

# JOURNAL OF ICIVILTECH

INNOVATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

YEAR: 2020 VOLUME: 2 ISSUE: 1

EARTHQUAKE ENGINEERING

BUILDING MATERIALS ENGINEERING

STRUCTURAL ENGINEERING

CONSTRUCTION MANAGEMENT ENGINEERING

TRANSPORTATION ENGINEERING

GEOTECHNICAL ENGINEERING

e-ISSN: 2687-2129

HYDRAULIC AND WATER RESOURCES ENGINEERING

Journal of Innovations in Civil  
Engineering and Technology

**Volume 2, Issue 1, Year 2020**  
**(30.06.2020)**

# Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH) 2020, Volume 2, Issue 1

## The Journal Information

**Publisher:** Hüseyin AKBULUT

**Editor-in-Chief:** Hüseyin AKBULUT

**Editors:** Cahit GÜNER, Gökhan GÖRHAN, Gökhan KÜRKLÜ

**Field Editor:** Murat HİÇYILMAZ

**Secretary of Publication:** Ayfer ELMACI, Burak Enis KORKMAZ, Şule YARCI

**Access:** Open Access

**Language of Publication:** English and Turkish

**Publication Frequency:** Twice a year (in December and June)

**Type of Publication:** Peer-reviewed and periodical

**e-ISSN:** 2687-2129

**Telephone:** +90 272 2182 30 00 (2324)

**E-mail:** [j.civiltech@gmail.com](mailto:j.civiltech@gmail.com)

**Webpage:** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiciviltech>

**Correspondence Address:** Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Ahmet Necdet Sezer Campus, 03200, Afyonkarahisar, TURKEY.

## Advisory Board of the 1st Issue

**Alan WOODSIDE**, *Brunel University, United Kingdom*  
**Bojan ZLENDER**, *University of Maribor, Slovenia*  
**Erol TUTUMLUER**, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*  
**Hasan TOSUN**, *Eskisehir Osmangazi University, Turkey*  
**Hashem R. AL-MASAEID**, *Jordan University of Science and Technolog, Jordan*  
**Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ**, *Gazi University, Turkey*  
**Imad L. AL-QADI**, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*  
**İlhami DEMİR**, *Kırıkkale University, Turkey*  
**İsmail DEMİR**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**João Pedro SILVA**, *Polytechnic Institute of Leiria, Portugal*  
**Masayasu OHTSU**, *Kyoto University, Japan*  
**Mehmet SALTAN**, *Süleyman Demirel University, Turkey*  
**Meor Othman HAMZAH**, *University Sains Malaysia, Malaysia*  
**Mujib RAHMAN**, *Brunel University, United Kingdom*  
**Iqbal KHAN**, *King Saud University, Saudi Arabia*  
**Özcan TAN**, *Konya Technical University, Turkey*  
**Serdal TERZİ**, *Süleyman Demirel University, Turkey*  
**Dunja PERIC**, *Kansas State University, United States*  
**Murat KANKAL**, *Uludağ University, Turkey*  
**Paula FOLINO**, *University of Buenos Aires, Argentina*  
**Roumiana ZAHARIEVA**, *University of Architecture, Bulgaria*  
**Sri Atmaja P. ROSYIDI**, *Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia*  
**Ivanka NETINGER**, *University of Osijek, Croatia*  
**Veli BAŞARAN**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Ahmet Raif BOĞA**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Murat Vergi TACİROĞLU**, *Mersin University, Turkey*

## Reviewer List of the 1st Issue

**Bekir AKTAŞ**, *Erciyes University, Turkey*  
**Gökhan DURMUŞ**, *Gazi University, Turkey*  
**Hakan ÖZBAŞARAN**, *Eskişehir Osmangazi University, Turkey*  
**Hasan Selim ŞENGEL**, *Eskişehir Osmangazi University, Turkey*  
**Murat ÖZTÜRK**, *Konya Technical University, Turkey*  
**Murat Vergi TACİROĞLU**, *Mersin University, Turkey*  
**Mustafa Serhat BAŞPINAR**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Orhan KAYA**, *Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Turkey*  
**Şebnem KARAHANÇER**, *Isparta University of Applied Sciences, Turkey*  
**Yılmaz KOÇAK**, *Düzce University, Turkey*

# Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
<b>Kemal Muhammet ERTEN, Serdal TERZİ, Hüseyin AKBULUT</b> Effect of Bitumen Grade, Bitumen Percentage and Mineral Binders on Mixture Properties in Foam Bitumen-Stabilized RAP Materials <i>Köpük Bitümle Stabilize RAP Malzemelerde Bitüm Sınıfı, Bitüm Yüzdesi ve Mineral Esaslı Bağlayıcıların Karışım Özelliklerine Etkisi</i>	<b>1-11</b>
<b>Gökhan GÖRHAN</b> Pirojenik Silis İlavesinin Afyonkarahisar Bölgesi Pişmiş Tuğla Kili Özelliklerine Etkisi <i>The Effect of Pyrogenic Silica Addition on Fired Brick Clay Properties of Afyonkarahisar Region</i>	<b>13-25</b>
<b>Veli BAŞARAN, Murat HİÇYILMAZ</b> Betonarme Çerçevelerde Farklı Deprem Yer Hareketi Düzeyi Etkilerinin İncelenmesi <i>Investigation of Different Earthquake Ground Motion Level Effects in Reinforced Concrete Frames</i>	<b>27-41</b>

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Effect of Bitumen Grade, Bitumen Percentage and Mineral Binders on Mixture Properties in Foam Bitumen-Stabilized RAP Materials**

\*<sup>1</sup>Kemal Muhammet ERTEN, <sup>2</sup>Serdal TERZİ, <sup>3</sup>Hüseyin AKBULUT

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe University, Dazkırı Vocational School, Construction Inspection Department, Afyonkarahisar, Turkey, [kmerten@aku.edu.tr](mailto:kmerten@aku.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5181-4109>

<sup>2</sup>Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Isparta, Turkey, [serdalterzi@sdu.edu.tr](mailto:serdalterzi@sdu.edu.tr), ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-4776-824X>

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Afyonkarahisar, Turkey, [hakbulut@aku.edu.tr](mailto:hakbulut@aku.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4504-4384>

Geliş / Recieved: 24.04.2020;

Kabul / Accepted: 11.06.2020

**Abstract**

The rates of using reclaimed asphalt pavement (RAP) materials in road construction work depend as much on the quality of the recycled material as on the effects of the additives blended with these materials to the mixture. For asphalt cold recycling, which can be made with different methods and additives, the optimum amount of water in the mixture and the cure that develops accordingly, the correct compaction of the mixture is two important aspects in terms of pavement performance. For this reason, different bitumen grades, different bitumen percentages and mixtures with different mineral binders were prepared for cold recycle with foam bitumen and optimum water requirement, bulk specific gravity values of the productions and variation of the heights of the Marshall briquettes were investigated. Productions made with cement, lime and fly ash, which are used as mineral binders, change of California Bearing Ratio values were observed. In the productions, 4 types of penetration bitumen (50/70-70/100-100/150-160/220) and the effect of using different percentages of them were revealed. Results showed that decreased bitumen penetration, increased bitumen percentage and increased RAP material percentage

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Erten, K.M., Terzi, S., & Akbulut, H., (2020). Effect of bitumen grade, bitumen percentage and mineral binders on mixture properties in foam bitumen-stabilized RAP materials. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 2(1), 1-11.

made it difficult to compact the material and the optimum water percentage was directly affected by mineral binders.

**Keywords:** *RAP, Mineral binders, Foam bitumen, Optimum mixture water, CBR.*

## **Köpük Bitümle Stabilize RAP Malzemelerde Bitüm Sınıfı, Bitüm Yüzdesi ve Mineral Esaslı Bağlayıcıların Karışım Özelliklerine Etkisi**

### **Öz**

Geri kazanılmış asfalt kaplama (RAP) malzemelerin yol yapım çalışmalarında kullanım oranları, kazınmış malzemenin niteliğine bağlı olduğu kadar bu malzemelerle harmanlanan katkı maddelerinin karışıma olan etkilerine de bağlıdır. Farklı yöntemler ve katkı maddeleriyle yapılabilen asfalt soğuk geri kazanımı için, karışım optimum su miktarı buna bağlı olarak gelişen kür olayı ve karışımın uygun sıkıştırılması kaplama performansı açısından önem arz eden iki husustur. Bu nedenle çalışmada RAP malzemenin köpük bitümle soğuk geri kazanımı için; farklı bitüm sınıfları, farklı bitüm yüzdeleri ve farklı mineral esaslı bağlayıcılar ile karışımlar hazırlanmış, üretimlere ait optimum su ihtiyacı, hacim özgül ağırlığı değerleri ve üretilen Marshall briketlerinin yüksekliklerinin değişimi araştırılmıştır. Çalışmada mineral esaslı bağlayıcı olarak kullanılan çimento, kireç ve uçucu küllü yapılan üretimlerde CBR (kaliforniya taşıma oranı) değerlerinin değişimi gözlenmiştir. Yapılan üretimlerde 50/70-70/100-100/150 ve 160/220 olmak üzere 4 tip penetrasyon bitümü ve bunların farklı yüzdelerinin kullanılmasının etkisi ortaya koyulmuştur. Ayrıca RAP malzemenin bitümden ayrıştırılmış agregasının farklı oranlarda kullanımı için 4 adet üretim yapılmış ve RAP malzemedeki bitümün karışıma katkısı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar; bitüm penetrasyonunun azalmasının, bitüm yüzdesinin artmasının ve RAP malzeme yüzdesinin artmasının malzemenin sıkışmasını zorlaştırdığı ve optimum su yüzdesinin mineral esaslı bağlayıcılardan doğrudan etkilendiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** RAP, Mineral esaslı bağlayıcı, Köpük bitüm, Optimum karışım suyu, CBR.



## 1. Introduction

Due to energy savings, raw material (bitumen and aggregate) savings and environmental gains, efforts to use reclaimed asphalt in pavements have accelerated in recent years.

Reclaimed asphalt pavements (RAP) material is reusable in new asphalt mixes because it is still valuable. Although aggregate and bitumen, which are components of the mixture, are recycled (McDaniel & Anderson, 2001; Yan et al., 2014).

However, because the RAP material is not heated in cold recycles, the mixture homogeneity and compaction difficulties can be encountered in the mixture application.

Therefore, to eliminate these negative effects, such as bitumen emulsion, foam bitumen, high penetration bitumen, cut-back bitumen, cement, fly ash and lime (Wang et al., 2018) additives have been used.

The purpose of application of foam bitumen, one of these additives, is to increase the surface area of bitumen and decrease its viscosity. In this way, homogenous mixing with cold and moist material is possible (Muthen, 1998; Wirtgen, 2012).

Mineral binders such as portland cement, hydrated lime and fly ash, which help improving the rap material usage rate and mix quality, improve the mechanical properties of cold-recycled mixtures, allowing them to open the

road to early traffic in the short term. In the long term, they increase the strength of the pavement (Brown & Needham, 2000; Dolzycki et al., 2017; Graziani et al., 2018). However, mineral binding percentage is usually limited to 1% in cold mixtures because the use of these materials in high proportions results a brittle structure in the mixture. Such mineral binders, through their fine grain structure, help reduce voids in cold mixtures with high void content (Wirtgen, 2012), while it should be taken into consideration that they can increase the water requirement of the mixture.

If the mixture has an insufficient water content, the workability is reduced and the binding agent is not uniformly dispersed in it, while too much water extends the curing time, reduces the strength and density of the compacted mixture and may reduce the bitumen coating of aggregates (Muthen, 1998). Therefore, determination of optimum water content in the mixture is an important consideration in terms of mixture quality.

Determination of optimum water content is widely made by Proctor testing, developed by R.R. Proctor in the early 1930s. In the experiment, optimum mixture water is determined to find the maximum dry unit weight of the sample with the help of a standard free-falling hammer (Izquierdo et al., 2011).

For 100% RAP materials in literature; %3,73 (Seferoğlu et al., 2015), %4,1 (Cliatt et al., 2016) %5,5 (Wen, 2010) as a wide range of optimum water needs values are encountered. This is due to

variability in recycled materials such as the percentage of bitumen, the amount of filler.

In the study, in mixtures made using different materials or different ratios of the same materials, the effect of materials on compactibility of the mixture, was determined by bulk specific gravity and briquette heights.

The CBR (California bearing ratio) experiment, which is used as another assessment criterion, can be done in two ways: wet CBR and dry CBR. The aim of the wet CBR experiment applied in the study was to determine the lowest bearing power in which the voids were completely filled with water (Demirel et al., 1999). In literature, for wet CBR values of 100% RAP material with no additive; very low values such as %26 (Seferoğlu et al., 2015), %19,85 (Saha & Mandal, 2017) were encountered but Seferoğlu et al. (Seferoğlu et al., 2018) stated that the addition of 1% cement to 100% RAP material increases CBR value more than approximately 2 times.

## **2. Materials and Method**

In the study, the optimum water requirement used in the production of mixtures, bulk specific gravity values of the production and height values of Marshall bricks prepared for mixtures were used as evaluation criteria. In addition, the CBR (TS 1900-2) test was performed to evaluate the bearing capacity of the rap material of the mineral binders used in the study. Due to the difficulty of compaction in recycled materials in practice, it has been

tried to understand that RAP material can be compacted better with which variables. That is to say, optimum mix values have been investigated for cold mixes in order to obtain mixes with low mixing water requirement, which can be compacted better and have high bulk specific gravity (high workability).

