational health and safety, which is becoming increasingly important in the world and in our country, has become a necessity for workplaces classified as dangerous according to the NACE code, which means Statistical Classification of Economic Activities in the European Union. There are risks that may cause occupational accidents due to the use of biological, physical and chemical substances in laboratories (Yılmaz & Bilici, 2020). In addition, technical errors and personnel errors caused using equipment and materials in the laboratories cause many accidents. Laboratory safety can be defined as the employee's protection of herself and other affected employees, working environment, used machinery and equipment from all kinds of damage. Laboratory safety covers the risks and precautions that may occur as a result of operations such as the use of machines, equipment and hand tools, general & workplace order and hygiene, storage systems and waste management. In addition, fire-explosion-emergencies, electrical accidents, chemical, biological, psychosocial and physical factors are among the important factors for ensuring laboratory safety. First aid, ergonomics and the use of personal protective equipment, follow-up and examination of possible accidents and disease are among the measures. More than one layer must fail for an occupational accident to occur

<sup>1</sup> [orkundalyan@outlook.com](mailto:orkundalyan@outlook.com)

<sup>2</sup> [nryozkaya@gmail.com](mailto:nryozkaya@gmail.com)

<sup>3</sup> [ofozturk@comu.edu.tr](mailto:ofozturk@comu.edu.tr)

<sup>4</sup> [mehmetpiskin@comu.edu.tr](mailto:mehmetpiskin@comu.edu.tr)

\*Corresponding Author



(Bansal & Selvik, 2021). The layers can be seen as procedure, instruction and control. Inadequate operating procedures, instructions, and lack of supervision increase the likelihood of an occupational accident (Paolo et al., 2021). The occupational health and safety culture to be created can be considered as one of these layers. No matter how safe the workplace is, accidents cannot be prevented unless there is a culture of occupational health and safety. Occupational health and safety culture can be created with training (Dalyan & Pişkin, 2020). Training and informing the staff about laboratory safety is also considered as a part of precautionary practices.

To ensure laboratory safety, an occupational health and safety culture should be established in the laboratory. To establish the laboratory culture, the rules to be followed before the study, during the study and after the study is completed should be determined. An occupational health and safety system, where the rules to be determined can be implemented and monitored, should be established. The installed system must be constantly controlled and monitored. In addition to the occupational health and safety system to be established, employees must be routinely trained to work safely in compliance with the rules. Trainings should be given especially before the first assignment to the laboratory and new situations where exposure may occur (OSHA, 2011).

There are also legal regulations in order to ensure safety in laboratories and to prevent occupational accidents and diseases. The legal regulations stated under the heading “general characteristics of laboratories and the rules to be followed” in the second part of the Environmental Measurement and Analysis Laboratories Qualification Regulation, published in the Official Gazette dated 25.12.2013 and numbered 28862, list the rules that employers must obey in laboratories. Checklists are available to facilitate compliance with the rules mentioned in the legislation. They are guiding in terms of taking necessary precautions against dangers by determining sources of danger with checklists in advance. A checklist for laboratories to improve the laboratory environment has been published by the General Directorate of Occupational Health and Safety of the Ministry of Labor and Social Security. The published list, with 14 categories and 234 questions, shows the issues to be considered for laboratory safety.

## **1.2. Elmeri Observation Method**

ELMERI observation method is a proactive field observation method designed mainly for the manufacturing industry in the 1990s. ELMERI Observation Method, which was developed by a researcher named Heikki Laitinen in Finland, has been used in various sectors and an occupational health and safety competition was organized by using it in many companies between 2002-2005. The safety index, which was 68% as a result of the initial evaluation process, increased to 85% at the end of the project (Atlı, 2018). In addition, the accident costs of companies decreased by forty percent, which corresponds to an annual figure of 35 million Turkish liras (Martı, 2016). ELMERI Observation Method has been implemented first time in workplaces in Turkey between 2010-2011 under “Improvement of Occupational Health and Safety Conditions Project (ISGIP)” in a total of 103 enterprises, including 16 construction sites, 35 metal works, 37 mines, and 15 marble quarries. Especially in the metal sector, the presence of enterprises with a safety index of 80% is important in terms of being at the level of metal enterprises operating in Europe (Ergun, Karakaya & Akkaş, 2011).

ELMERI Observation Method is an easy to understand and apply method that measures the safety indexes of workplaces (Karabulut, 2016). The Elmeri observation method is based on a foundation that examines both working conditions and employee behavior (Ersoy & Yeşilkaya, 2016). Progress is being made on a scoring basis over 18 sub-headings in total (Çukurluöz, Birgören, Yalçınkaya & Orçanlı, 2020). Workplace safety indices are calculated with the mentioned scoring system. It has been determined that there is a serious link between the scoring system and occupational accident figures (Laitinen, Vuorinen, Simola & Yrjanheikki, 2013). ELMERI Observation Method is a valid proactive method in measuring occupational health and safety performance (Ongun & Bilen, 2016). It points out the potential causes of future accidents. It helps to determine the needs for improvement, to set goals and to measure the results of the work done in the field of occupational health and safety (Özdemir, 2014). For scoring, each part of the workplace or all elements in

other areas selected for observation are observed and evaluated as true or false. If the observed elements comply with the ELMERI observation rules, this element is evaluated as “correct”; otherwise, it is considered “false”. If there is an item that cannot be calculated during the viewing round, or if the observer is unsure how to score any item, it is indicated as “no observation”. The safety index gives the percentage value by calculating the ratio of correct elements to all observed elements. The safety index calculation method is shown in Equation 1. (Laitinen et al., 2012). Workplace safety indices are expressed as a percentage (%) and are shown between 0-100 (Yaylali, 2016). In the workplace with a safety index of 60%, it shows that 60 out of every 100 occupational health and safety elements are good practices in terms of occupational health and safety (Laitinen & Paivarinta, 2010; Laitinen & Ruohomaki, 1996). The safety index and accident incidence are inversely proportional. The Elmeri method shows the instantaneous situations at the time of the observation, so it is necessary to routinely repeat the observation. ELMERI Observation Method aims to improve the current situation by repeating it weekly, monthly or in periods determined by the users. Thus, safety vulnerabilities detected in the previous audit are kept under constant control. The Elmeri method, which measures the effectiveness of the OHS management system with numerical data, helps to measure the corrective-preventive action steps (Sarikaya & Altındağ, 2015). In addition, the Elmeri observation method is a system that indirectly supports OHS trainings. A direct correlation was found between the regular OHS training and the high Elmeri safety index (Sari & Kuzupinar, 2017).

$$\frac{\text{No. of correct items}}{\text{No. of correct items} + \text{No. of not correct items}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

Equation 1. ELMERİ safety index calculation method (Laitinen et al, 2012)

Laboratories contain a wide variety of hazards, and the risks associated with these hazards can result in significant losses if not properly managed. Laboratories can often be perceived as low risk and inherently safer. Therefore, laboratories are important businesses that need to be researched. Although there are various studies in the literature on laboratory safety, there are almost no studies examined by ELMERI observation method of the checklist for laboratories.

## 2. Materials and Methods

In the research, the “Checklist for Laboratories” published by the Ministry of Labor and Social Security was used to determine the occupational health and safety status of the laboratory. In the list, there are a total of 234 questions in 14 categories, which include General & workplace order and hygiene (28 items), Machines, hand tools and auxiliary apparatus (31 items), Chemical factors (16 items), Biological factors (14 items), Physical factors (17 items), Psychosocial factors (3 items), Fire-explosion-emergencies (22 items), Waste management (18 items), Storage (27 items), Electricity (24 items), Ergonomics (12 items), Personal protective equipment (8 items), Accidents and diseases (6 items), Training and information (8 items). The “Checklist for Laboratories” published by the Ministry of Labor and Social Security has been applied in 3 different laboratories operating in the public and private sectors of our country. The relevant list is given in Appendix 1. Laboratories are named A, B and C. Laboratory A: It is a public laboratory where soil (physical and chemical), plant (macro and micro) and irrigation water analyze are performed for agricultural purposes. Laboratory B: It is a drug quality control and analysis laboratory where in vitro and in vivo quality control analyzes of various drugs are performed. Laboratory C: It is a Chemistry Research Laboratory where studies are carried out on the synthesis, purification and characterization of new functional compounds for use in various technological applications with chemical and physical techniques. The questionnaire was applied face-to-face by answering the questionnaire with the authorized person in the laboratory and observing the laboratory environment according to the checklist. The answers are processed as “YES” if they follow the legislation, and “NO” if they are not in compliance with the legislation. ELMERI Observation Method is an

observation method that can be changed and adapted according to the sector, environmental conditions, other variables, and the work done. In order for the comparisons between laboratories to be based on numerical data, the ELMERI safety index of each laboratory was calculated. In the research, the safety indexes of the laboratories were calculated by using the “Checklist for Laboratories” items and the results were compared.

### 3. Results and Discussion

Laboratories have the NACE code of 86.90.10 [Services of medical laboratories (excluding the activities of forensic medicine and dental laboratories) (non-hospital)] and are included in the “Very Dangerous Work” risk category in the List of Hazard Classes Regarding Occupational Health and Safety (*İş Sağlığı ve Güvenliği*, 2012). In order to ensure the safety of the laboratory, the title “general characteristics of laboratories and rules to be followed” in the second part of the Environmental Measurement and Analysis Laboratories Qualification Regulation published in the Official Gazette dated 25.12.2013 and numbered 28862 should be followed. For this reason, it is essential to create working environments in the laboratory where Occupational Health and Safety legislation is applied, that do not pose a danger to employees and the environment or where risks are minimized. The number of observations to be made according to the legislation and the number of observations made in the researched laboratories are given in [Table 1](#).