The RAP material used has the gradation given in Table 1. The gradation was not changed by using an additional material and the gradation effect was eliminated by making evaluations on the given single gradation. Although no new aggregate substitution was performed in the experiments, 4 different mixtures (0%-20%-70%-100% RAP) were prepared for a production series by extracting the RAP material bitumen and mixing the RAP+bitumen extracted rap aggregate in different proportions so the efficiency of the RAP material ratio on the productions was evaluated.

**Table 1.** Rap material gradation.

<b>Sieve Size (mm)</b>	<b>RAP gradation (% passing)</b>
25	100
19	96
12,5	87
9,5	79
4,75	58
2	33
0,425	9
0,18	4
0,075	1,6

In order to examine the effect of bitumen on the mixture, it was compared by taking the averages of the bulk specific gravity and briquette height (h) values of 5 samples made with foam bitumen

percentages of 1.9-2.2-2.5-2.8-3.1% in all bitumen grades.

Also, in order to see the effect of the foam bitumen percentage sprayed on RAP material, in different foam bitumen percentages for the 70/100 bitumen grade (1.3-1.9-2.2-2.5-2.8-3.1-3.7%) mixtures were prepared and the results were evaluated.

Finally, the effect of the mineral binder was determined by preparing the mixture with lime, fly ash, cement mineral binders and without mineral binder in 70/100 bitumen grade and 2.5% bitumen percentage. Table 2 shows the codings for the productions.

**Table 2.** Sample coding for productions.

Sample Code	% Bitumen	% RA P	Bitumen Grade	Mineral Binder Type
2,5C070	2,5	0	70/100	Cement
2,5C2070	2,5	20	70/100	Cement
2,5C7070	2,5	70	70/100	Cement
2,5C10070	2,5	100	70/100	Cement
1,3C70	1,3	100	70/100	Cement
1,9C70	1,9	100	70/100	Cement
2,2C70	2,2	100	70/100	Cement
2,5C70	2,5	100	70/100	Cement
2,8C70	2,8	100	70/100	Cement
3,1C70	3,1	100	70/100	Cement
3,7C70	3,7	100	70/100	Cement
C50	2,2	100	50/70	Cement
C70	2,5	100	70/100	Cement
C100	1,9	100	100/150	Cement
C160	1,9	100	160/220	Cement
2,5HL70	2,5	100	70/100	Hydrated Lime
2,5FA70	2,5	100	70/100	Fly Ash
2,5-70	2,5	100	70/100	-

In productions, firstly, the optimum amount of mixing water is determined by using Modified Proctor (TS 1900-1) test without foam bitumen. Then, according to these optimum water amounts, foam bituminous mixes were

prepared with the procedure determined by Wirtgen (2012) and standard Marshall briquettes with a diameter of 4 inches were produced with Marshall compactor for each mixture, with 75 blows on both sides. The briquettes were removed from the molds the next day of production and size measurements were taken (Figure 1 and Figure 2). In cold mixtures prepared with foam bitumen, a cure procedure is applied for weight determination in the air due to the use of water for workability. After the briquettes were kept in a 40°C drying oven for 72 hours, their weight in the air was determined and then their weighed in saturated surface and water were determined and their bulk specific gravities ( $D_p$ ) were determined according to Equation 1.

$$D_p = \frac{\text{Sample weight (in air)}}{\text{SSSDW} - \text{SWIW}} \quad (1)$$

Where; SSSDW is sample saturated surface dry weight and SWIW is sample weight in water.



**Figure 1.** Briquette size measurement.



Figure 2. Briquette weighing.

### 3. Results and Discussion

As can be seen from Figure 3, in general the bulk specific gravity value tends to decrease and the briquette heights tend to increase with the increase in RAP material percentage. The decrease in briquette height is indicative of better

compaction of the material and accordingly increase in bulk specific gravity. With the increase in RAP material percentage, the optimum amount of mixture water needed for the material's workability has also increased. As the amount of bitumen-coated material increases, the angularity and roughness of the material decreases, and while it is expected that less water is needed for workability, it is thought that the cracks in the aged bitumen in the RAP material absorbed the mixture water as a result of the opposite situation. Keeping the RAP content as low as possible seems more appropriate in terms of mixture compactibility and optimum water demand. However, it should be observed how the results will change if RAP material is replaced with a new aggregate other than its own aggregate extracted from bitumen.

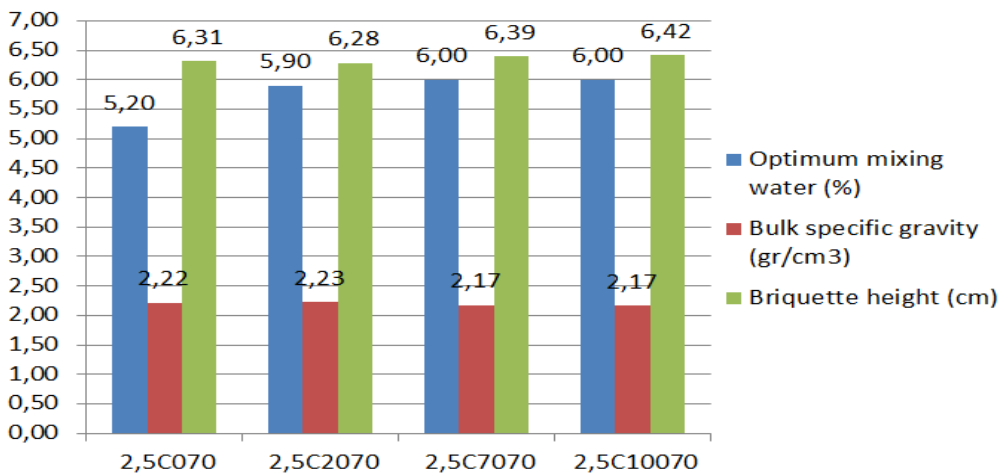
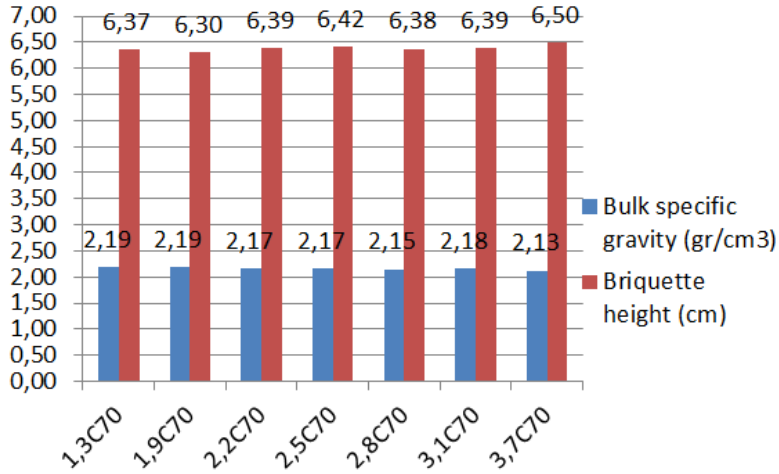


Figure 3. Comparison of productions for different RAP percentages.

Sample coding for Figure 3:  
2,5C070.

Where: 2.5 - bitumen percentage, C - cement, 0 - RAP percentage, and 70 - bitumen grade (70/100).



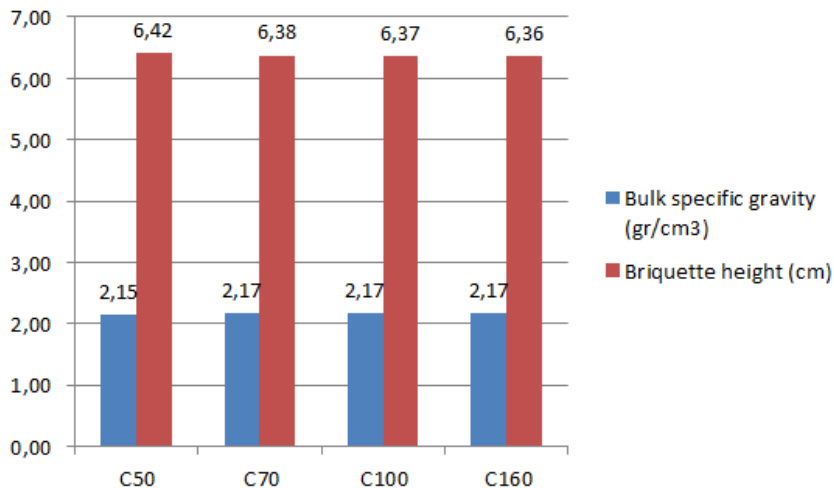
**Figure 4.** Comparison for different bitumen percentages in 70/100 bitumen grade.

Sample coding for Figure 4: 1, 3CH70.

Where: 1,3- bitumen percentage, C- cement, 70 – bitumen grade (70/100).

As can be seen from Figure 4, there has been a decrease in bulk specific gravity values in general with the increase in bitumen percentage. It is thought to be

trend to increase, although no clear interpretation can be drawn for briquette heights. Since the evaluation for different bitumen percentages was made only for the 70/100 bitumen grade, the ideal bitumen percentage of the 70/100 bitumen grade was found to be 1.9% with the best compaction properties.

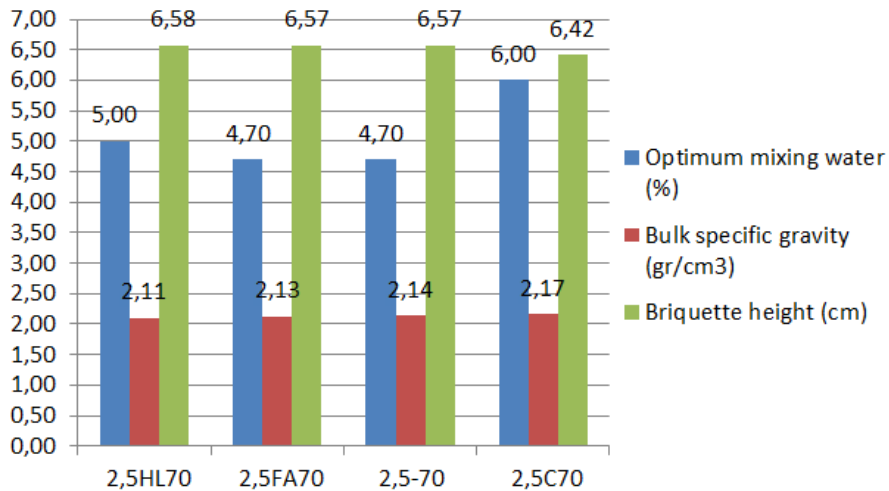


**Figure 5.** Comparison of the productions for different bitumen grades.

Sample coding for Figure 5: C50

Where: C - cement, 50 – bitumen grade (50/70).

As can be seen from Figure 5, the increase in bitumen penetration level decreased the briquette heights and increased the bulk specific gravity values, although not creating a significant trend.



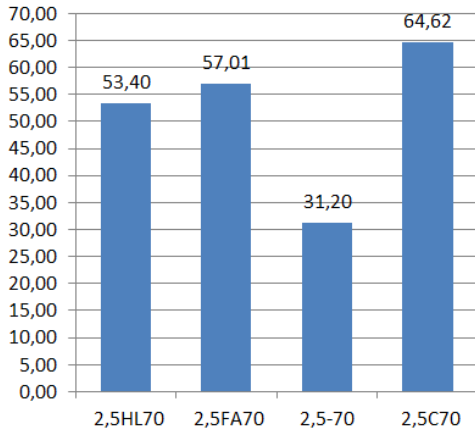
**Figure 6.** Comparison of production for different mineral binders.

Sample coding for Figure 6: 2, 5HL70 Where: 2.5 - bitumen percentage, HL – hydrated lime, 70-bitumen grade (70/100).

As can be seen from Figure 6; hydrated lime (HL), fly ash (FA), cement (C) and without mineral binder (-) production with the lowest mineral binder density of lime yielded the lowest bulk specific gravity. The production of cement with the highest mineral binder density yielded the highest bulk specific gravity. While the lowest percentage of mixture water was obtained from fly ash that contribute positively to workability with global partical shape and without mineral binder productions, the most need for mixture water was found in cemented mixture which needed water for hydration event. The briquette height values measured in the productions

were inversely proportional to the bulk specific gravity values. This again shows that the density of the well compactible material has increased.

In addition, CBR values for these productions are given in Figure 7. It is observed that the highest CBR result is obtained from cemented production and the lowest CBR result is obtained from production without mineral binder. The addition of mineral binder, regardless of the type, has increased the bearing power of the material. This finding, in Part 1 Seferoğlu et al. (2018) it is parallel to that stated by.



**Figure 7.** CBR values for different mineral binders.

Sample coding for Figure 7: 2, 5FA70

Where: 2.5 - bitumen percentage, FA – fly ash, 70-bitumen grade (70/100).

#### 4. Conclusion

The study has aimed of evaluation of foam bitumen stabilized RAP materials by producing Marshall briquettes for different bitumen grades, different bitumen percentages, different RAP percentages, and different mineral binders in order to evaluate the optimum water percentage required for the workability of the mixtures and the control of the compaction difficulty that may be encountered in the application. The following results could be emitted by using optimum water content, bulk specific gravity and briquette height values to evaluate the mixtures;

- When all productions are considered, the bulk specific gravity tends to decrease as the height of the briquette increases.
- Mineral binders have caused of increasing the need for optimum

mixture water and the bearing power of the mixtures.

- Decreased bitumen penetration has made the compaction of the material difficult.
- The increase in bitumen percentage leads the compaction of the material difficult.
- The increase in RAP material percentage in the mixture increased the optimum mixture water requirement and briquette height and reduced bulk specific gravity. As a result, the increase in RAP percentage has also made it difficult to compaction the material.