#### 3.1. General & Workplace Order and Hygiene

In the A, B and C laboratories, it was observed that the floor was designed to prevent slipping or falling, also it was observed that the interior and exterior floors were regularly checked. Three laboratories have benches covered with waterproof and disinfectant-resistant, easy-to-clean material. Smoking is prohibited in laboratories and employees have been informed about this issue. In addition, there were no smoking personnel in the laboratory during the research. It has been observed that information and warning signs are properly hung in the laboratories.

#### 3.2. Machines, Hand Tools and Auxiliary Apparatus

It has been observed that machinery, tools and equipment in A, B and C laboratories were procured from CE marked ones. In addition, a Turkish user manual was provided from the manufacturer company and the machines were used in accordance with the manual. It was determined that only the laboratory A user manuals were not sufficient and, in this case, no additional instructions for use were provided. In case the machine guards are opened, the deactivation of the sensors that stop the system is prevented. In addition, it has been determined that daily maintenance and periodic controls of all machines are carried out according to the manufacturer’s instructions. It is ensured that the defective equipment is labeled in order not to be used in the laboratory A, while it has been observed that this practice is not applied in other laboratories.

Table 1

The number of observations to be made in categories according to the legislation and the number of observations in laboratories

Regulatory Compliant Laboratory	C	AL		BL		CL	
		C	F	C	F	C	F
General & Workplace Order and Hygiene	28	20	8	23	5	9	19
Machines, Hand Tools and Auxiliary Apparatus	31	28	3	24	7	21	10
Chemical Factors	16	10	6	14	2	9	7
Biological Factors	14	14	0	14	0	8	6
Physical Factors	17	11	6	17	0	14	3

Fire-Explosion-Emergencies	22	16	6	19	3	9	13
Waste Management	18	16	2	17	1	6	12
Storage	27	22	5	18	9	12	15
Electricity	24	17	7	21	3	13	11
Ergonomics	12	11	1	9	3	9	3
Personal Protective Equipment (PPE)	8	8	0	8	0	2	6
Psychosocial Factors	3	1	2	3	0	2	1
Accidents and Diseases	6	6	0	6	0	5	1
Training and Information	8	8	0	8	0	7	1
Total	234	188	46	201	33	126	108

AL: A Laboratory, BL: B Laboratory, CL: C Laboratory, C: Correct, F: False

### 3.3. Chemical Factors

It has been determined that there are properly placed gas detectors in laboratories A and B, chemicals containing oxide components are regularly renewed and materials whose shelf life has expired are disposed of. The disposal of the chemicals was done with the method and procedure in accordance with the Waste Management Regulation. When working with chemical substances, it was ensured to use a fume hood and periodic workplace environment measurement values were made. Laboratory A complied with the storage conditions for chemicals and preserved them from heat, light and other materials. Thus, it has taken measures against the risk of fire and explosion that may be caused by chemicals.

### 3.4. Biological Factors

In three laboratories, necessary measures have been taken to minimize the number of personnel who are or may be exposed to biological factors. Laboratory personnel were informed about possible infection risks and preventive measures, and it was determined that the program to be implemented was available. While the necessary precautions were taken when working with biological factors for laboratories A and B, it was determined that working processes and technical control measures for laboratory C were not arranged in a way to prevent the spread of biological agents.

### 3.5. Physical Factors

In B and C laboratories, all areas are well illuminated, natural lighting has been used sufficiently and dazzling risks arising from windows have been prevented. However, it has been stated that laboratory A has a natural lighting problem. It has been determined that three laboratories have a clean air flow and a natural ventilation system that keeps the working environment clean. The disturbing noise and vibration levels in the laboratories were prevented, and it was determined that the measurement values were below the noise and vibration exposure values. It was determined that noise and vibration exposure measurements were made periodically in the B laboratory, but not in the A and C laboratories.

### 3.6. Fire-Explosion-Emergencies

Emergency teams were formed in all three laboratories, and all personnel were informed about emergency teams. In addition, the evacuation plan was posted in places where the personnel can be easily seen and reached. There are enough appropriate type fire extinguishers in the laboratory and their pressure has been checked. Emergency exit routes and doors are marked accordingly. There is a fire and smoke detection and sprinkler system and periodic controls have been made. Despite the positive findings, it was determined that

the telephone numbers to be contacted in case of emergency were not hanged in the visible place in all three laboratories.

### **3.7. Waste Management**

In laboratories A and B, the personnel were informed about the methods and procedure in accordance with the legislation for the disposal of wastes. In particular, necessary regulations were made to ensure that chemical wastes were not discharged into the sewer and mixed with domestic wastes. Hazardous chemical wastes and medical wastes have been only stored temporarily, waste containers have been classified and labeled in accordance with the legislation. Used cutting and piercing medical wastes were collected under conditions in accordance with the legislation, without mixing with other wastes. Wastes that require separate transportation and disposal were stored in different colored waste bags and disposed of.

### **3.8. Storage**

In three laboratories, it was stated that they prevented the entry and exit of the storage areas except the officials, and the lists and hazards of chemical substances found on the refrigerators and storage shelves were written. Danger signs were hung on the doors and it was determined that there were safety data sheets of chemicals in the storage area. In B and C laboratories, all cabinets are properly fixed to the wall, shelves are mounted on the wall and each other to prevent them from falling over. In A and B laboratories, storage areas are in a different place and their control has been provided. It has been determined that the storage of flammable liquids is carried out in suitable warehouses.

### **3.9. Electricity**

In all laboratories, the fuse boxes are closed, and the access of unauthorized persons is prevented. All portable electrical equipment has been checked periodically and indicated on their dates. It was determined that there were no cut and added electrical cables. Although working not close to electrical systems in the B and C laboratories, it is ensured that explosive and flammable materials are not kept next to electrical devices, the electrical installation is made in a locker and its base is made of insulated material. Although working not close to electrical systems in the B and C laboratories, it is ensured that explosive and flammable materials are not kept next to electrical devices, and the electrical installation is made in a locker and its base has been made of insulated material. There is grounding in the electrical system, and appropriate Personal Protective Equipment (PPE) is used in electrical equipment intervention and maintenance and repair works.

### **3.10. Ergonomics**

In the laboratories, personnel have been prevented from working in the same position or being physically challenging for a long time, and suitable tables, chairs or support equipment have been provided. Personnel have been prevented from having to reach long distances. While a working environment was provided for the employees in laboratories A and B to move easily, it was determined that it could not be provided in laboratory C. In laboratories A and C, the personnel were informed about musculoskeletal disorders that may arise from the manual transportation of the loads and about the correct and safe lifting of the loads, but it was determined that laboratory B was not informed about this issue.

### **3.11. Personal Protective Equipment (PPE)**

In laboratories A and B, risks were identified, and PPE in types and numbers suitable for these risks were obtained and made available for use. It was determined that the personnel were using appropriate PPE throughout the study and that the authorities made warnings to the employees on this issue. It has been determined that only PPEs in the C laboratory have CE mark and have a Turkish user manual. In addition, it



was determined that all PPE were removed when leaving the laboratory, cleaned with appropriate methods and procedure, and stored in a suitable environment. It was determined that the periodic controls of the PPE given to the personnel are carried out.

### 3.12. Psychosocial Factors

It has been determined that personnel in B laboratories are prevented from giving instructions other than their duties and responsibilities, but this procedure is not applied in other laboratories. Staff in all laboratories; it has been determined that they are aware of their authority, responsibility and working objectives. It has been determined that a healthy communication has been established between the personnel working in the B and C laboratories and the employer. This situation was not achieved in Laboratory A. Staff in all laboratories; It has been determined that they are aware of their authority, responsibility and working objectives. It has been determined that a healthy communication has been established between the personnel working in the B and C laboratories and the employer. This situation was not achieved in Laboratory A. It was observed that all laboratories comply with the working (article 63) and rest periods (article 68) specified in the Labor Law No. 4857 ([İş Kanunu, 2003](#)).

### 3.13. Accidents and Diseases

Employees in all three laboratories were inspected and checked periodically, occupational accident and occupational disease cases were reported to the Social Security Institution, and previous accidents were examined and recorded. The sources of danger were identified, and corrective-preventive actions were taken by performing root-cause analyzes in order to avoid similar accidents in the future. It has been observed that near-miss notification boxes are made that can be easily accessed by the personnel for the notification of near misses. Employees who are thought to can be affected by biological, chemical or physical factors in the laboratory environment have been vaccinated.

### 3.14. Training and Information

It has been determined that employees in all laboratories are given general hygiene information to reduce the risk of infection. It has been observed that the employees have the necessary training and knowledge about the work they do, as well as the safe use of the machines, tools and equipment they use. Employees are informed about the risks they may be exposed to while working with biological and chemical factors, as well as cutting, stinging, burning, etc. it was also informed about who will intervene in the injuries that may occur due to physical factors. While it is documented that the employees in laboratories A and B have received occupational health and safety training, the training certificate records of laboratory employees C could not be reached.

In this study, ELMERI method was applied to the laboratories in three different provinces to determine the safety index. In addition to the general ELMERI index, safety indexes were calculated according to the categories in ELMERI. The safety indexes of the laboratories divided by categories and the average safety indexes for 3 laboratories are given in [Table 2](#).

Table 2

ELMERI safety index of laboratories participating in the research

	A Laboratory %	B Laboratory %	C Laboratory %
General & Workplace Order and Hygiene	71	82	32
Machines, Hand Tools and Auxiliary Apparatus	90	77	68
Chemical Factors	63	87	56

Biological Factors	100	100	57
Physical Factors	65	100	82
Fire-Explosion-Emergencies	73	86	41
Waste Management	89	94	33
Storage	81	67	44
Electricity	71	87	54
Ergonomics	92	75	75
Personal Protective Equipment (PPE)	100	100	25
Psychosocial Factors	33	100	67
Accidents and Diseases	100	100	83
Training and Information	100	100	87
ELMERİ index %	80	86	55

According to Table 2;

The general safety index of laboratory A was found to be 80%. It was determined that the subject with the lowest safety index was psychosocial factors with 33%, the subjects with the highest safety index were training and information, diseases and accidents, biological factors and personal protective equipment with 100%. The general safety index of laboratory B was found to be 86%. It was determined that the subject with the lowest safety index was storage with 67%, the subjects with the highest safety index were training and information, disease and accidents, biological factors, physical factors, personal protective equipment and psychosocial factors with 100%. The general safety index of laboratory C was found to be 55%. It was determined that the subject with the lowest safety index was personal protective equipment with 25%, the subject with highest safety index was training and information with %87.

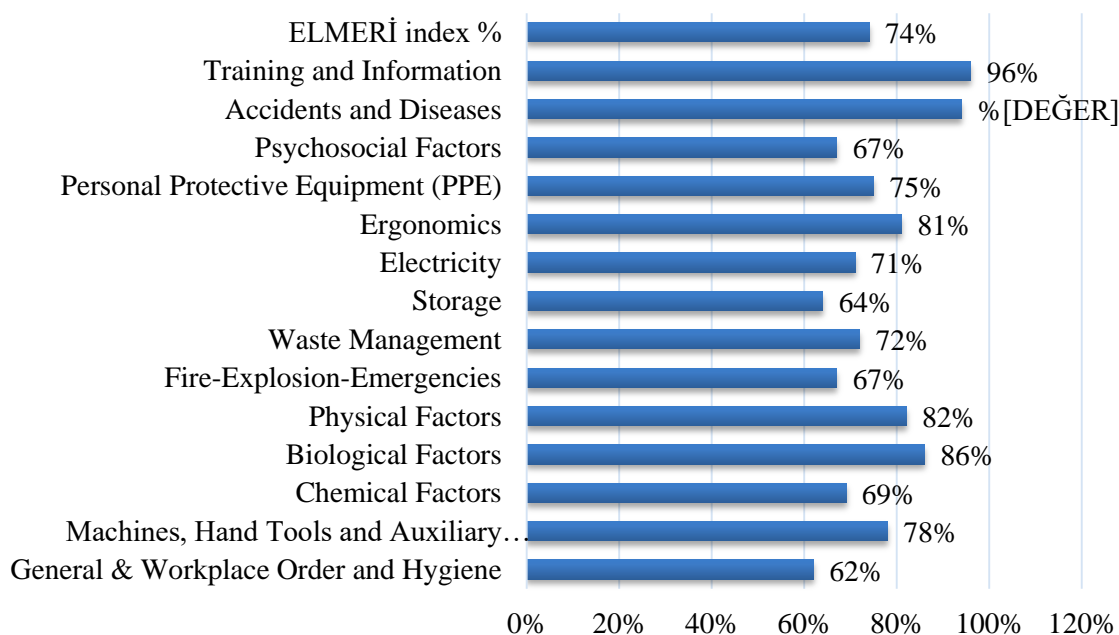


Figure 1. Average ELMERİ safety indexes by subject

According to [Figure 1](#); The average ELMERI index value of the laboratories in the study was found to be 74%. It was determined that the subject with the lowest safety index was general & workplace order and hygiene with 62%, and the subject with the highest safety index was training and information with 96%.

In this study, the average ELMERI safety index on subject general & workplace order and hygiene has 62%. In the study conducted in the central laboratory of the Geetanjali Medical Faculty and Hospital in India, it was reported that 66.7% of the participants did not smoke in the laboratory ([Shekhar, Patel, Jain, Garg & Mangukiya, 2015](#)). In another study conducted in Ahmedabad, India, it was reported that 87.4% of the laboratory technicians did not smoke in the laboratory ([Zaveri, 2012](#)). In a study examining the laboratory safety of 335 students continuing their undergraduate program in our country during the internship period, it was reported that 75.2% of the laboratory workers did not consume any food, including cigarettes, in the laboratory ([Derman & Çakmak, 2016](#)). In this study, it was determined that smoking was prohibited in the workplace and the employees were informed about this issue. In addition, there were no smoking personnel in the laboratory during the research. In a study that examined the comparison of the laboratory safety attitudes of the students of the Chemical Technology Program in the field of school and internship, it was reported that there were warning and safety signs in the laboratories and these signs were strictly controlled. In addition, it was also reported that these controls were carried out by rule makers, 77% of whom were Class A occupational safety experts ([Kerimak Öner, 2020](#)). In this study, although it was determined that warning signs such as “slippery floor”, prohibitory signs such as “smoking is prohibited”, information signs such as “emergency exit door” were hung in all laboratories, no information was obtained about the control frequency.

In this study, the average ELMERI safety index on subject fire-explosion and emergencies has 67%. In a study conducted in our country, it was reported that emergency equipment was lacking in laboratories and that the personnel did not have information about the location of the existing equipment ([Emerce & Doğan, 2017](#)). In another study in our country where L-type risk assessment was applied in the public university food engineering laboratory, it was noted that the issue with the highest value (25) in the intolerable risk category was emergencies. In the research, it was reported that the lack of emergency plan, not determining the emergency teams and the absence of emergency drills were the hazards that received the highest value ([Ersoy & Çelenk Kaya, 2019](#)). In this study, it was observed that there were sufficient and appropriate type of fire extinguishers in laboratories. Emergency teams have been established in all laboratories and all personnel have been informed on this matter. In addition, it was determined that the evacuation plan was hanged in easily visible and accessible places for the personnel.

In this study the average ELMERI safety index on subject personal protective equipment has 75%. In a study conducted in three training hospitals in İzmir province of our country, it was reported that the rate of glove use during laboratory studies was 91.3% and that of apron was 87.4% ([Aksoy, Özdemir, Usluca & Toprak Ergören, 2008](#)). In a study conducted with 252 people in medical laboratories in Croatia, it was reported that 87.6% of the participants always wear lab coats and less than 40% use gloves daily ([Dukic et al., 2015](#)). In a study examining biosecurity practices in Pakistan, it was reported that 46.2% of the laboratory technicians did not use any preservatives ([Nasim et al., 2010](#)). In the study in the metal works workshop of Karamanoğlu Mehmetbey University Technical Sciences Vocational School in our country, it was stated that the lowest index among the categories (7.7%) was the use of personal protective equipment, and only 2 of the 26 observations were appropriate. The students in the workshop were trained on the use of personal protective equipment during the study and warning signs were posted about the subject. In the new observation made 2 weeks later, it was reported that the personal protective equipment usage index increased to 50%, and 10 out of 20 observations were appropriate ([Yaylali, 2016](#)). In this study, it was determined that the category of personal protective equipment use has the lowest value (25%) only in laboratory C, and laboratories A and B have an index of 100%.

In this study the average ELMERI safety index on subject physical factors has 82%. In a study conducted in nine different laboratories in our country, it was noted that the ventilation conditions were good due to the portable ventilation of each employee in the private university laboratory. For this reason, it was stated that the ELMERI index of the laboratory was high (Karabulut, 2016). In a study conducted in a university college metalwork workshop in our country, it was stated that only 8 out of 13 observations made in the industrial hygiene category, which includes noise and vibration risks, were appropriate and the safety index was found to be 61.5%. In the new observation made after the improvements in industrial hygiene, it was stated that the safety index increased to 76.9% (Yaylali, 2016). Although the existence and active use of the ventilation system in our study is provided in all laboratories, only laboratory B has an index of 100%. It has been determined that the noise and vibration measurement values made in the laboratories are measured under the exposure limit values specified by the legislation. However, it was observed that the measurements were made periodically in the B laboratory, but not in the A and C laboratories.

In this study the average ELMERI safety index on subject diseases and accidents has 94%. In a study conducted in the Ministry of Health Medicines and Medical Devices Agency laboratory in our country, it was reported that 11.9% of the employees experienced serious injury at least once during their working life, and 24.7% had an accident (Emerce & Doğan, 2017). In a study conducted in India, it was stated that 53.23% of the participants had an accident with injury in the laboratory. Only 28.78% of the injured received first aid support after the injury (Zaveri, 2012). Again, in another study conducted in the laboratory of the Geetanjali Medical Faculty in India, it was noted that 66.7% of the personnel had an accident and none of those who had an accident reported the situation to the hospital authority (Shekhar, Patel, Jain, Garg & Mangukiya, 2015). In this study, it was determined that the accidents that occurred were reported to the Social Security Institution, the accidents were examined and recorded, and necessary measures were taken to avoid similar accidents in the future.