This study aimed of conducting to investigate the workability problems that may occur due to the RAP material contained in the foam bituminous mixtures, different materials in the mixture and how these materials can be overcome according to the usage percentages. According to the results; mixtures made with higher penetration but low bitumen percentage appear to be advantageous in terms of compactibility of the material. The addition of mineral binder to the RAP material should be considered according to the quality of the layer formed with the recovered material.

#### Acknowledgments

This study was supported by SDU (Süleyman Demirel University) scientific research project 4939-D1-17 and KGM-ARGE/2017-1 KGM (General Directorate of highways) project.

#### 5. References

- Brown, S. F., Needham, D. (2000). A study of cement modified bitumen emulsion mixtures, *Asphalt Paving Technologists Proc*, 69, 92–121.
- Cliatt, B., Plati, C., & Loizos, A. (2016). Investigating resilient modulus interdependence to moisture for reclaimed asphalt pavement aggregates, *Procedia Engineering*, 143, 244–251.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F., Alp, A. (1999). *Toprak ve stabilizasyon laboratuvarı el kitabı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü
- Dolzycki, B., Jaczewski, M., & Szydłowski, C. (2017). The long-term properties of mineral cement-emulsion mixtures, *Construction and Building Materials*, 156, 799–808.
- Graziani, A., Iafelice, C., Raschia, S., Perraton, D., & Carter, A. (2018). A procedure for characterizing the curing process of cold recycled bitumen emulsion mixtures. *Construction and Building Materials*, 173, 754–762.
- Izquierdo, M., Querol, X., & Vazquez, E. (2011). Procedural uncertainties of proctor compaction tests applied on MSWI bottom ash, *Journal of Hazardous Materials*, 186, 1639–1644.
- McDaniel, R., Anderson, R. M. (2001). *Recommended Use of reclaimed asphalt pavement in the superpave mix design method: technician's manual*. National Cooperative Highway Research Program. (NCHRP Report 452).
- Muthen, K. M. (1998). *Foamed Asphalt Mixes Mix Design Procedure*. (Rapor No: CR-98/077).
- Saha, D. C., Mandal, J. N. (2017). Laboratory investigations on reclaimed asphalt pavement (RAP) for using it as base course of flexible pavement. *Procedia Engineering*, 189, 434 – 439.
- Seferoğlu, A. G., Seferoğlu, M. T., & Akpınar, M. V. (2015). Yol aşınma tabakasının geri dönüşüm malzemesi olarak ulaşım üstyapısında kullanılabilirliğinin araştırılması. *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye.
- Seferoğlu, A. G., Seferoğlu, M. T., & Akpınar, M. V. (2018). Experimental study on cement-treated and untreated RAP blended bases cyclic plate loading test. *Construction and Building Materials*, 182, 580–587.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2006). TS 1900-2. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 2: mekanik özelliklerin tayini
- Türk Standartları Enstitüsü. (2006). TS 1900-2. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 1: fiziksel özelliklerin tayini
- Wang, Y., Leng, Z., Li, X., & Hu, C. (2018). Cold recycling of reclaimed asphalt pavement towards improved engineering performance, *Journal of Cleaner Production*, 171, 1031-1038.
- Wen, H. (2010). Laboratory comparison of crushed aggregate, recycled pavement materials with and without high carbon fly ash. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28, 405-411.
- Wirtgen cold recycling technology (2012). Germany: Wirtgen GmbH, Windhagen.
- Yan, J., Zhu, H., Zhang, Z., Gao, L., & Charmot, S., (2014). The Theoretical Analysis of the RAP Aged Asphalt Influence on the Performance of Asphalt Emulsion Cold Recycled Mixes, *Construction and Building Materials*, 71, 444–450.





**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Pirojenik Silis İlavesinin Afyonkarahisar Bölgesi Pişmiş  
Tuğla Kili Özelliklerine Etkisi**

\*<sup>1</sup>Gökhan GÖRHAN

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ggorhan@aku.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9925-1568>

Geliş / Recieved: 16.05.2020;

Kabul / Accepted: 13.06.2020

**Öz**

Bu çalışmada, sabit bir basınç altında ve hidrolik el presinde pirojenik silis ilaveli kil tuğlaları üretilmiştir. Kil tuğlaların üretiminde hammadde olarak Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla kili kullanılmıştır. Tuğla karışımlarının hazırlanmasında kilin ağırlıkça % 0.1 - % 0.3'ü oranında HDK-N20 pirojenik silis ilaveleri kil hammaddesine eklenmiştir. Referans karışımlarda dâhil olmak üzere toplam 12 seri için tuğla karışımı hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanmasında 25 mm çaplı metal silindir kalıplar kullanılmış olup numunelerin narinlik oranları iki (2) olacak şekilde şekillendirmeler 70 bar basınç altında yapılmıştır. Akabinde örnekler laboratuvar tipi fırında; 700, 800 ve 900 °C'de ve son sıcaklıklarda 1 saat bekletilmek üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde tuğla üretiminde kullanılan pirojenik silisin örneklerin fiziksel özelliklerinde önemli değişimler göstermediği, basınç dayanım değerleri açısından ise 700 °C'de sinterlenen örneklerde pirojenik silis ilavelerinin küçük oranlarda etkili olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte basınç dayanım değerlerinin 5.7 - 24.6 MPa arasında değişkenlik gösterdiği ve XRD bulgularına göre pirojenik silis ilavesinin (%0.3) önemli bir faz gelişimine sebep olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tuğla, Kil, Pirojenik silis, XRD, Basınç dayanımı.

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Görhan, G. (2020). Pirojenik silis ilavesinin Afyonkarahisar bölgesi pişmiş tuğla kili özelliklerine etkisi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 2(1), 13-25.

## The Effect of Pyrogenic Silica Addition on Fired Brick Clay Properties of Afyonkarahisar Region

### Abstract

---

In this study, pyrogenic silica addition clay bricks were produced under a constant pressure and in a hydraulic hand press. Brick clay obtained from Afyonkarahisar region was used as raw material in the production of clay bricks. In the preparation of brick mixtures, 0.1% - 0.3% by weight of HDK-N20 pyrogenic silica additions were added to the clay raw material. Brick mixtures were prepared for a total of 12 series, including the reference mixes. In the preparation of the samples, metal cylinder molds with a diameter of 25 mm were used and the shapes were made under the pressure of 70 bar, with the slenderness ratio of the samples being two (2). Then, the samples were sintered at 700, 800 and 900 °C in the laboratory type oven. The samples were kept for 1 hour at final temperatures. When the findings obtained were evaluated, it was observed that the pyrogenic silica additions used in the production of bricks didn't show significant changes in the physical properties of the samples, and in terms of compressive strength values, pyrogenic silica additions have been observed to be effective in small proportions in the samples sintering at 700 °C. However, it was determined that compressive strength values varied between 5.7 - 24.6 MPa and the addition of pyrogenic silica (0.3%) added to the structures didn't cause a significant phase development according to XRD findings.

**Keywords:** Brick, Clay, Pyrogenic silica, XRD, Compressive strength.

## 1. Giriş

Ülkemizde Tuğla ve Kiremit üretimi yapan birçok fabrika bulunmakta (Müdüroğlu ve Atak, 1999) ve ilgili fabrikalarda üretilen tuğlalarda hammadde olarak kil malzemesi kullanılmaktadır. Bununla birlikte tuğlaların çok eski zamanlara kadar Mimaride kullanıldığı da bilinmektedir (Era, 2013).

Tuğla, killi toprağın belirli oranlarda su ile karıştırılması sonucu belirli yöntemlerle şekillendirilen ve kurutma işlemlerinin ardından 900 – 1300 °C’de fırınlarda pişirilen bir yapı malzemesidir. Tuğla özelliklerini karışımlarda kullanılan malzemeler ile örneklerin pişirme sıcaklıkları önemli derecede etkilemektedir (Şişman vd., 2006).

Hammaddelerin tuğla özelliklerini önemli ölçüde etkilemesinin yanında kil malzemesinden tasarruf sağlamak ve örnek özelliklerini geliştirebilmek adına bazı katkıların örnek üretimlerinde kullanılabilir olduğuna ait bulguları içeren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, tuğla kiline % 30 oranına kadar bazik pomza ilavesinin yapılması durumunda örneklerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı ve basınç dayanım değerlerinin ise ilgili standartları karşıladığı ifade edilmektedir (Demir vd., 2004).

Yapılan başka bir çalışmada ise, %30 oranına kadar geri dönüşümlü kağıt üretim atıklarının ve talaş tozunun şamot kiline ilave edilmesiyle tuğla örnekleri üretildiği ve 1100 °C’ye kadar

olan yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı yalıtım potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Sütçü ve Akkurt, 2014).

Dolomitin % 20 oranına kadar kullanıldığı tuğla örneklerinin 900 °C’de pişirilmesi durumunda gerekli mekanik özellikleri sağladığı teyit edilirken (Bideci ve Bideci, 2008); yapılan başka bir çalışmada da uçucu külün % 30 oranına kadar tuğla üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir (Söylemez ve Yıldırım, 2016).

Genelde çimentolu ürünlerde kullanım alanı bulunan silisli malzemeler içerisinde nano-silis ve silis dumanı gibi katkıların çimentolu matrislerde örnek özelliğini arttırmak amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Liu vd., 2020; Ma vd., 2020; Yu vd., 2020; Wang vd., 2020).

Nano-silis ile benzer özelliklere sahip olan pirojenik silika, ürünün yoğunlaşmasının ardından yüksek sıcaklıklarda (1873 – 2273 K) bir öncülün ayrışması ile yanma koşullarında üretilen farklı tip bir SiO<sub>2</sub> malzemesini içerir (Khavryuchenko vd., 2011). Pirojenik silika ile normal nano-silis benzer puzolanik özellikler göstermesine rağmen, aralarındaki temel farklılık pirojenik silikanın daha yüksek yüzey alanına sahip gözenekli bir silis olmasıdır (Tobón vd., 2018).

Günümüz teknolojisinde pirojenik silika; elastomer dolgu maddeleri, katalizör destekleri, optik dalga klavuzları, beton katkı maddeleri ve inert kaplamalar olmak üzere farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir

(Khavryuchenko vd., 2011). Ayrıca nano malzemelerin çimentolu sistemlerde erken dayanım gelişimi ve durabilite özelliklerini geliştirmelerinden dolayı nano silisin tercih edildiği bilinmektedir (Wang vd., 2020).

Yapılan bu çalışmada ise Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla killere genelde çimentolu sistemlerde kullanılan ve nano-silise benzer özelliklere sahip olan pirojenik silis ilaveleri yapılmıştır. Bu ilavelerin üretilen örneklerde porozite ve birim hacim ağırlık gibi fiziksel özellikler ile mekanik özelliklerden biri olan basınç dayanım değerlerini geliştirmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmada, 70 barlık sabit bir basınç altında ve hidrolik el presinde kil tuğlaları şekillendirilmiştir. Kil tuğlaların üretiminde hammadde olarak Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla kili kullanılmış olup malzemeye ait XRF analizi Tablo 1’de verilmiştir.

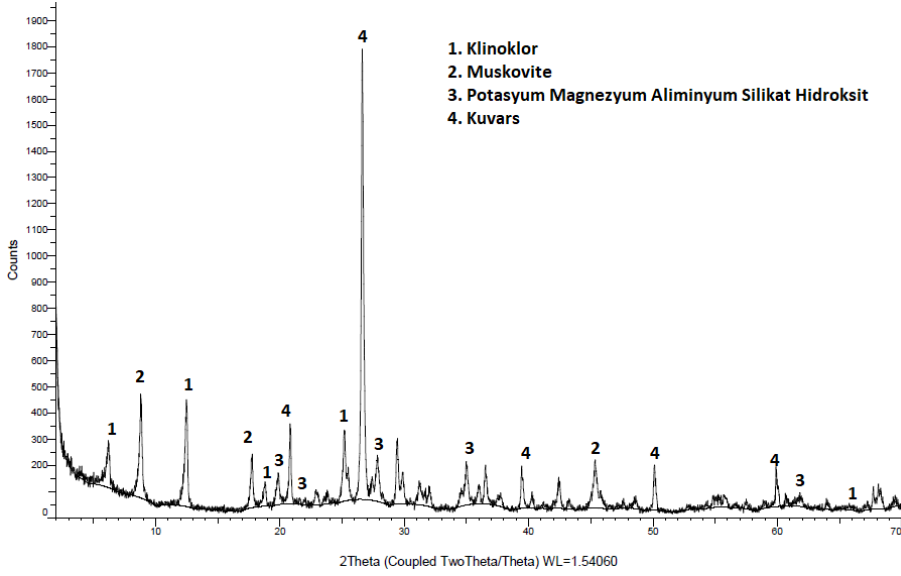
Tuğla örneklerinin üretiminde hammadde olarak kullanılan Afyon kiline ait XRD analizlerinden elde edilen verilere göre malzeme bünyesinde; kuvars, potasyum magnezyum alümina silikat hidroksit, klinoklor ve muskovit gibi minerallerin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 1).

Tuğla karışımlarının hazırlanmasında kilin ağırlıkça % 0.1 - % 0.3’ü oranında HDK-N20 pirojenik silis ilaveleri kil hammaddesine eklenmiştir. Bu aşamada hassas terazi ile plastik kaplarda tartılan pirojenik silis, kil ile öncelikle kuru olarak homojen oluncaya karıştırılmış ardından da karışım suyu eklenerek manuel olarak yoğrulmuştur.