Within the scope of the study, it was determined that the laboratories received an average of 96% ELMERI index for training and information. In an Egyptian hospital, it was reported that 60% of the participants received training in laboratory safety and waste management in a study on the knowledge, attitude and practice of laboratory technicians on laboratory safety and waste management (El-Ginay, El-Shaer, Khashaba, El-Dokroory & Omar, 2017). In a study conducted on 1782 laboratory personnel in Pakistan, it was reported that only 15% of the personnel received training on biosecurity (Nasim et al., 2010).

In a study conducted in a metalworks with twelve manufacturing parts in our country, it was reported that 73% of the participants received training, although the biggest deficiency was reported to be lack of training (Ongun, 2015). In addition, in another study conducted in our country in the Ministry of Health Pharmaceuticals and Medical Devices Agency laboratory, it was reported that it would be beneficial to provide 80.6% of the employees with regular training on laboratory safety (Emerce & Doğan, 2017). In this study, it was determined that while the subject of training and information in laboratories A and B was 100%, it was 87% in laboratories C. The category with the highest ELMERI average index of A, B and C laboratories is the training and information category.

#### **4. Conclusion**

In this study, which is one of the first to evaluate laboratory safety with ELMERI observation method, fourteen headings were examined in three different laboratories in the public and private sectors. The safety indexes of the laboratories were determined and the categories in which the deficiencies were concentrated were determined and solution suggestions were presented.

The data obtained focused on the inadequacy of general & workplace order and hygiene, which consists of 34 sub-items. This may also be due to the employer's failure to take quick action against obstacles such as collapse and deformation on the ground that may cause tripping and falling in laboratories. When the actions to be taken by the employer are implemented within the framework of a certain plan, the mentioned

problems can be solved permanently. In addition, it may be due to the fact that laboratory personnel focus too much on their work and do not pay attention to organization and order. The mentioned problem can be solved by regularly training the laboratory personnel on cleaning, organization and hygiene.

Another result of the analysis data also focused on the storage issue, which consists of 27 sub-items. This may be because most laboratories do not have a separate storage area and laboratory personnel cannot make regular storage. Creating a storage area in compliance with the legislation by the laboratories will solve the mentioned problem. In addition, it may be due to the fact that laboratory personnel are well aware of the characteristics of chemicals but are not well versed in storage rules. The mentioned problem can be solved by regularly training the laboratory staff about the storage features.

### Acknowledgement

This work was supported by the Office of Scientific Research Projects Coordination at Çanakkale Onsekiz Mart University. Project number: FYL-2020-3180.

### Author Contributions

In this section, the authors' contributions to the article should be indicated for each author.

Orkun DALYAN: Data curation, Methodology, Conceptualization, Software, Validation, Supervision, Writing-original draft.

Nuray ÖZKAYA: Data curation, Investigation, Visualization, Writing-original draft.

Ömer Faruk ÖZTÜRK: Writing-review & editing.

Mehmet PİŞKİN: Methodology, Software, Writing-original draft.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

- 4857 sayılı İş Kanunu. (2003, 10 6). Resmî Gazete (Sayı: 25134). Retrieved from: [Mevzuat Bilgi Sistemi](#)
- Aksoy, Ü., Özdemir, M. H., Usluca, S., & Toprak Ergöner, A. (2008). Biosafety profile of laboratory workers at three education hospitals in İzmir, Turkey. *Bulletin of Microbiology*, 42(3), 469-476. Retrieved from: [http://www.mikrobiyolbul.org/managete/fu\\_folder/2008-03/2008-42-03-469-476.pdf](http://www.mikrobiyolbul.org/managete/fu_folder/2008-03/2008-42-03-469-476.pdf)
- Atlı, B. (2018). Investigation of general occupational health and safety situation of five marble factories using elmeri method (Master's thesis). Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bansal, S., & Selvik, J. T. (2021). Investigating the implementation of the safety-diagnosability principle to support defence-in-depth in the nuclear industry: A Fukushima Daiichi accident case study. *Engineering Failure Analysis*, (123), 1 – 14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105315>
- Çukurluöz, S., Birgören, B., Yalçınkaya, M., & Orçanlı, K. (2020). A new performance audit methodology for 6S applications in lean manufacturing. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 358-369. DOI: <https://doi.org/10.29137/umagd.66819>
- Dalyan, O., & Pişkin, M. (2020). The impact of near miss noticed on occupational accidents at work-places a study from construction. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Science and Technology*, 6(1), 133 – 143. DOI: <https://doi.org/10.28979/comufbed.609675>
- Derman, M., & Çakmak, M. (2016). Investigation of Biology students' perception regarding laboratory safety. *Bartın University Journal of Faculty of Education*, 5(1), 178-187. DOI: <https://doi.org/10.14686/buefad.v5i1.5000161902>



- Dukic, K., Zoric, M., Pozaic, P., Stracic, J., Culjak, M., Saracevic, A., & Miler, M. (2015). How compliant are technicians with universal safety measures in medical laboratories in Croatia? – A pilot study. *Biochemia Medica*, 25(3), 386-392. DOI: <https://doi.org/10.11613/BM.2015.038>
- El-Ginay, A., El-Shaer, S., Khashaba, E., El-Dakroory, S., & Omar, N. (2017). Knowledge, attitude and practices (KAP) of “teaching laboratory” technicians towards laboratory safety and waste management: a pilot interventional study. *The Journal of Hospital Infection*, 96(2), 1-3. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2017.02.007>
- Emerce, E., & Doğan, B. (2017). Knowledge and practices of pharmaceutical laboratory workers on laboratory safety. *Turkish Journal of Public Health*, 15(2), 106-122. DOI: <https://doi.org/10.20518/tjph.341163>
- Ergun, A., Karakaya, F., & Akkaş, A. (2011). Türkiye’de işyerlerinde iş sağlığı ve koşullarının iyileştirilmesi projesi (İSGİP). *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 11 (52), 58-59. Retrieved from: <https://www.csgb.gov.tr/isggm/dergiler/52.pdf>
- Ersoy, M., & Yeşilkaya, L. (2016). Comparison of the occupational safety applications in marble quarries of Carrara (Italy) and Iscehisar (Turkey) by using Elmeri method. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 23(1), 29 – 63. DOI: <https://doi.org/10.1080/17457300.2014.945464>
- Ersoy, S., & Çelenk Kaya, E. (2019). A Risk Analysis Implementation of a State University Food Engineering Department’s Laboratories. *Gümüşhane University Journal of Health*, 8(4), 411-423. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/913326>
- İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012, 26 12). Resmî Gazete (Sayı: 28509). Retrieved from: [Mevzuat Bilgi Sistemi](http://www.mevzuat.gov.tr/Mevzuat/Bilgi/Sistemleri)
- Karabulut, M. (2016). Determination of ohs risks of employees in chemistry laboratories of universities and solution suggestions for chemical exposure (Occupational Health and Safety Thesis). Retrieved from: [meryemkarabulut.pdf \(ailevecalisma.gov.tr\)](http://www.ailevecalisma.gov.tr/meryemkarabulut.pdf)
- Kerimak Öner, M. N. (2020). Laboratory safety culture placement in chemistry education. *İSG Academic*, 2(1), 15-25. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/isgakademik/issue/55400/751261>
- Laitinen, H., & Paivarinta, K. (2010). A new-generation safety contest in the construction industry-a long-term evaluation of a real-life intervention. *Safety Science*, 48(5), 680 – 686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.01.018>
- Laitinen, H., & Ruohomaki, I. (1996). The effects of feedback and goal setting on safety performance at two construction sites. *Safety Science*, 24(1), 61 – 73. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(96\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(96)00070-7)
- Laitinen, H., Vahapassi, A., Campbell, S., Ersan, E., Birgören, B., Özese, M., Matisane, L., Şimşek, C., Atlı, K., Demirkol, D., & Rodoplu, S. (2012). KOBİ’ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri-Metal Sektörü. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Retrieved from: [Microsoft Word - Metal YENİ \(ailevecalisma.gov.tr\)](http://www.ailevecalisma.gov.tr/microsoft-word-metal-yeni)
- Laitinen, H., Vuorinen, M., Simola, A., & Yrjanheikki, E. (2013). Observation-based OHS outcome indicators-validity of elmeri+ method. *Safety Science*, 54, 69-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.005>
- Marti, D. (2016). Evaluation of dust and silica exposure in brick and tile production sector and determining thermal comfort conditions (Occupational Health and Safety Thesis). Retrieved from: [dogamarti.pdf \(ailevecalisma.gov.tr\)](http://www.ailevecalisma.gov.tr/dogamarti.pdf)
- Nasim, S., Shahid, A., Mustafa, M., Kazmi, S., Siddiqui, T., Mohiuddin, S., Sheikh, M., & Usman, S. (2010). Practices and awareness regarding biosafety measures among laboratory technicians working in clinical laboratories in Karachi, Pakistan. *Applied Biosafety Journal*, 15(4), 172-179. DOI: <https://doi.org/10.1177/153567601001500403>
- Ongun, A. (2015). Occupational health and safety in Turkey and Finland’s manufacturing industry comparison and elmeri with OHS-YSD methods an application (Master’s thesis). Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ongun, A., & Bilen, K. (2016). Analysis and an application of Elmeri Method. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (Eds.), 8. *International conference on safety & health* (pp. 574-583). İstanbul, Turkey. Retrieved from: [untitled \(ailevecalisma.gov.tr\)](http://www.ailevecalisma.gov.tr)
- OSHA. (2011). *Laboratory Safety Guidance*. U.S.: Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor. Retrieved from: [Laboratory Safety Guidance \(osha.gov\)](http://www.osha.gov)