Çalışmada kullanılan pirojenik silisin ihtiva ettiği  $\text{SiO}_2$  değeri > % 99.8 ve BET yüzey alanı 170-230  $\text{m}^2/\text{g}$ ’dır.

**Tablo 1.** Kil malzemesinin kimyasal kompozisyonu (XRF) (% - ağırlıkça).

Malzeme	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	CaO	K.K.	Toplam
Afyon	45.1	22.07	7.90	2.38	0.83	4.3	0.3	5.16	10.0	98.31
Kili	5					8	5		9	



Şekil 1. Afyon bölgesi tuğla kiline ait XRD difraktogramı.

## 2.1 Tuğla örneklerin hazırlanması ve pişirilmesi

Referans karışımlarda dâhil olmak üzere toplam 12 seri için tuğla karışımı hazırlanmıştır (Tablo 2). Örneklerin hazırlanmasında 25 mm çaplı metal silindir kalıplar kullanılmış olup numunelerin narinlik oranları iki (2) olacak şekilde şekillendirmeler 70 bar basınç altında yapılmıştır. İlgili örnekler sinterleme işlemi öncesinde değişmez ağırlığa gelinceye kadar laboratuvar tipi etüvde kurutulmuştur. Akabinde örnekler yine laboratuvar tipi fırında; 700, 800 ve 900 °C'de ve son sıcaklarda 1 saat bekletilmek üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilmiştir (sinterlenmiştir).

Sinterleme işlemlerinde pişirme hızı olarak 2.5 °C/dak. uygulanmıştır. Sinterleme işlemlerinin ardından fırın iç sıcaklığı oda sıcaklığına ulaştığında örnekler fırından alınmıştır.

## 2.2 Uygulanan testler

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen tuğla örneklerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde Arşimet prensibi takip edilmiştir. Bununla birlikte ilgili örneklerin görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri TS EN 772-4'e (2000) göre su emme değerleri ise TS EN 771-1'e (2005) göre hesaplanmıştır.

Ardından örneklerin mekanik özelliklerinden biri olan basınç dayanım değerleri kırılma yükünün örnek alanına bölünmesi yoluyla belirlenmiştir. Örnek testlerinin tamamlanmasından sonra seçilen numuneler üzerinde mineralojik analizler XRD yöntemiyle, yüzey morfolojisi ve içyapı incelemesi ise SEM-EDX analizleri ile değerlendirilmiştir.

**Tablo 2.** Örneklerin üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

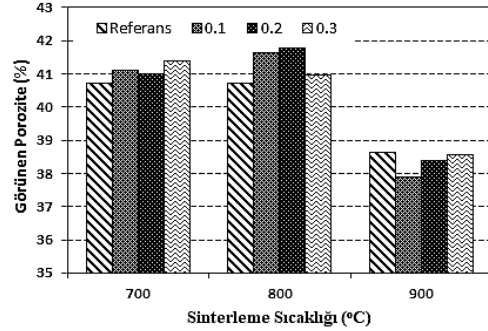
Seri	Kil (g)	Karışım suyu (g)	Pirojenik Silis (%)
R700	550	100	-
R800	550	100	-
R900	550	100	-
0.1 700	550	100	0.1
0.1 800	550	100	0.1
0.1 900	550	100	0.1
0.2 700	550	100	0.2
0.2 800	550	100	0.2
0.2 900	550	100	0.2
0.3 700	550	100	0.3
0.3 800	550	100	0.3
0.3 900	550	100	0.3

### 3. Bulgular

#### 3.1. Fiziksel ve mekanik özellikler

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen örneklerin bulguları incelendiğinde, uygulanan tüm sinterleme sıcaklıklarında pirojenik silis ilavesinin sonuçlar üzerinde değişken sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Karışımlara ilave edilen pirojenik silisin çok küçük oranlarda olduğu dikkate alındığında fiziksel özelliklerde meydana gelen bu değişimlerin de küçük aralıklarda olduğu görülmüştür.

Sinterleme sıcaklıkları dikkate alındığında 800 °C'de sinterlenen örneklerde en yüksek görünen porozite oranları elde edilirken, 900 °C'de sinterlenen örneklerde bünyede yoğunlukların artarak boşluk oranlarının azalması sebebiyle en düşük porozite oranlarının elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 2). Örneklerin görünen porozite oranları % 37.9 - % 41.8 arasında değişkenlik göstermiştir.

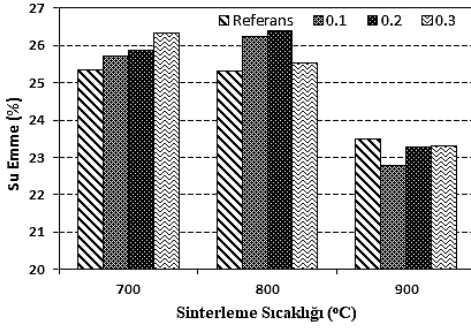


**Şekil 2.** Tuğlaların görünen porozite oranları.

Görünen porozite verilerine benzer bir eğilimi olan su emme oranları ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre sadece 700 °C'de sinterlenen tuğla örneklerinde bünyeye ilave edilen pirojenik silis ilavelerinin örneklerde su emme oranlarını arttırdığı görülmüştür. Diğer sıcaklıklarda ise pirojenik silis etkisinin bulgular üzerinde değişken sonuçlar verdiği görülmüştür. Görünen porozite oranlarında olduğu gibi yine en düşük su emme oranlarının 900 °C'de sinterlenen örneklerde elde edildiği ve

tüm tuğla örneklerine ait su emme oranlarının % 22.8 - % 26.4 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

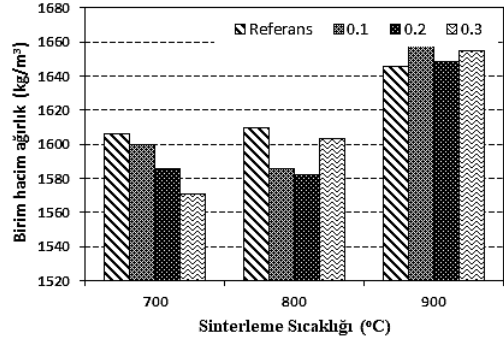
Uçucu kül, ultra ince uçucu kül ve kolloidal formda olan nano-silis gibi mikro ve nano boyutlu katkıların kullanıldığı çimento matrislerinde ise çimento pastasında kullanılan nano-silis miktarlarının artmasıyla işlenebilirlikte azalmalar ve su ihtiyacında artışlar olmaktadır (Snehal vd., 2020). 700 ve 800 °C'de sinterlenen örneklerde ise su ihtiyacı artışının kil karışımlarda da etkili olduğu ve artan pirojenik silis ilaveleri ile karışımların bünyesinde nispeten daha fazla gözenek oluşumu nedeniyle su emme oranlarının referans örneklerden yüksek olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Tuğlaların su emme oranları.

Karışımlara yapılan pirojenik silis ilavesinin yoğunluk değerleri üzerinde etkisinin değişken olduğu ve 700° °C 'de sinterlenen tuğla örneklerinde bünyeye yapılan ilavelerin birim hacim ağırlıkları azalttığı Şekil 4'de görülmektedir. 900 °C'de sinterlenen ve % 0.1 pirojenik silis katkılı tuğla örneklerinde en yüksek birim hacim ağırlık (1664.5 kg/m<sup>3</sup>) değerleri elde edilirken, tüm örneklerin birim hacim ağırlıkları 1571.1 kg/m<sup>3</sup> –

1664.5 kg/m<sup>3</sup> arasında değişkenlik göstermiştir.



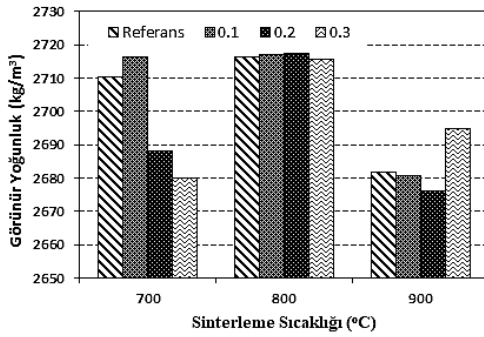
Şekil 4. Tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri.

Bu noktada, literatürde yapılan diğer çalışmalara bakıldığında nano-silis ilaveli çimento matrislerinde bünyenin daha iyi doluluğa ulaşması ve nano malzemenin daha iyi bir puzolanik etki göstermesi nedeniyle malzemelerin daha iyi bir mekanik ve durabilite özelliğe sahip oldukları belirtilmektedir (Liu vd., 2020; Snehal vd., 2020). Üretilen örneklerin birim hacim ağırlıklarındaki değişimlerin ise esasen sinterleme sıcaklığına bağlı olduğu düşünülmektedir.

İlgili tuğla örneklerin görünür yoğunluk değerlerinde ise pirojenik silis ilavesinin 800 °C'de sinterlenen tuğla numunelerinin yoğunluk değerlerini birbirine oldukça yaklaştırdığı gözlenmiştir. Diğer sıcaklıklarda ise pirojenik silis ilavesinin etkisi net değildir. 900 °C'de sinterlenen ve % 0.3 pirojenik silis katkılı tuğla örneklerde 2694.7 kg/m<sup>3</sup> ile en yüksek görünür yoğunluk değerleri elde edilmiştir.



Bununla birlikte, 700 °C'de sinterlenen ve % 0.1 pirojenik silis ilaveli örneklerde, referans örneklerden daha yüksek görünür yoğunluk değerleri elde edilirken; artan pirojenik silis ilavelerinin yoğunluk değerlerini azalttığı gözlenmiştir. Tüm örnekler dikkate alındığında görünür yoğunluklar 2676.1 kg/m<sup>3</sup> – 2717.4 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Şekil 5).

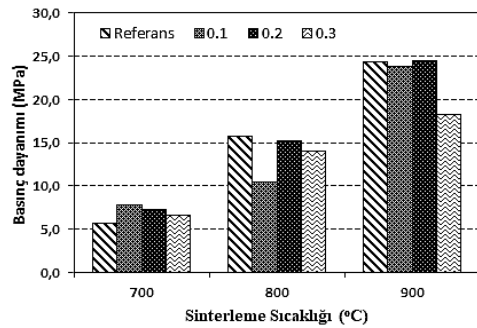


Şekil 5. Tuğlaların görünür yoğunluk değerleri.

Şekil 6'da, üretilen tuğla örneklerin basınç dayanım değerleri gösterilmektedir. Artan sinterleme sıcaklığının basınç dayanımlarını önemli bir biçimde arttırdığı bununla birlikte karışımlara eklenen pirojenik silis ilavelerinin ise ortaya çıkardığı etkinin değişken olduğu ve 800 °C ve üzeri sinterleme sıcaklıklarında örneklerin basınç dayanımlarında pozitif bir katkı vermediği görülmüştür.

Bununla birlikte 600 °C gibi düşük sinterleme sıcaklığında SiO<sub>2</sub> tozlarının faz dönüşümü gerçekleştirmediği belirtilmektedir. Aynı zamanda daha yüksek sinterleme sıcaklıklarında amorf SiO<sub>2</sub> tozlarının tamamen kristobalit yapısına dönüştüğü belirtilmiştir (Saravanan, 2012). Bu bilgi

doğrultusunda çimentolu sistemlerde puzolanik aktivite için malzemenin amorflik derecesi önemlidir. Fakat kil bünyelerde sinterleme süreci malzeme özelliklerinde önemli bir rol oynadığından örneklere uygulanan sinterleme sıcaklıklarındaki artışların neticesinde pirojenik silisin de faz dönüşümü gerçekleştirerek basınç dayanım değerlerini etkilediği ve tuğla örneklerin basınç dayanım değerlerinin 5.7 MPa ile 24.6 MPa arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 6. Tuğlaların basınç dayanım değerleri.

### 3.2. SEM-EDX ve XRD Analizleri

Referans tuğla örneklerinden elde edilen alansal SEM-EDX analizlerine ait sonuçlar Şekil 7 ve Tablo 3'de; % 0.3 pirojenik silis ilaveli tuğla örneklerinden elde edilen alansal SEM-EDX analizlerine ait sonuçlar ise Şekil 8 ve Tablo 4'de verilmiştir.

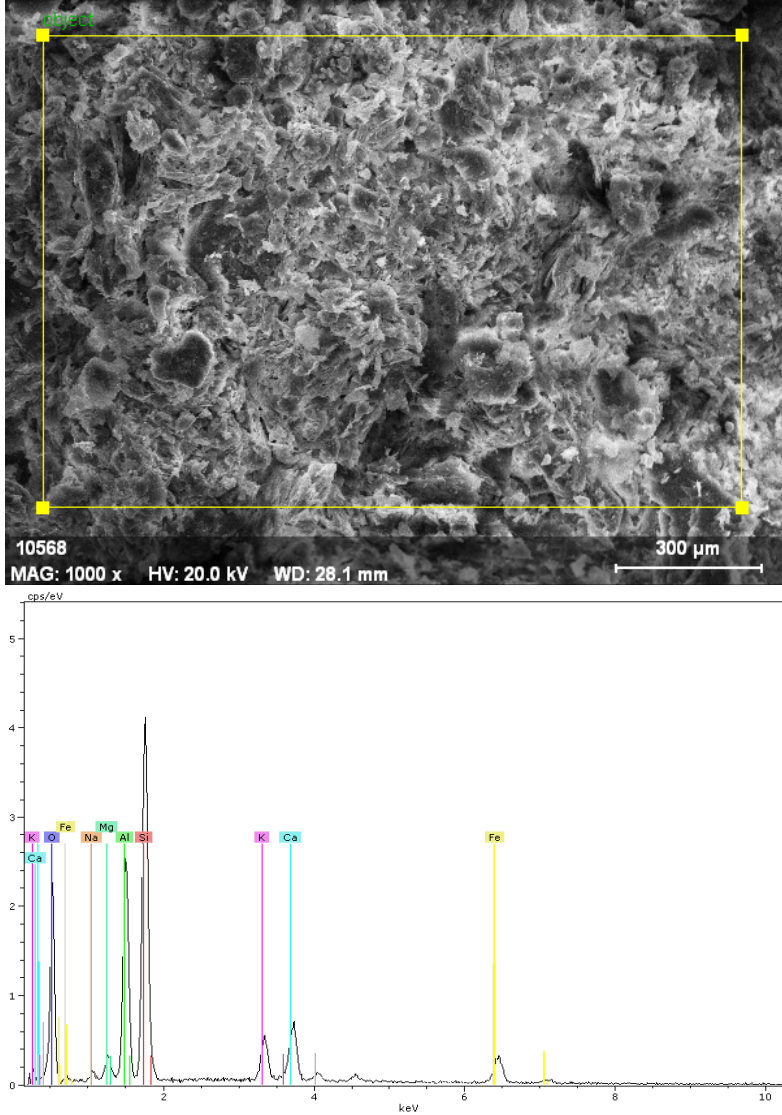
Afyon kili bünyesi gereği örnek analizlerinde sodyum, magnezyum, alüminyum, silis, potasyum, kalsiyum ve demir gözlenmiş olup bünyeye eklenen % 0.3 nano-silis ilaveli örneklerden elde edilen oksit oranlarının

da referans örneklere yakın olduğu tespit edilmiştir.

kuvars ve potasyum alüminyum silikat varlığı tespit edilmiştir.

XRD analiz verilerine göre Afyon bölgesine ait tuğla killeri kullanılarak üretilen tuğla örneklerin bünyesinde

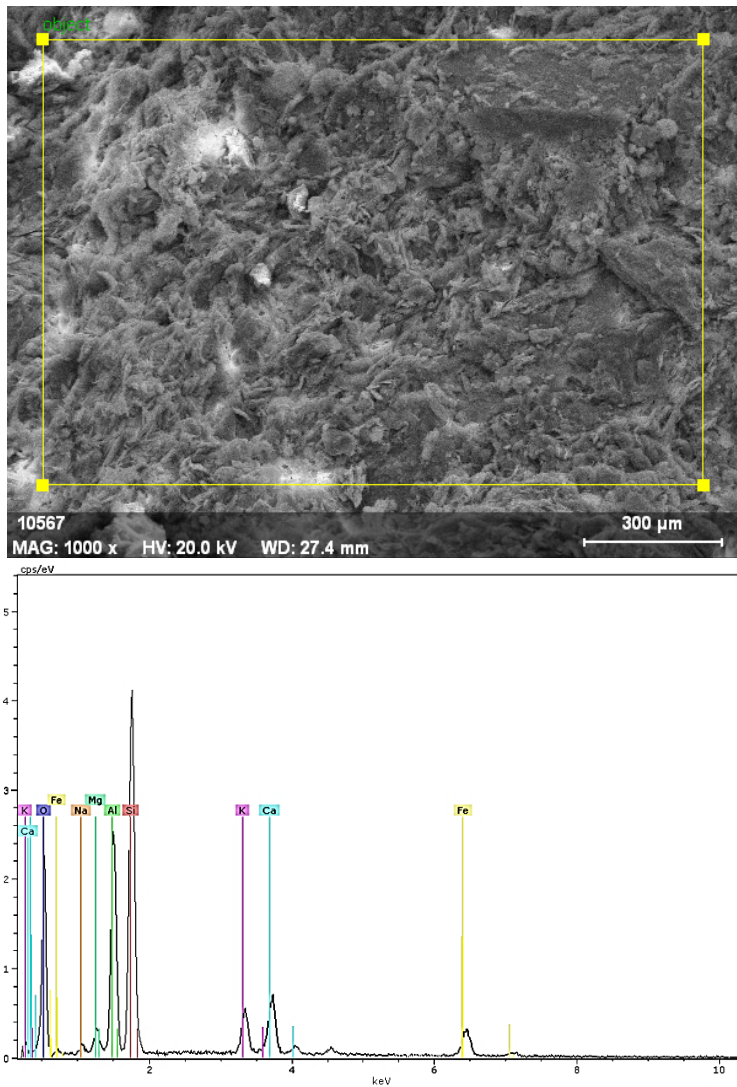
Ayrıca bünyelere eklenen pirojenik silis ilavesinin (%0.3) önemli bir faz gelişimine sebep olmadığı düşünülmektedir (Şekil 9-Şekil 10).



Şekil 7. Afyon kili esaslı R 900 kodlu tuğlanın SEM-EDX analizi.

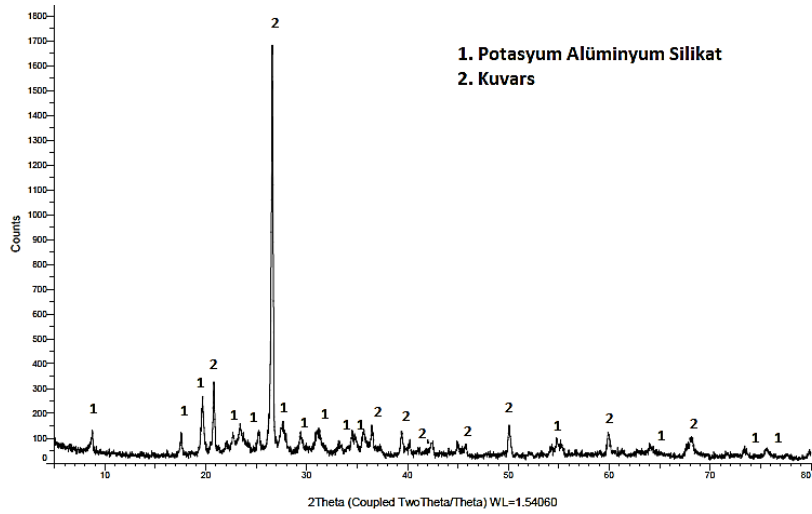
**Tablo 3.** Afyon kili esaslı R 900 kodlu tuğlanın EDX analizi sonuçları.

Element	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oksit	Oksit C [wt.-%]
Sodyum (Na)	0.78	0.71	0.65	Na <sub>2</sub> O	1.04
Magnezyum (Mg)	1.84	1.68	1.45	MgO	1.83
Alüminyum (Al)	14.03	12.84	9.98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.43
Silis (Si)	24.44	22.37	16.70	SiO <sub>2</sub>	52.11
Potasyum (K)	3.30	3.02	1.62	K <sub>2</sub> O	3.96
Kalsiyum (Ca)	4.97	4.55	2.38	CaO	6.93
Demir (Fe)	5.41	4.95	1.86	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.70
Oksijen (O)	54.52	49.89	65.37		10.72

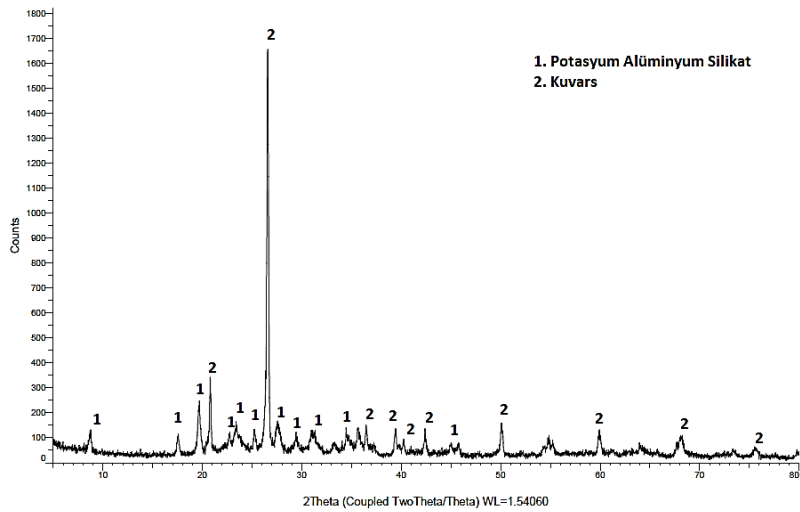
**Şekil 8.** Afyon kili esaslı 0.3 900 kodlu tuğlanın SEM-EDX analizi.

**Tablo 4.** Afyon kili esaslı 0.3 900 kodlu tuğlanın EDX analizi sonuçları.

Element	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oksit	Oksit C [wt.-%]
Sodyum (Na)	1.14	1.01	0.91	Na <sub>2</sub> O	1.55
Magnezyum (Mg)	1.80	1.60	1.36	MgO	1.81
Alüminyum (Al)	13.84	12.27	9.39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.26
Silis (Si)	24.89	22.07	16.22	SiO <sub>2</sub>	53.48
Potasyum (K)	3.72	3.30	1.74	K <sub>2</sub> O	4.51
Kalsiyum (Ca)	3.09	2.74	1.41	CaO	4.34
Demir (Fe)	5.61	4.97	1.84	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.05
Oksijen (O)	58.67	52.03	67.13		15.10



**Şekil 9.** R 900 örneğinin XRD analizi



**Şekil 10.** 0.3 900 örneğinin XRD analizi.

#### 4. Sonuçlar

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde tuğla üretiminde kullanılan projenik silis ilavelerinin sonuçlar üzerinde değişken sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Fiziksel özellikler dikkate alındığında projenik silis ilaveli örnekler içerisinde sadece 900 °C'de sinterlenen tuğlaların görünen porozite ve su emme oranları referans örneklerden daha düşük seviyelerde kalmıştır.

Tuğlaların birim hacim ağırlıkları ise 700 °C'de sinterlenen örneklerde projenik silis ilaveleri ile azalmış; 900 °C'de sinterlenen örneklerde ise ilavelere paralel olarak artış göstermiştir.

Artan sinterleme sıcaklıklarının ise basınç dayanımlarını önemli bir biçimde arttırdığı tespit edilmiştir.

Projenik silis ilaveleri açısından basınç dayanım değerleri incelendiğinde ise projenik silis etkisinin değişken olduğu görülmüştür. 700 °C'de yapılan sinterleme işlemlerinde projenik silis ilavelerinin örnek dayanımlarında küçük artışlar göstermesine rağmen 800 °C ve üzeri sinterleme sıcaklıklarında örneklerin basınç dayanımlarına pozitif bir katkı vermediği ve çalışmada üretilen örneklerden elde edilen basınç dayanım değerlerinin 5.7 MPa ile 24.6 MPa arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

İleriki çalışmalarda 700 °C ve altındaki sinterleme sıcaklıklarının araştırılması önerilmektedir.

#### Teşekkür

Yazar, bu çalışmayı destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinasyon Birimine (AKÜ, BAPK, Proje No: 17. KARİYER. 223) teşekkür eder.

#### 5. Kaynaklar

- Bideci, A., & Bideci, Ö. S. (2008). Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 69-76.
- Demir, İ., Kıbcı, Y., & Yıldız, A. (2005). Bazik Pomzanın (Osmaniye-Ceyhan Yöresi) Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir. Türkiye.
- Era, A. C. (2013). Geleneksel harman tuğlası ve üretimi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 2(2).
- Khavryuchenko, V. D., Khavryuchenko, O. V., & Lisnyak, V. V. (2011). Formation of pyrogenic silica: spectroscopic and quantum chemical insight. *Critical reviews in solid state and materials sciences*, 36(2), 47-65.
- Liu, H., Jin, J., Yu, Y., Liu, H., Liu, S., Shen, J., Xia, X., Ji, H. (2020). Influence of halloysite nanotube on hydration products and mechanical properties of oil well cement slurries with nano-silica. *Construction and Building Materials*, 247, 118545.
- Ma, C., He, J., Qin, T., Long, G., Du, Y., & Xie, Y. (2020). A comparison of the influence of micro-and nano-silica on hydration kinetics of Portland cement under different temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 118670.
- Müdüroğlu, M., & Atak, S. (1999). Tuğla Kiremit Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi. 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 56-66.

- Saravanan, K., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., & Paramasivam, P. (2012). Influence of sintering temperature and pH on the phase transformation, particle size and anti-reflective properties of RHA nano silica powders. *Phase Transitions*, 85(12), 1109-1124.
- Snehal, K., Das, B. B., & Akanksha, M. (2020). Early age, hydration, mechanical and microstructure properties of nano-silica blended cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 233, 117212.
- Söylemez, M., & Yıldırım, A. (2016). Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(4), 19-31.
- Sütçü, M., & Akkurt, S. (2014). Alternatif Hammadde Olarak Kağıt Sanayi Üretim Atığı Kullanılarak Hafif Refrakter İzolasyon Tuğlası Geliştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 505-512.
- Şişman, C. B., Kocaman, İ., & Gezer, E. (2006). Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 32-40.
- Tobón, J. I., Mendoza Reales, O., Restrepo, O. J., Borrachero, M. V., & Payá, J. (2018). Effect of Pyrogenic Silica and Nanosilica on Portland Cement Matrices. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(10), 04018266.
- TS EN 771-1. (2005). Kâğıt Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâğıt birimler (Tuğlalar), TSE, Ankara.
- TS EN 772-4. (2000). Kâğıt Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâğıt birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara.
- Wang, J., Cheng, Y., Yuan, L., Xu, D., Du, P., Hou, P., Zhou, Z., Cheng, X., Liu, S. & Wang, Y. (2020). Effect of nano-silica on chemical and volume shrinkage of cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 247, 118529.
- Yu, J., Zhang, M., Li, G., Meng, J., & Leung, C. K. (2020). Using nano-silica to improve mechanical and fracture properties of fiber-reinforced high-volume fly ash cement mortar. *Construction and Building Materials*, 239, 117853.