- Özdemir, B. (2014). Evaluation of occupational health and safety conditions in textile ateliers by using multi-criteria decision-making method (Occupational Health and Safety Thesis). Retrieved from: [burakozdemir.pdf \(ailevecalisma.gov.tr\)](#)
- Paolo, F., Gianfranco, F., Luca, F., Marco, M., Andrea M., Francesco, M., Vittorio, P., Mattia, P., & Patrizia, S. (2021). Investigating the role of the human element in maritime accidents using semi-supervised hierarchical methods. *Transportation Research Procedia*, 52, 252-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.029>
- Sarı, M., & Kuzpınar, H. G. (2017). Application of Elmeri OHS observation Method for Quarries around Aksaray city. Altınar, M., Özdemir, A. C., & Yılmaz, M. (Eds.). *International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining'2017 Reported Book* (pp. 412-427). Adana, Turkey. Retrieved from: [https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/8d3eefe2cdb3628\\_ek.pdf](https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/8d3eefe2cdb3628_ek.pdf)
- Sarıkaya, H., & Altındağ, R. (2015). Application of Marble Factory Method of Elmer. Gülsün Kılıç, M., Önel, Ö., Başarır, H., Karadeniz, M., & Torun Bilgiç, E. (Eds.). *Proceedings Book of the 24<sup>th</sup> International Mining Congress of Turkey* (pp. 90-96). Antalya, Turkey. Retrieved from: [https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5adcde510c66d4c\\_ek.pdf](https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5adcde510c66d4c_ek.pdf)
- Shekhar, H., Patel, M., Jain, C., Garg, N., & Mangukiya, K. (2015). Awareness to hazards and biosafety precautions among laboratory technicians working in tertiary-care center in Rajasthan, India. *International Journal of Medical Science and Public Health*, 4(1), 15-18. DOI: <https://doi.org/10.5455/ijmsph.2015.020920143>
- Yaylalı, Ç. (2016). The Elmeri Method of performance monitoring at occupational health and safety and an application in metal workshop of Karamanoğlu Mehmetbey University vocational school. Young Scholars Union (Eds.). *II. International Multidisciplinary Congress of Eurasia* (pp. 589-602). Odessa, Ukraine. Retrieved from: [Önceki Kongreler \(imcofe.org\)](#)
- Yılmaz, Ş., & Bilici, M. (2020). Occupational health and safety in laboratories located in the faculty of engineering. *OHS Academy*, 3(2), 102-113. DOI: <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.745723>
- Zaveri, J. (2012). Knowledge, attitudes and practice of laboratory technicians regarding universal work precaution. *National Journal of Medical Research*, 2(1), 113-115. Retrieved from: <https://www.bibliomed.org/mnsfulltext/78/78-1334080140.pdf?1624805948>



## Study on Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Response to Salt Stress Environment under Kabul Climatic Conditions, Afghanistan

Abdul Walid Salik<sup>1</sup>, Zafer Coşkun<sup>2,\*</sup>, Mohammad Zaman Amini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Soil Science and Irrigation, Faculty of Agriculture, Kabul University, Kabul, Afghanistan

<sup>2</sup>Tekirdag Viticultural Research Institute, Tekirdag, Turkey

<sup>3</sup>Department of Soil Science and Irrigation, Faculty of Agriculture, Kabul University, Kabul, Afghanistan

### Article History

Received: 05.01.2021

Accepted: 10.06.2021

Published: 30.06.2021

### Research Article

**Abstract** – This research was conducted to determine the effects of saline-irrigation water on growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under climatic conditions of Kabul Province, Afghanistan. This study consisted of control and three treatments having different salinity levels of irrigation water, (T1: 0.0 mM, T2: 5 mM, T3: 10 mM, and T4: 20 mM, of NaCl concentrations), which were applied throughout the growing season of okra in plastic pots with a randomized complete block design. Results showed that increase in salinity levels caused a significant reduction in germination of seeds (T1: 98 %, T2: 80 %, T3: 63 %, T4: 53 %), leaf length (T1: 9.17 cm, T2: 8.13 cm, T3: 7 cm, T4: 6.8 cm), shoot height (T1: 15.43 cm, T2: 15.43 cm, T3: 14.23 cm, T4: 13.87 cm) and root length (T1: 15.37 cm, T2: 12.73 cm, T3: 9.03 cm, T4: 8.7 cm). Highest fresh pod weight was observed in T1 (17.26 g/pot), followed by T2 (16.74 g/pot), T3 (11.93 g/pot) and T4 (7.75 g/pot). Water use efficiency (WUE) of okra was significantly affected by salinity levels. Greatest WUE (13.08 kg/ha/mm) was observed in T1, followed by T2 (12.68 kg/ha/mm), T3 (9.04 kg/ha/mm) and T4 (5.87 kg/ha/mm). As a result, okra growth and yield were significantly decreased with the increasing concentration of salt in the irrigation water.

**Keywords:** fresh pod weight, okra growth, salinity, salt stress, water use efficiency.

## 1. Introduction

Soil salinity is a key challenge towards agricultural production in Afghanistan. Agriculture development plays a vital role in the economic development of the country. Okra has an essential nutritional value in Afghanistan and widely used in feeding throughout the country. Soil salinization is a serious challenge that restricts and decreases the growth and productivity of agriculture production all over the world. Worldwide, over 800 million hectares of soil have been influenced by salts (Ifediora, Edeoga & Omosun, 2014). The existence of superfluous salt in water and soil is a serious environmental challenge (Ranga, Kumar, & Darvhankar, 2019) which negatively influenced the development of plants (Elshaikh, Zhipeng, Dongli & Timm, 2018, Kumar et al., 2017, Yakoubi, Babou, & Belkhodja, 2019) and reduces the quantity and quality of agricultural products (Abbas et al., 2013). Rocks weathering, irrigation of land with saline-water, poor management of irrigation, high evaporation rate, continuous and irregular application of chemical fertilizers are known as the key factors of soil salinization (Kumari et al., 2019). The high concentration of salts increases the osmotic pressure, as result the root of the plant cannot absorb water (Shahid et al., 2011) also, a high salt concentration is poisonous within plant cells due to ionic stress and erode the balance of ions (Abbas et al., 2014). Vegetables play a significant role in the digestion of foods as well as contain large amounts of vitamins (Yohanna & Muhammad, 2018) minerals, carbohydrates, and essential amino-acid (Benchasri, 2012). Furthermore, the fruit and leaves of okra contain a sufficient amount of water, fibre, phosphorus, calcium, iron, carbohydrates, protein,  $\beta$ -carotene and vitamins

<sup>1</sup> [salik.abdulwalid@ku.edu.af](mailto:salik.abdulwalid@ku.edu.af)

<sup>2</sup> [zafer.coskun@tarimorman.gov.tr](mailto:zafer.coskun@tarimorman.gov.tr)

<sup>3</sup> [zamanamini@ku.edu.af](mailto:zamanamini@ku.edu.af)

\*Corresponding Author

(Chowdhury & Kumar, 2019) which can play the main role in abolishing malnutrition (Saleh, El-Gizawy, El-Bassiomy, & Ali, 2013; Fajinmi & State, 2010; Nana et al., 2019). Okra is an economic vegetable, various parts of it such as leaf, stem, flower, fruit, and root can be used for different purposes (Chowdhury & Kumar, 2019) as the fruit is used in a fresh and dry form in feeding, the root and branch are used in cleaning up the juice of sugarcane, as well as the leaf and stem are used in making of thread and rope (Abbas et al., 2014). Okra consumption has many health benefits, such as lowering blood sugar (Basharat, 2019), prevents skin dryness, lowers blood cholesterol, having anti-cancer characteristics, reduces anxiety and vomiting (Nomel & Kerna, 2019; Adetuyi & Ibrahim, 2014) regulates stomach and intestines function (Kumar, Ramjan, & Das, 2019; Kumari, Rai, & Das, 2019). Worldwide, the okra cultivation area exceeds one million hectares and its production is estimated at over six million tons (Basharat, 2019), in which India is known as a higher producer (Kumar, Ramjan, & Das, 2019; Kumari, Rai, & Das, 2019). Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) is the member of Malvaceae (Sumudunie, Uluwaduge, Wijayabandara, & Premakumara, 2019) and it is Originated from Africa (Miryam, Moulay, & Narimane, 2015; Saleh et al., 2013). Currently, okra has grown widely in Tropical, Subtropical and Mediterranean regions (Sachini, Sutharsan, & Srikrishnah, 2019; Yakoubi et al., 2019; Benchasri, 2012; Abid, Malik, Khalid, & Wajid, 2002). Okra grows well in well-drained soil with loam texture, good organic matter content, and pH of 6 - 7.5 (Kumar et al., 2019). Okra required warm climate and the suitable temperature needs for its development is 20-30°C (Sachini et al., 2019; Vashi et al., 2019; Benchasri, 2012; Srivastava, Nath, & Singh, 2015). Okra cultivation with the seedling method is less effective. Mostly, okra seeds are planted into the soil by hand or by machine above the stack. The suitable population of okra per hectare is 50000 to 60000 okra plants and 18 to 22 kg seed is using for cultivation (Kumar et al., 2019). The production of ten tons of okra fresh pod yield per hectare required 100 kg of nitrogen, 10 kg of phosphorus, 60 kg of potassium (Kumar et al., 2019), 80 kg of Calcium and 40 kg of Magnesium (Benchasri, 2012). Okra fresh pod yield is estimated between 10 to 12.5 tons per acre in the rainy season and 4 to 6 tons in the spring and summer seasons (Kumar et al., 2019). Ifediora et al., (2014), conducted a research on the negative impacts of saline irrigation water on the development and viscosity of okra pods. The key parameters of their study were germination percentage, length of stem and root, leaf size, weight of dry and fresh pod. Increasing salinity level had negative effects on okra growth. Yakoubi et al. (2019) carried out a research on okra germination response to gibberellic acid and abscisic acid under NaCl stress condition. Due to salt stress okra germination process delayed without altering the final rate but it adversely affected okra growth and fresh pod weight. Shahid et al. (2011) have been performed an search on the physiological and morphological response of okra under salt stress environment. Increasing salinity had inhibiting effects on photosynthesis rate, germination percentage, fresh pod weight, shoot, and root length. Abid et al. (2002) conducted study on the response of okra to combined effects of electrical conductivity of irrigation water (EC<sub>iw</sub>) and sodium absorption ration of irrigation water (SAR<sub>iw</sub>). Okra growth, fresh pod weight, transpiration, and photosynthesis were decreased with improving levels of EC<sub>iw</sub> and SAR<sub>iw</sub>. Emergence and germination tests are known as a significant screening tool for the assessment of okra tolerance to salt stress conditions (Abid et al., 2002). The purpose of this research is to determine the adversely effects of saline irrigation water on the growth and fresh pod yield of okra, as well as study the reaction of agronomic characteristics of okra against salinity.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

This research was performed in the research farm of Agriculture Faculty of Kabul University which is located at Longitude 69°8'21" E and Latitude 34°31'4" N with an elevation of 1780 m above sea level. Seeds of okra, pH meter, electrical conductivity meter, hydrometer, plastic pots, sodium chloride, sieve, and ruler were used as research materials. The texture of the cultivated soil was loam, pH (pH<sub>KCL</sub>= 8.5), dissolved salts (0.11dS / m), bulk density (1.5 gr cm<sup>-3</sup>) and according to the Munsell soil color chart, soil color was dark yellowish-brown (10YR <sup>3</sup>/<sub>4</sub>).

## 2.2. Method

The research was designed with three replications in randomized complete block design (RCBD). The soil was sieved by 2 mm sieve and 7.5 Kg of topsoil was added to each plastic pot. Okra seeds were sown in the pots once the pots were filled with soil, the length of growing season was 130 days from early April to middle of August 2019. Immediately after sowing the seeds, the pots were irrigated with pre-determined saline water. Two weeks after sowing, thinning of okra took place and only 3 healthy plants were left in the pot and the remaining were discarded. Irrigation with saline water started immediately after sowing. Examined parameters in the study were germination percentage, leaf length, fresh pod weight, root length and shoot height of okra. Four levels of NaCl concentration were used as salt treatments. These treatments are 0.0 mM as control or treatment 1 (T1), 5 mM as treatment 2 (T2), 10 mM as treatment 3 (T3), and 20 mM as treatment 4 (T4). All four different levels of NaCl concentrations were used for irrigating okra plants along the cultivation season.

Table 1 shows research treatment.

Table 1  
Research treatments

Treatments	Sodium Chloride Concentration (millimolar)
T1 (control)	0.0 mM
T2	5 mM
T3	10 mM
T4	20 mM

The measurements of seed germination recorded every three days. Leaf length, shoot height measurements taken place once in a week, okra fresh pod yield was collected gradually once in each four days, and root length was measured once at the final stage okra growth. Drip irrigation method was used in the study and irrigation was done once in each 5 days at the early stage of okra growing season, but later due to temperature increasing and accumulation of salt in the soil root zone, irrigation was done once in every 3 days. Okra was irrigated 24 times during the growing season. Every single frequency of irrigation contains 22 mm water, the total amount of applied irrigation water for the entire growing season was 528 mm. Water use efficiency values were calculated from yield and irrigation water amount using the following formula:

$$\text{Water use efficiency (Kg/ha/mm)} = \text{Yield (Kg/ha)} / \sum \text{irrigation water (mm)}$$

## 2.3. Data Analysis

The mean data from three replications were analysed by the method of one-way analysis of variance (ANOVA) using SAS statistical Software. Also, the means has been compared with the least significant difference test (LSD) for significant differences between the variables. The error bar is expressed to facilitate interpretation and comparison of results.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Germination Percentage

Salt stress significantly influenced the germination percentage. In this study, the germination process was completed within 7 days in the field condition. The germination percentage was decreased significantly when the salt concentrations were increased. Significant differences at  $P < 0.05$  between different treatments have been observed except treatment levels 10 mM and 20 mM ( $F=37.40$ ,  $df=3$ ,  $P=0.0003$ ,  $LSD= 11.16$ ).

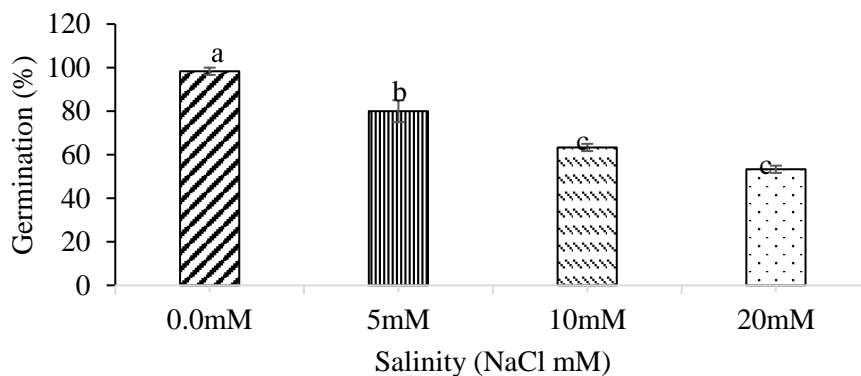


Figure 1. Response of germination rate (%) to NaCl salt stress. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

It was observed that increasing salt level concentration in the irrigation water had adverse impact on the percent germination of okra seeds. The results indicate that treatment level 0.0 mM had 98%, 5 mM had 80%, 10 mM had 63% while 20 mM had 53% germination (Figure 1). Our findings also confirm the results of Ifediora, et al, (2014) and Abid et al., (2002), who observed a significant reduction in okra germination by increasing salt concentrations in irrigation water. High levels of salinity, especially NaCl can inhibit the germination rate due to toxic and osmotic effects (Miryam, Moulay, & Narimane, 2015). In this study at treatment level 20 mM, the immature deaths of some plants were observed as well. It would be the effects of variation which occurred in cell division and cell elongation due to osmotic effects of saline water.

### 3.2. Leaf Length

The result of this study shows that there was considerable reduction in leaf length due to impact of salinity levels in the irrigation water. Significant difference at  $P < 0.05$  between treatments has been observed ( $F=17.11$ ,  $df=3$ ,  $P=0.0024$ ,  $LSD= 0.9186$ ). The maximum reduction in leaf length occurred in treatment level 20 mM (6.8 cm) followed by 10 mM (7 cm), 5 mM (8.13 cm) and control (9.17 cm) (Figure 2). The reduction in leaf length as a result of high salt contents was mainly due to the osmotic effect of saline water. Leaf cells lose water because of an abrupt increase in soil salinity levels.

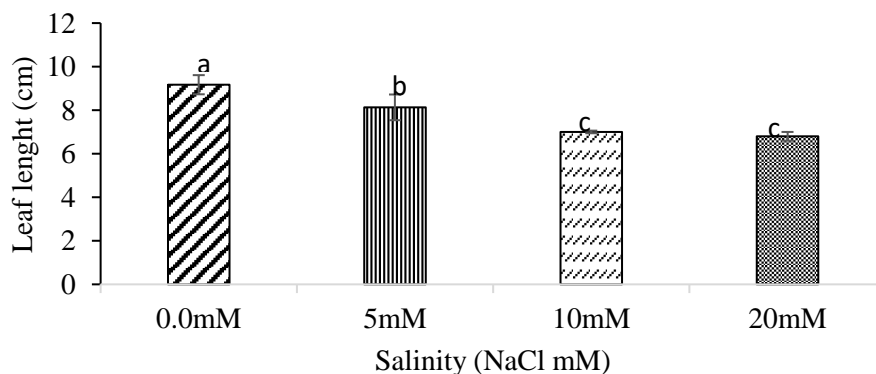


Figure 2. Response of leaf length (cm) to NaCl salt stress. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

The decreasing cell division and cell elongation will drive to slower leaf appearance and shorter leaf length (Ifediora et al., 2014). Our findings can be confirmed by the results of Ifediora et al. (2014) where the leaf appearance and size become smaller under high concentration of salt in irrigation water which is similar to the findings of our study.



### 3.3. Shoot Height

The result of this study shows that the shoot height of okra was negatively impacted as salt concentration increased in the irrigation water. As seen in [Figure 3](#), there was not significant differences at  $P < 0.05$  between treatments 0.0 mM and 5.0 mM and between 10 mM and 20 mM ( $F=6.21$ ,  $df=3$ ,  $P=0.0286$ ,  $LSD=1.1983$ ). However, the first two treatments had significantly greater shoot length in compared the last two treatments, which had higher salt concentrations.