**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Betonarme Çerçevelerde Farklı Deprem Yer Hareketi  
Düzeyi Etkilerinin İncelenmesi**

\*<sup>1</sup>Veli BAŞARAN, <sup>2</sup>Murat HİÇYILMAZ

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, vbasaran@aku.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2943-0528>

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, mail murathicyilmaz@aku.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4132-4285>

Geliş / Received: 16.05.2020;

Kabul / Accepted: 03.06.2020

**Öz**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY18) ve deprem tehlike haritası 2018 yılında yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte dört farklı deprem yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) tanımlanmıştır. Ayrıca, deprem yer hareketi düzeylerine ve zemin sınıflarına karşılık gelen spektral ivme katsayıları sismik tehlike haritasında verilmiştir. Bu çalışmada, farklı deprem yer hareketi düzeyleri ve zemin sınıfları için betonarme çerçevelerdeki taban kesme kuvvetleri, görelî kat ötelenmeleri ve kirişlerdeki eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir. Hesaplamalarda 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeve modelleri kullanılmıştır. Çerçeve modelleri, TBDY18, TS500 ve TS498 yönetmelik şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Analizler, mod birleştirme yöntemi kullanılarak SAP2000 yapısal analiz programıyla yapılmıştır. Afyonkarahisar Merkezi için ZA, ZB, ZC, ZD, ZE zemin sınıfları ve dört deprem yer hareketi düzeyine göre deprem tehlike haritasından spektral ivme katsayıları belirlenmiştir. Analizler sonucunda deprem yer hareketi düzeyleri ve zemin sınıflarına göre iki çerçeveye ait taban kesme kuvvetleri, görelî kat ötelenmeleri ve kirişlerdeki eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Deprem yer hareketi düzeyi, Zemin sınıfı, Mod birleştirme yöntemi, Betonarme çerçeve.

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Başaran, V., & Hiçyılmaz, M. (2020). Betonarme çerçevelerde farklı deprem yer hareketi düzeyi etkilerinin incelenmesi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 2(1), 27-41.



## Investigation of Different Earthquake Ground Motion Level Effects in Reinforced Concrete Frames

### Abstract

---

Turkish Building Earthquake Code (TBEC18) and Earthquake Hazard Map were published in 2018. In TBEC18, four different earthquake ground motion levels (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) are defined. Furthermore, the spectral acceleration coefficients corresponding to earthquake ground motion levels and soil classes are given on the seismic hazard map. In this study, the ground shear forces in the reinforced concrete frames, relative floor displacements and bending moment values in beams were calculated for various earthquake ground motion levels and soil classes. 5-layer and 10-layer reinforced concrete frame models are used in the calculations. The frame models are designed to meet the TBEC18, TS500 and TS498 code requirements. The analyses were carried out using the SAP2000 structural analysis program by using the modal combination method. Spectral acceleration coefficients were taken from the earthquake hazard map of Afyonkarahisar City Centre according to soil classes ZA, ZB, ZC, ZD, ZE and four earthquake ground motion levels. The ground shear forces, relative floor displacements and bending moment values of the two frames were compared according to the earthquake ground motion levels and soil classes.

**Keywords:** *Turkish Building Earthquake Code 2018, Earthquake ground motion level, Soil class, Modal combination method, Reinforced concrete frame.*

## 1. Giriş

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve deprem tehlike haritası 2018 yılında yayınlanmıştır. Yeni deprem yönetmeliği ve deprem tehlike haritası ile birlikte birtakım değişiklikler olmuştur.

Bu yönetmelikte dört farklı deprem yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) tanımlanmıştır. Ayrıca, bu deprem yer hareketi düzeylerine ve zemin sınıflarına (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE) karşılık gelen spektral ivme katsayıları sismik tehlike haritasında verilmiştir.

Literatür taraması yapıldığında yeni yönetmeliğe ilişkin çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Öztürk (2018) tarafından yapılan çalışmada, İç Anadolu Bölgesinde dört farklı deprem bölgesinde yer alan 4 farklı ilde, 2 farklı zemin cinsi ve 2 farklı periyot değeri için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve DBYYHY (2007) karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma neticesinde yeni deprem yönetmeliğinin köklü değişiklikler getirdiği belirtilerek, deprem tehlike haritasının zayıf dayanıma sahip zeminlerde ve yapı periyotunun 1 sn'den düşük olduğu durumlarda spektral ivmeleri büyük ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sucuoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY (2018) kapsam bakımından incelenmiştir. Yönetmelikle ilgili en önemli gelişmelerin, sahaya özel deprem tehlikesi tanımı ile yüksek binalar, deprem yalıtımlı binalar ve kazıklı

temellerin deprem tasarımı olduğu belirtilmiştir.

Kap, Özgan ve Uzunoğlu (2019) tarafından, mevcut betonarme bir okul binasının TBDY (2018) göre incelenmesi yapılmıştır. Beton basınç dayanımları, taşıyıcı elemanlarındaki donatı miktarları, temel özellikleri ve zemin özelliklerine bağlı olarak yapılan performans analizleri neticesinde güçlendirme tavsiye edilmiştir.

Keskin ve Bozdoğan (2018), DBYYHY (2007) ve TBDY (2018) yönetmeliklerinin Kırklareli İli özelinde değerlendirilmesini yapmışlardır. Öncelikle eski ve yeni yönetmelikler için elastik tasarım spektrumları karşılaştırılmıştır. Bununla beraber, farklı zemin sınıfları için 4 katlı bir binanın deprem analizleri gerçekleştirilmiştir.

Seyrek (2020) tarafından yeni Türkiye sismik tehlike haritasının Ege bölgesi için değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bölgede 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip tehlike seviyeleri dikkate alınarak elde edilen maksimum yer ivmesi değerleri, eski ve yeni tehlike haritalarına göre karşılaştırılmıştır. Bununla beraber Ege Bölgesinde bulunan sekiz il için yerel zemin koşullarının tasarım spektrumları üzerinde etkileri de incelenmiştir.

Çavdar ve Yolcu (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise mevcut bir betonarme okul binasının yatay ve düşey düzensizlik durumları, Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e bağlı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak yeni deprem

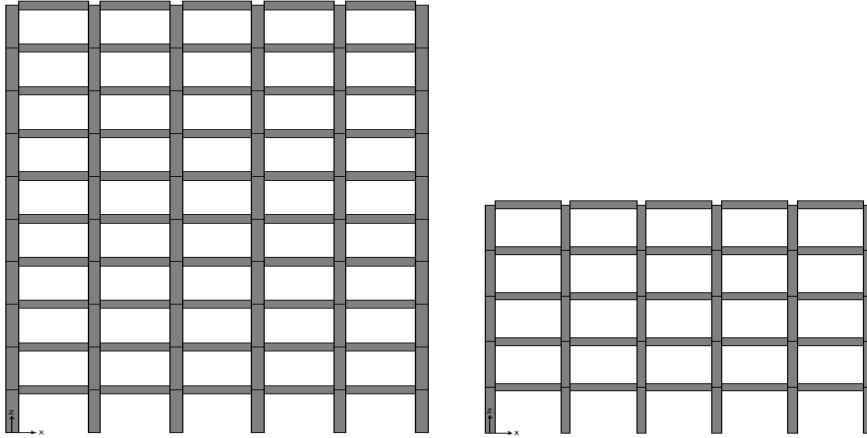
yönetmeliğinin binaların konumuna göre verilerin alınabilmesi bakımından olumlu yönde geliştiği bununla beraber bazı yeniliklerin yapı tasarımında karmaşık hesap metotlarının kullanılmasını gerektirdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar Merkezi için ZA, ZB, ZC, ZD, ZE zemin sınıfları ve dört deprem yer hareketi düzeylerine göre hesap edilen spektral ivme katsayıları kullanılarak mod birleştirme yöntemine göre yapılan analizler sonucunda 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeve modellerin taban kesme kuvveti değerleri, görelî kat ötelenmesi değerleri ve kat kirişlerindeki en büyük moment

değerleri hesap edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada, 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeve modelleri kullanılmıştır (Başaran, 2018). Çerçeve modelleri, TBDY2018, TS500 ve TS498'e uygun olarak tasarlanmış, beton sınıfı C25/30, beş açıklıklı, açıklık mesafeleri 4.00 m ve kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Kiriş ebatları 5 katlı çerçevede 25x50 cm, 10 katlı çerçevede 30x60 cm, kolon ebatları ise 5 katlı çerçevede 50x50 cm, 10 katlı çerçevede 60x60 cm'dir. Analizde kullanılan çerçeve modelleri Şekil 1'de verilmiştir.



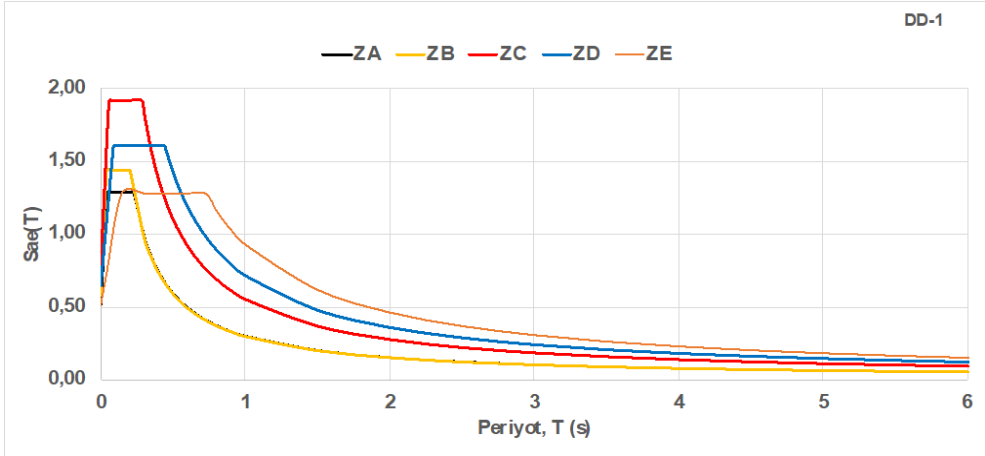
Şekil 1. Analizde kullanılan çerçeve modelleri (Başaran, 2018).

Betonarme çerçeve modellerinin analizi SAP2000 yapısal analiz programı ile yapılmıştır. Katlar rijit diyafram olarak modellenmiş, kolon ve kirişlerde etkin kesit rijitlikleri tanımlanmıştır. Betonarme çerçevelere TBDY2018'e uygun olarak mod birleştirme yöntemi ile yapılan analizler sonucunda taban kesme kuvveti değerleri, görelî kat

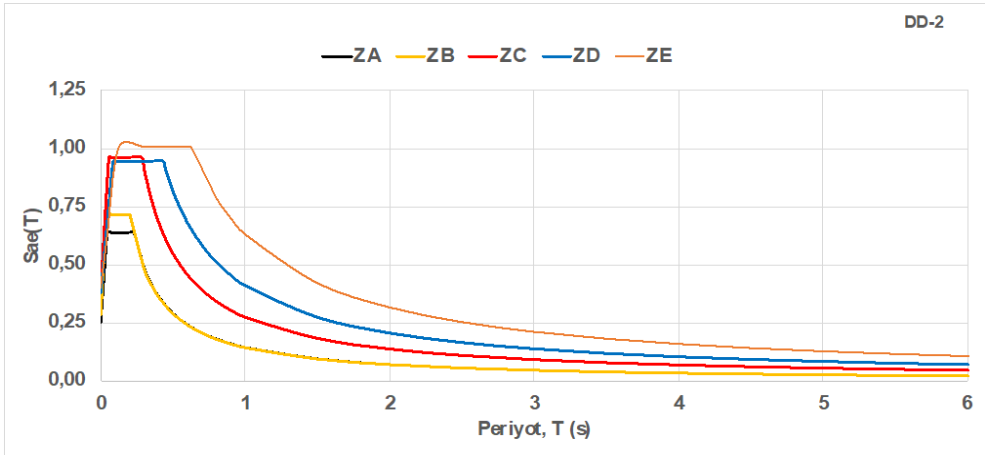
ötelenmesi değerleri ve kat kirişlerindeki en büyük eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir. Mod birleştirme yönteminin uygulanmasında TBDY2018 ve Türkiye Deprem Tehlike Haritalarına göre Afyonkarahisar Merkezi için ZA, ZB, ZC, ZD, ZE zemin sınıfları ve DD-1, DD-2, DD-3, DD-4 deprem yer hareketi düzeylerine göre

hesap edilmiş yatay elastik tasarım spektrumları kullanılmıştır. Hesap edilen bu yatay elastik tasarım spektrumları azaltılmış yatay elastik spektrumlarına dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda, bina kullanım sınıfı (BKS) 3, taşıyıcı sistem davranış

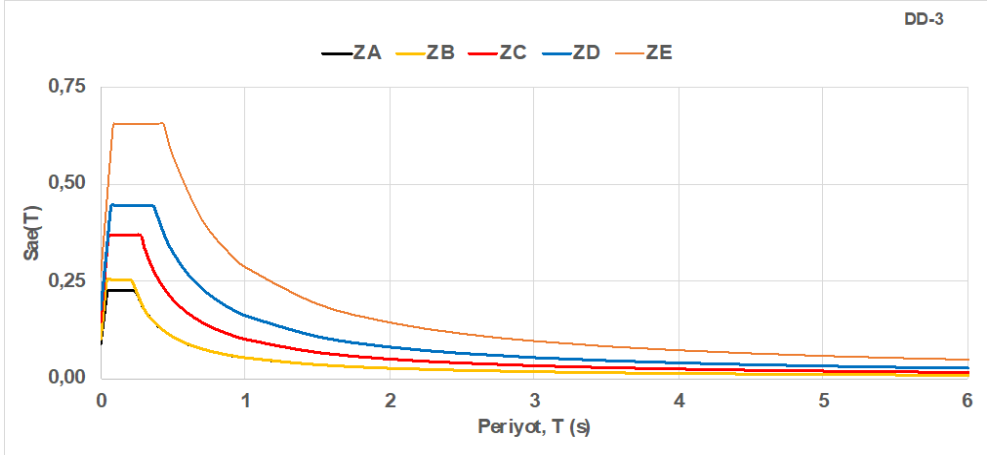
katsayısı (R) değeri 8, dayanım fazlalığı katsayısı değeri (D) 3, hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) değeri 0.3 olarak kabul edilmiştir. Yatay elastik tasarım spektrumlarına ait grafikler Şekil 2- Şekil 5’de verilmiştir.



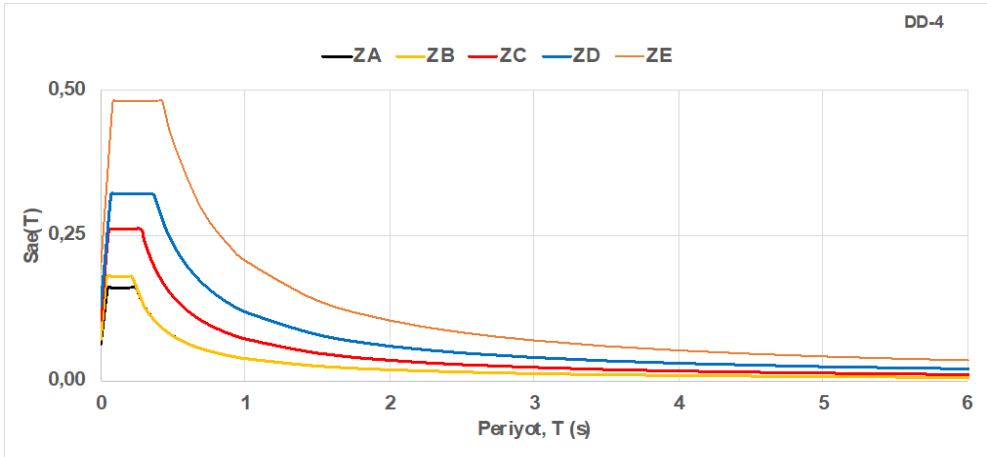
Şekil 2. DD-1 için zemin sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektrumları.



Şekil 3. DD-2 için zemin sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektrumları.



Şekil 4. DD-3 için zemin sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektrumları.



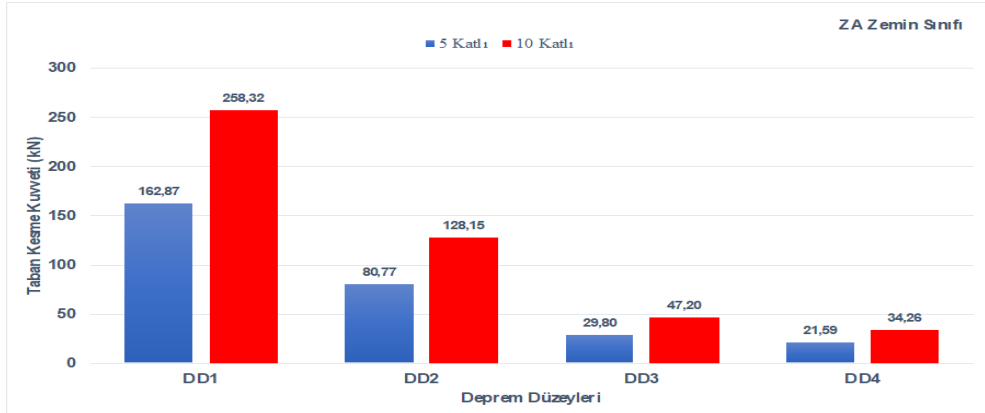
Şekil 5. DD-4 için zemin sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektrumları.

### 3. Bulgular

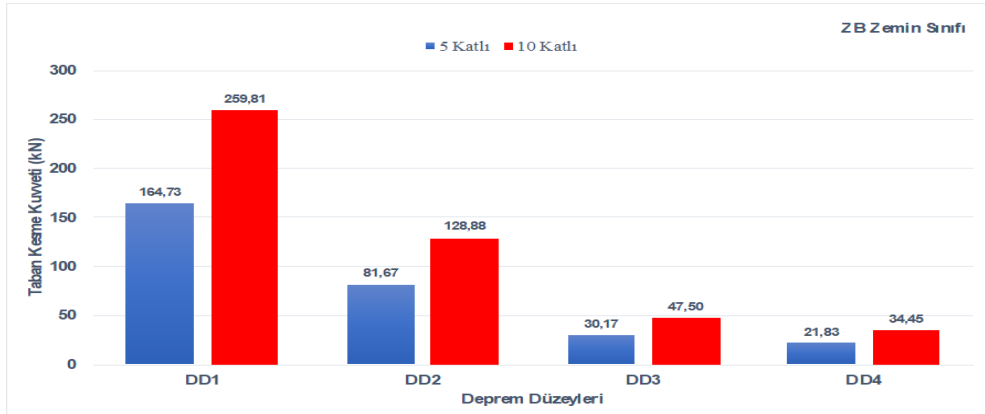
#### 3.1 Taban kesme kuvveti değerleri

Analizler sonucunda, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi ve beş farklı zemin

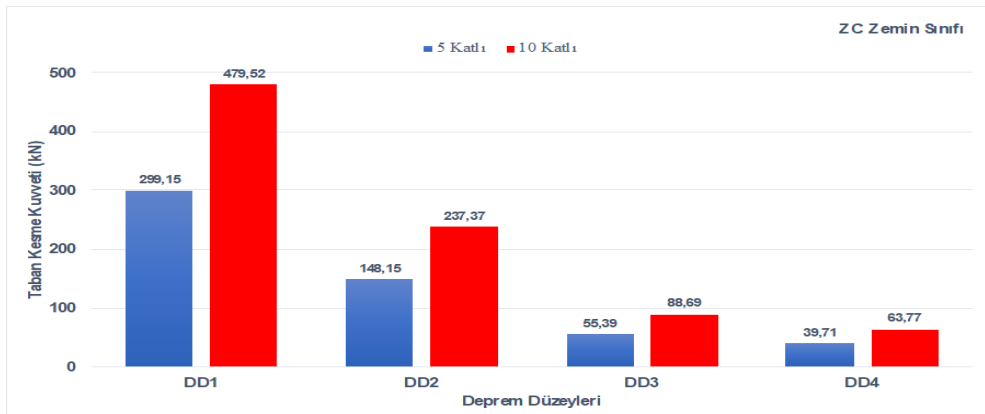
sınıfına göre 5 ve 10 katlı betonarme çerçeve modelleri için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 6-Şekil 10'da verilmiştir.



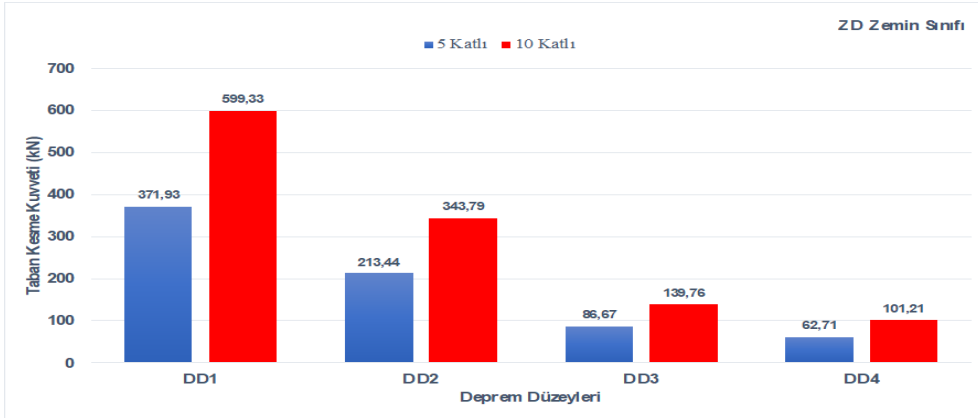
Şekil 6. ZA zemin sınıfı için dört deprem yer hareketi düzeyine göre taban kesme kuvveti değerleri.



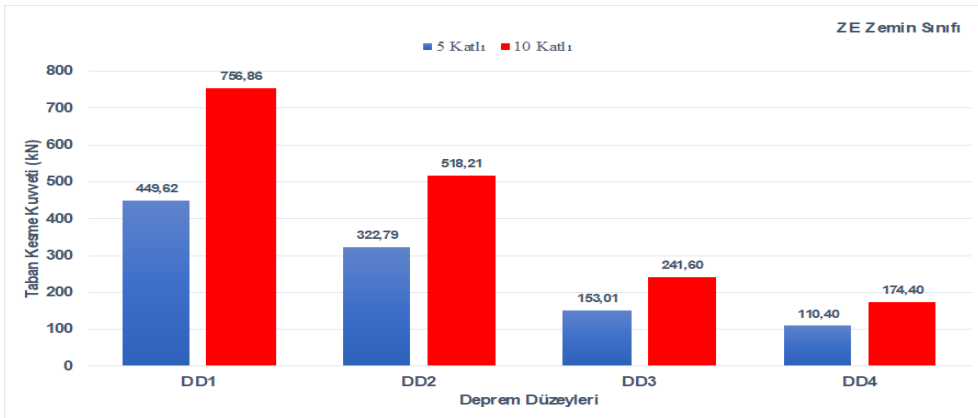
Şekil 7. ZB zemin sınıfı için dört deprem yer hareketi düzeyine göre taban kesme kuvveti değerleri.



Şekil 8. ZC zemin sınıfı için dört deprem yer hareketi düzeyine göre taban kesme kuvveti değerleri.



Şekil 9. ZD zemin sınıfı için dört deprem yer hareketi düzeyine göre taban kesme kuvveti değerleri.



Şekil 10. ZE zemin sınıfı için dört deprem yer hareketi düzeyine göre taban kesme kuvveti değerleri.

5 katlı betonarme çerçeve modeli için taban kesme kuvveti değerleri, DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.01, 1.84, 2.28, 2.76 kat artış göstermiştir. Taban kesme kuvveti değerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.01, 1.83, 2.64, 4.00 kat, DD-3 için 1.01, 1.86, 2.91, 5.13 kat ve DD-4 için 1.01, 1.84, 2.90, 5.11 kat olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde taban kesme kuvveti değerleri yine ZA zemin sınıfı referans alındığında, DD-1 için sırasıyla

1.01, 1.86, 2.32, 2.93 kat, DD-2 için 1.01, 1.85, 2.68, 4.04 kat, DD-3 için 1.01, 1.88, 2.96, 5.12 kat, DD-4 için 1.01, 1.86, 2.95, 5.09 kat artmıştır.

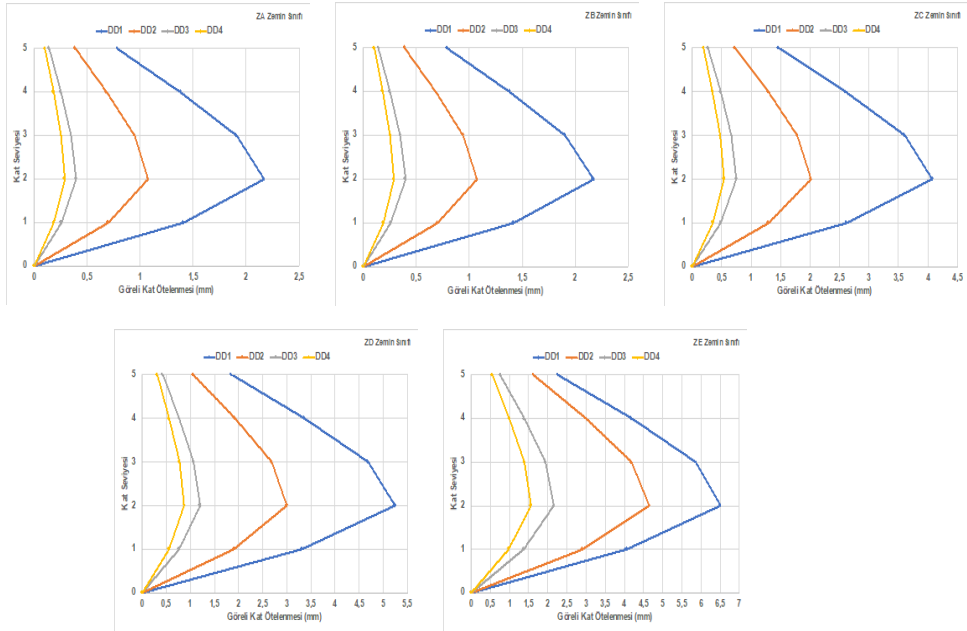
DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için taban kesme kuvveti değerlerindeki değişim incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. 5 katlı betonarme çerçeve modelinde taban kesme kuvvetlerindeki azalma yüzde olarak

sırasıyla ZA için %50.41, %81.70, %86.74, ZB için %50.42, %81.69, %86.75, ZC için %50.48, %81.48, %86.72, ZD için %42.61, %76.70, %83.14 ve ZE için %28.21, %65.97, %75.45 olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde yine DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alındığında taban kesme kuvvetleri ZA için sırasıyla %50.39, %81.73, %86.74, ZB için %50.39, %81.72, %86.74, ZC için %50.50, %81.50, %86.70,

ZD için %42.64, %76.68, %83.11, ZE için %31.53, %68.08, %76.96 azalmıştır.