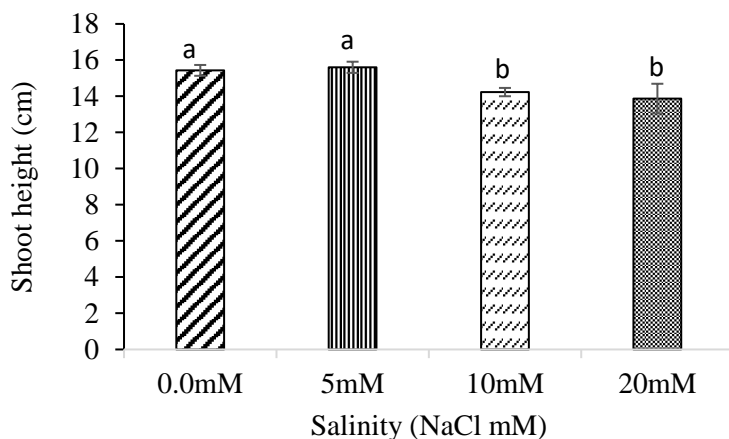


Figure 3. Response of shoot height (cm) to NaCl salt stress. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

The greater shoot heights were observed in treatment level 5mM (15.6 cm), followed by control treatment level 0.0 mM (15.43 cm), while the smaller shoot heights were observed in treatments 10 mM (14.23) and 20 mM (13.87 cm) ([Figure 3](#)). Our findings can be confirmed by results of [Ifediora, et al., \(2014\)](#) and [Abid et al., \(2002\)](#) who observed higher shoot height of okra plant under lower salt stress environment. In treatment level 5 mM, the okra might be fixed osmotically to the growing requirement, as a result, it had longer shoot height.

### 3.4. Root Length

Salt stress showed an inhibiting adverse effect on root length. Significant differences between treatments have been observed ( $F=87.45$ ,  $df=3$ ,  $P=0.0336$ ,  $LSD=1.2374$ ). As is obvious in [Figure 4](#), there were significant differences between all treatments except between treatments 10 mM and 20 mM.

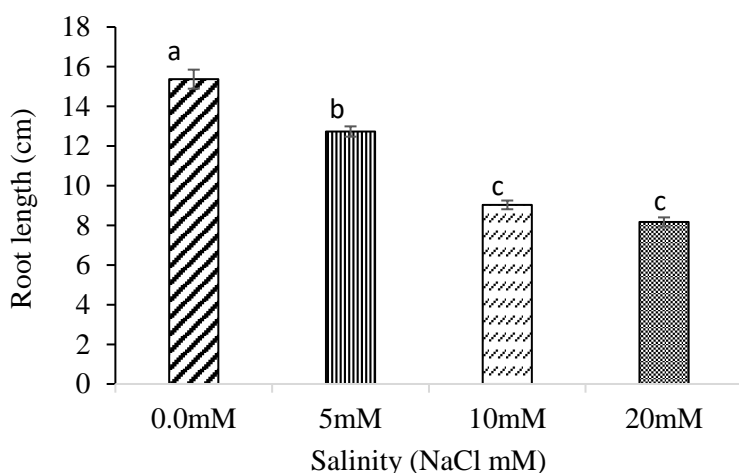


Figure 4. Response of root length (cm) to NaCl salt stress. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

The greatest reduction in root length was observed in treatment level 20 mM (8.17 cm), followed by 10 mM (9.03 cm), 5 mM (12.73 cm) and control (15.37 cm) (Figure 4). Similarities can be seen between our results and the findings of Ifediora et al, (2014) and Abid et al., (2002) where significant growth inhibition in root length was seen as salt concentrations increased. Irrigating with saline water might have caused an increase in osmotic pressure which can reduce cell elongation and limit root growth. The reduction in cell division and elongation could be due to the inhibiting impacts of salinity on growth-related hormones (Abbas et al., 2014). Under control treatment, the okra plant may be adjusted osmotically to growing conditions, as a result, they maintained successful cell enlargement resulting in maximum root length.

### 3.5. Fresh Pod Weight

Increase in salt concentration of irrigation water has adversely impacted the of fresh pods weight of okra. As shown in Figure 5, treatments 0.0 mM and 5.0 mM and treatments 10 mM and 20 mM did not statistically differ from each other at  $P < 0.05$  ( $F = 10.41$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.0086$ ,  $LSD = 4.8029$ ). However, the first two treatments resulted in significantly greater fresh pod weight in compared the last two treatments.

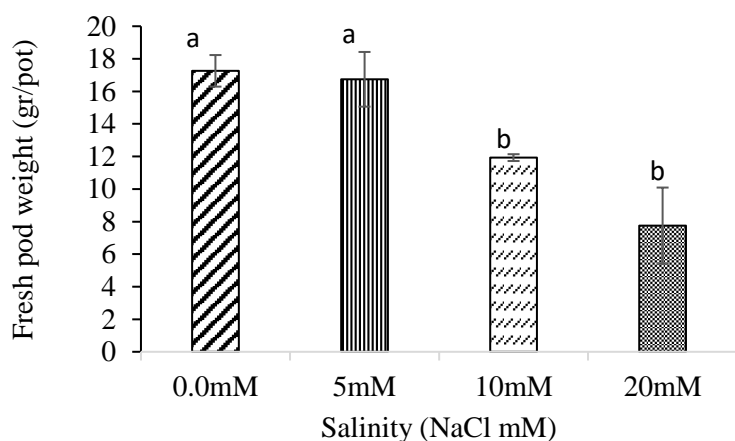


Figure 5. Response of fresh pod weight (gr) to NaCl salt stress. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

The maximum fresh pod weight was observed in treatment 0.0 mM (17.26 g/pot), followed by treatments 5 mM (16.74 g/pot), 10 mM (11.93 g/pot), and 20 mM (7.75 g/pot). The results indicate a 3%, 31%, and 55% decrease in fresh pod weight under treatments 5 mM, 10 mM, and 20 mM, respectively, compared to the control treatment. This means that increasing salt concentration in irrigation water can significantly reduce fresh pod weight of okra. The reduction in fresh pod weight can be due to the high soil salinity level causing a reduction in cell division, cell elongation, interrupted avoidance mechanism, and injury of plant cells. Our findings can be confirmed by results of Abid et al., (2002); Abbas et al. (2014) and Ifediora et al., (2014) who reported a significant reduction in fresh pod yield of okra by increasing salt concentrations. The summary of impacts of different salinity levels of irrigation water on germination percentage, leaf length, shoot height, root length, and fresh pod weight of okra is presented in Table 2.

### 3.6. Water use Efficiency

The impacts of salt concentration in irrigation water on water use efficiency (WUE) of okra is presented in Figure 6. The greatest WUE (13.08 kg/ha/mm) was observed under control treatment, followed by 5 mM (12.68 kg/ha/mm), 10 mM (9.04 kg/ha/mm) and 20 mM (5.87 kg/ha/mm). The difference between all treatments are statistically significant except between the first two treatments.

It is obvious that all irrigation water contains salts to some extent. These salts can supply essential nutrients for plants to grow and bear yield. However, if too much salt is supplied to the field, plant growth and

performance will be adversely impacted. For examples, salt can accumulate in the soil, causing an "osmotic stress", or osmotic potential, which has the same effect on plants as a very negative matrix potential when the soil is dry, resulting is less available water for plants, which may inhibits plant germination and emergence. Meanwhile, if there is a disproportionate amount of magnesium, sodium, bicarbonate and/or carbonate in the water, the soil surface will seal up, causing infiltration problems. All these important parameters together adversely affect growth and performance of plants in the field.

Afghanistan is located in an arid region of the world and, in some parts of it, the farmers deal with saline soil and saline irrigation water. The salts can be imported to their field through a combination of water management problems, salt in the water, and sometimes fertilizer. Thus, under such conditions, it is very important for the farmers to practice reclamation irrigation to leach salts from the crop root zone. Proper planting method can also reduce salt effects. For instance, farmers can use furrow irrigation where they can shape the furrows so that salt-laden irrigation water evaporates at high points in the bed - and the plants/seeds are located at lower points. Applicant of drip irrigation, compared to surface irrigation types, can also minimize salt injury to plant as it frequently keeps the soil wet and the salts diluted.

Table 2

Effects of salt concentration in irrigation water on growth, leaf length, shoot height, root length, and fresh pod weight of okra.

Treatments	Germination (%)	Leaf Length (cm)	Shoot Height (cm)	Root Length (cm)	Fresh Pod Weight (gr)
Control (0.0 mM)	98.33 ± 2.89 <sup>a</sup>	9.17 ± 0.76 <sup>a</sup>	15.43 ± 0.51 <sup>a</sup>	15.37 ± 0.83 <sup>a</sup>	17.26 ± 1.39 <sup>a</sup>
5 mM	90 ± 8.66 <sup>b</sup>	8.13 ± 1.03 <sup>b</sup>	15.6 ± 0.53 <sup>a</sup>	12.73 ± 0.45 <sup>b</sup>	16.74 ± 2.41 <sup>a</sup>
10 mM	63.33 ± 2.89 <sup>c</sup>	7 ± 0.1 <sup>c</sup>	14.23±0.4 <sup>b</sup>	9.03 ± 0.38 <sup>c</sup>	11.93 ± 0.26 <sup>b</sup>
20 mM	53.33 ± 2.89 <sup>c</sup>	6. 8± 0.35 <sup>c</sup>	13.87 ± 1.42 <sup>b</sup>	8.17 ± 0.4 <sup>c</sup>	7.75 ± 3.12 <sup>b</sup>
LSD	11.169	0.9186	1.1983	1.2374	4.8029
CV	7.58	5.91	4.06	5.47	17.92
F	37.40	17.11	6.21	87.45	10.41
P	0.0003	0.0024	0.0286	0.0336	0.0860

Mean value indicated by the same letter in columns are non-considerable at 5% level of significance, LSD at 5% level of significance

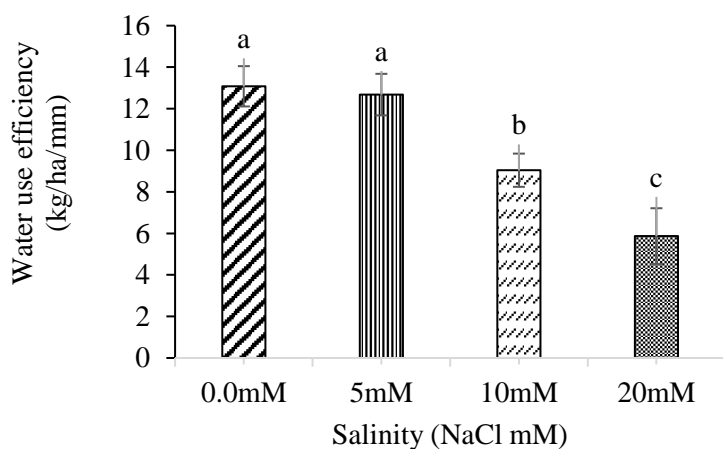


Figure 6. Water use efficiency. Dissimilar letters show significant differences between treatments using the LSD test. Bars indicate standard error of the means.

#### 4. Conclusion

According to the findings of this study, it can be concluded that a considerable reduction in germination percentage, leaf length, shoot height, root length, and fresh pod yield of okra strongly associated with salinity stress. These measured parameters can be accounted as an efficient tool for the evaluation of potential salinity endurance of okra. Indeed, the finding of this study can be confirmed by the results of recent researches where they found that the physiological functions, morphology, stomata closing as well as the photosynthesis rate of okra has been decreased due to the increasing level of salinity.

#### Acknowledgement

I would like to thank the researchers and my colleagues who contributed to conducting of experiments and the preparation of the article. I also would like to thank the department of soil science and irrigation, faculty of agriculture, Kabul university for supporting the study.

#### Author Contributions

Abdul Walid Salik: Conceived and designed the experiment.

Zafer Coşkun: Performed data collection and data analysis.

Mohammad Zaman Amini: Wrote up the paper.

#### Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

#### References

- Abbas, T., Pervez, M. A., Ayyub, C. M., & Ahmad, R. (2013). Assessment of morphological, antioxidant, biochemical and ionic responses of salt-tolerant and salt-sensitive okra (*Abelmoschus esculentus*) under Saline Regime. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 11(2), 147–153. Retrieved from: [http://pjlss.edu.pk/pdf\\_files/2013\\_2/147-153.pdf](http://pjlss.edu.pk/pdf_files/2013_2/147-153.pdf)
- Abbas, T., Pervez, M. A., Ayyub, C. M., Shaheen, M. R., Tahseen, S., Shahid, M. A., Bilal, R. M. and, & Manan, A. (2014). Evaluation of different okra genotypes for salt tolerance. College of Agriculture, University of Sargodha, Sargodha, Pakistan. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4(3), 23–30. Retrieved from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143288358>
- Abid, M., Malik, S. A., Khalid, B., & Wajid, R. A. (2002). Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) to EC and SAR of irrigation water. *International Journal of Agriculture & Biology*, 4(3), 311–314. Retrieved from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1057.5457&rep=rep1&type=pdf>
- Adetuyi, F. O., & Ibrahim, T. A. (2014). Effect of fermentation time on the phenolic, flavonoid and vitamin c contents and antioxidant activities of okra (*Abelmoschus esculentus*) Seeds. *Nigerian Food Journal*, 32(2), 128–137. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30128-4](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30128-4)
- Basharat, S. (2019). Beneficial effects of okra in diabetes mellitus. *Asian Journal of Allied Health Sciences*, 4(2), 67-77.
- Benchasri, S. (2012). Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) as a valuable vegetable of the world. *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 49, 105–112. DOI: <https://doi.org/10.5937/ratpov49-1172>
- Chowdhury, S., & Kumar, S. (2019). Okra breeding: recent approaches and constraints okra breeding: recent approaches and constraints. *Annals of Biology*, 35(1), 55–60.
- Elshaikh, N. A., Zhipeng, L., Dongli, S., & Timm, L. C. (2018). Increasing the okra salt threshold value with biochar amendments. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 51–63. DOI: <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1418914>
- Fajinmi, A., & State, E. (2010). Incidence of okra mosaic virus at different growth stages of okra plants (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) under tropical condition. *Journal of General and Molecular Virology*, 2(1), 28–31. Retrieved from: <https://academicjournals.org/journal/JGMV/article-abstract/E50998211032>

- Ifediora, H.N., Edeoga, H. O., & Omosun, G. (2014). Effects of salinity on the growth and viscosity of fruits of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Current Agricultural Research Vol.*, 1(7), 81–84. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper>
- Kumar, D., Al Hassan, M., Naranjo, M. A., Agrawal, V., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2017). Effects of salinity and drought on growth, ionic relations, compatible solutes and activation of antioxidant systems in oleander (*Nerium oleander* L.). *Plos One*, 12(9), 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185017>
- Kumar, V., Ramjan, M., & Das, T. (2019). Cultivation practices of okra. *Biomolecule Reports*, ISSN: 2456-8759, March, 0–5.
- Kumari, R., Kumar, P., Meghawal, D. R., Sharma, V. K., Kumar, H., Avinash, H., & Al., E. (2019). Salt-tolerance mechanisms in plants (1st ed., Issue 1). AkiNik Publications. New Delhi, India.
- Miryam, O., Moulay, B., & Narimane, Z. (2015). Effect of salinity on seed germination of *Abelmoschus esculentus*. *African Journal of Agricultural Research*, 10(19), 2014–2019. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8341>
- Nana, R., Ma, Y., Ou, F., Kabor, B., Badiel, B., & Tamini, Z. (2019). Effect of water quality on the germination of okra (*Abelmoschus esculentus*) seeds. *International Journal of Agronomy*, 2019, 1–7. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/4938349>
- Nomel, R., & Kerna, N. A. (2019). Okra and the Heart: Reducing cardiovascular risk by lowering blood sugar with Okra. *ECronicon Cardiology* 6.12, 1(4), 1–5. Retrieved from: <https://www.ecronicon.com/eccy/pdf/okra>
- Rai, A. K. and, & Das, H. (2019). Seed quality of okra produced after bio-priming seed quality of okra produced after bio-priming. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(6), 2166–2173. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.257>
- Ranga, A. D., Kumar, S., & Darvhankar, M. S. (2019). Effect of saline soil in okra plantation. *Golden Jubilee International Salinity Conference, February*, 132–133. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19938.79046>
- Sachini, T., Sutharsan, S., & Srikrishnah, S. (2019). Effect of different planting geometry and application of liquid organic fertilizer on the growth and yield of *Abelmoschus esculentus* L. intercropped with *Vigna unguiculata* L. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(12), 1310–1314.
- Saleh, M. A., El-Gizawy, A. M., El-Bassiomy, R. E. L., & Ali, H. M. (2013). Effects of anti-coloring agents on blackening inhibition and maintaining physical and chemical quality of fresh-cut okra during storage. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 239–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.07.008>
- Shahid, M. A., Pervez, M. A., Balal, R. M., Ahmad, R., Ayyub, C. M., Abbas, T., & Akhtar, N. (2011). Salt stress effects on some morphological and physiological characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Salt stress effects on some morphological and physiological. *Soil and Environment*, 30(1), 66–73.
- Srivastava, V., Nath, P., & Singh, R. (2015). Screening of okra varieties against okra jassid (*Amrasca biguttula biguttula*) Screening of okra varieties against okra jassid (*Amrasca biguttula biguttula* Ishida). *Journal of Biotechnology and Crop Science*, 4(4), 27–31. Retrieved from: [http://www.jbcs.net.in/ AbstractDetail.aspx?Abst=60](http://www.jbcs.net.in/AbstractDetail.aspx?Abst=60)
- Sumudunie, K., Uluwaduge, D., Wijayabandara, J., & Premakumara, G. (2019). Okra (*Abelmoschus esculentus*), a possible intervention for diabetes. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 4(5), 50–52. Retrieved from: <http://www.foodsciencejournal.com/archives/2019/vol4/issue5/4-4-74>
- Vashi, J., Tandel, B., Saravaiya, S., Patel, A., Chaudhari, B., & Al, E. (2019). Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) to foliar application of silicon. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(08), 1277–1282. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.150>
- Yakoubi, F., Babou, F. Z., & Belkhodja, M. (2019). Effects of gibberellic and abscisic acids on germination and seedling growth of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under Salt Stress. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 42(2), 847–860. Retrieved from: <https://web.a.ebscohost.com/abstract>
- Yohanna, J. A., & Muhammad, A. M. (2018). Effect of seeding rate on growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) in Zuru Northern Guinea Savanna of Nigeria. *International Journal of Scientific Research and Management*, 6(2), 1–5. DOI: <https://doi.org/10.18535/ijcsm/v6i2.ah01>