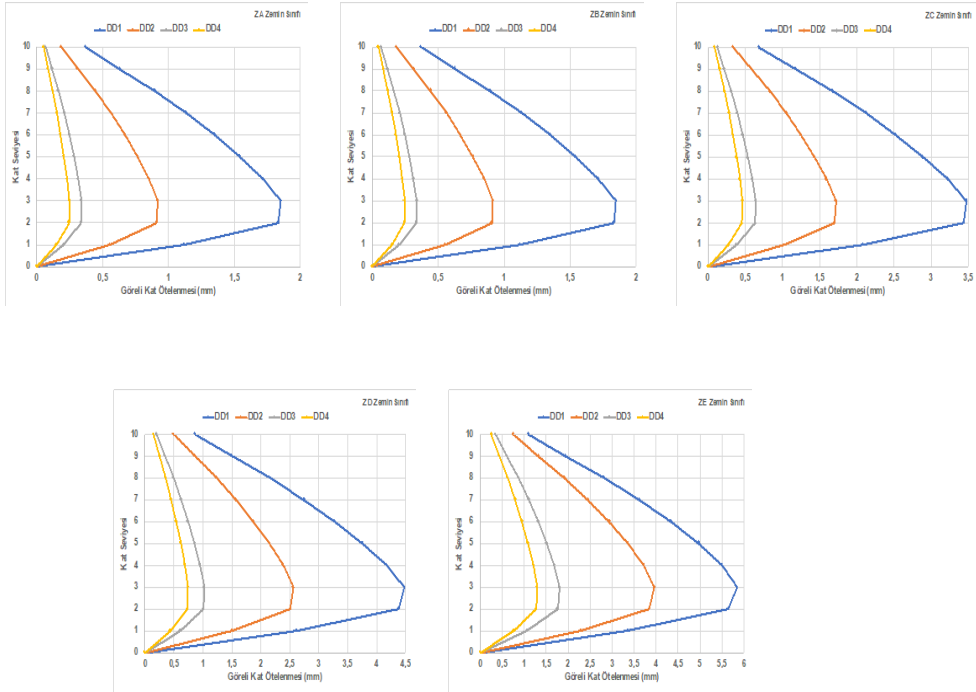
### 3.2 Görelî kat ötelenmesi değerleri

Analizler sonucunda, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi ve beş farklı zemin sınıfına göre elde edilen görelî kat ötelenmesi değerleri 5 katlı betonarme çerçeve modeli için Şekil 11'de ve 10 katlı betonarme çerçeve modeli için Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 11. 5 katlı betonarme çerçeve için görelî kat ötelenmesi değerleri.





**Şekil 12.** 10 katlı betonarme çerçeve için görelî kat ötelenmesi değerleri.

Deprem yer hareketi düzeyi ve zemin cinsine göre elde edilen görelî kat ötelenmesi değerlerine ait değişimler incelenirken her bir çerçeve modeli için bütün katlardan elde edilen değişim oranlarının ortalamaları dikkate alınmıştır. 5 katlı betonarme çerçeve modeli için görelî kat ötelenmesi değerleri, DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.00, 1.87, 2.40, 2.97 kat artış göstermiştir. Görelî kat ötelenmesi değerlerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.00, 1.87, 2.77, 4.28 kat, DD-3 için 1.00, 1.88, 3.01, 5.39 kat ve DD-4 için 1.00, 1.86, 3.00, 5.35 kat olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde görelî kat ötelenmesi değerleri yine ZA zemin sınıfı referans alındığında, DD-1 için sırasıyla 1.00, 1.87, 2.40, 3.13 kat, DD-2 için 1.00, 1.87,

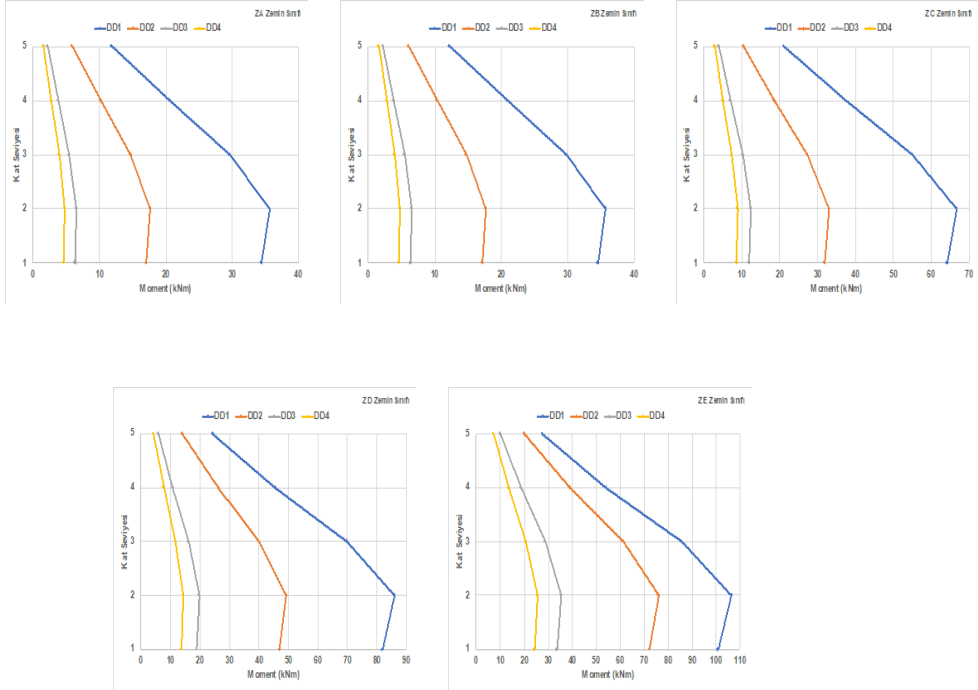
2.78, 4.28 kat, DD-3 için 1.00, 1.89, 3.03, 5.30 kat, DD-4 için 1.00, 1.87, 3.01, 5.25 kat artmıştır.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için görelî kat ötelenmesi değerlerindeki değişimlerin ortalaması incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. 5 katlı betonarme çerçeve modelinde görelî kat ötelenmesi değerlerindeki azalma yüzde olarak sırasıyla ZA için %50.43, %81.66, %86.68, ZB için %50.44, %81.65, %86.68, ZC için %50.52, %81.55, %86.76, ZD için %42.72, %77.01, %83.36 ve ZE için %28.52, %66.70, %76.00 olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde yine DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alındığında görelî kat ötelenmesi değerleri ZA için

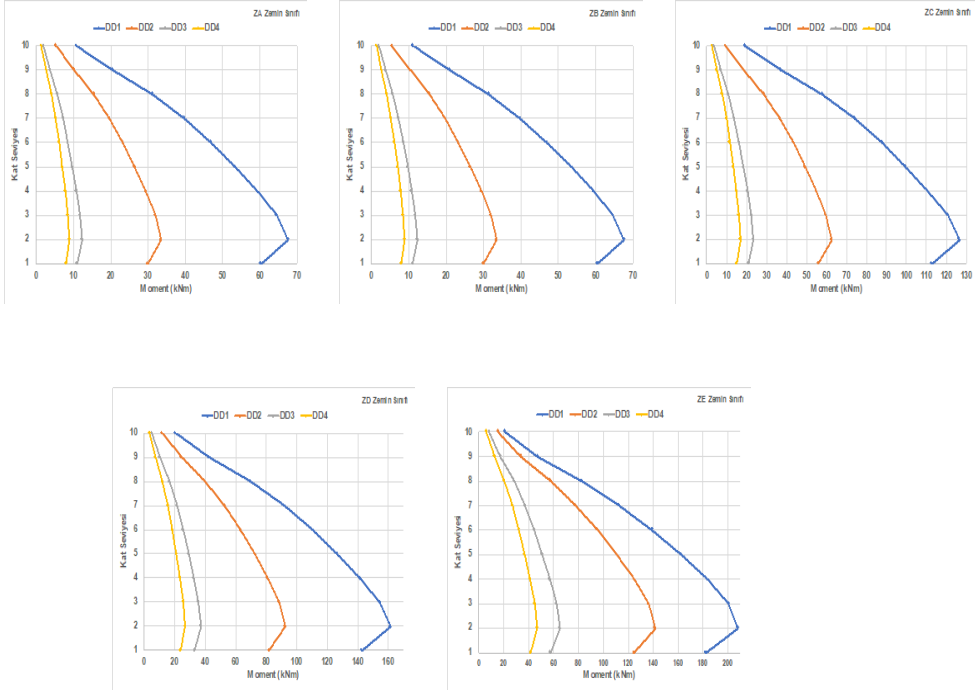
sırasıyla %50.42, %81.73, %86.71, ZB için %50.42, %81.70, %86.71, ZC için %50.52, %81.54, %86.70, ZD için %42.74, %77.00, %83.34, ZE için %32.10, %69.03, %77.68 azalmıştır.

### 3.3 Eğilme momenti değerleri

Analizler sonucunda, 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeve modellerine ait kat kirişlerindeki en büyük eğilme momenti değerleri sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 13. 5 katlı betonarme çerçeve için kirişlerdeki en büyük eğilme momenti değerleri.



**Şekil 14.** 10 katlı betonarme çerçeve için kirişlerdeki en büyük eğilme momenti değerleri

Kat kirişlerindeki en büyük eğilme momenti değerlerine ait değişimler incelenirken her bir çerçeve modeli için bütün katlardan elde edilen değişim oranlarının ortalamaları dikkate alınmıştır. 5 katlı betonarme çerçeve modeli için moment değerleri, DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.01, 1.84, 2.28, 2.75 kat artış göstermiştir. Moment değerlerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.01, 1.83, 2.64, 3.98 kat, DD-3 için 1.01, 1.86, 2.91, 5.13 kat ve DD-4 için 1.01, 1.84, 2.90, 5.10 kat olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde görelî kat ötelenmesi değerleri yine ZA zemin sınıfı referans alındığında, DD-1 için sırasıyla 1.01, 1.85, 2.28, 2.81 kat, DD-2 için 1.01, 1.85,

2.64, 3.90 kat, DD-3 için 1.01, 1.87, 2.93, 5.03 kat, DD-4 için 1.01, 1.86, 2.93, 5.01 kat artmıştır.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için eğilme momenti değerlerindeki değişimlerin ortalaması incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. 5 katlı betonarme çerçeve modelinde eğilme moment değerlerindeki azalma yüzde olarak sırasıyla ZA için %50.41, %81.71, %86.74, ZB için %50.41, %81.70, %86.76, ZC için %50.48, %81.48, %86.72, ZD için %42.59, %76.64, %83.11 ve ZE için %28.13, %65.79, %75.31 olduğu görülmüştür. 10 katlı betonarme çerçeve modeli içinde yine DD-1 deprem yer

hareketi düzeyi referans alındığında eğilme momenti değerleri ZA için sırasıyla %50.38, %81.73, %86.75, ZB için %50.39, %81.72, %86.76, ZC için %50.49, %81.49, %86.70, ZD için %42.54, %76.42, %82.94, ZE için %30.78, %66.92, %76.09 azalmıştır.

#### **4. Sonuçlar**

Bu çalışmada, deprem yer hareketi düzeyleri ve zemin sınıfı değişiminin betonarme çerçeveler üzerindeki etkileri incelenmiştir. 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeve modelleri mod birleştirme yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda çerçevelere ait taban kesme kuvveti değerleri, görel kat ötelenmesi değerleri ve kat kirişlerindeki en büyük eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiş olup, değerlendirmede 5 katlı ve 10 katlı betonarme çerçeveler için değişim oranlarının ortalama sonuçları dikkate alınmıştır.

- 5 ve 10 katlı betonarme çerçeve modellerinin ortalama taban kesme kuvveti değerleri göz önünde bulundurulduğunda, DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.01, 1.85, 2.30, 2.85 kat artış göstermiştir. Taban kesme kuvveti değerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.01, 1.84, 2.66, 4.02 kat, DD-3 için 1.01, 1.87, 2.93, 5.13 kat ve DD-4 için 1.01, 1.85, 2.93, 5.10 kat olduğu görülmüştür.

- DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için

taban kesme kuvveti değerlerindeki değişim incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. Betonarme çerçeve modellerin taban kesme kuvvetlerindeki azalma yüzde olarak sırasıyla ZA için %50.40, %81.71, %86.74, ZB için %50.41, %81.70, %86.74, ZC için %50.49, %81.49, %86.71, ZD için %42.63, %76.69, %83.13 ve ZE için %29.87, %67.02, %76.20 olduğu görülmüştür. ZA, ZB ve ZC zemin sınıfları için taban kesme kuvveti değerlerindeki değişim birbirlerine yakınken; ZD ve ZE zemin sınıflarındaki azalma miktarı farklı olmuştur.

- Betonarme çerçeve modellerinin görel kat ötelenmeleri ise DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.00, 1.87, 2.40, 3.07 kat artış göstermiştir. Görel kat ötelenmesi değerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.00, 1.87, 2.78, 4.28 kat, DD-3 için 1.00, 1.89, 3.02, 5.33 kat ve DD-4 için 1.00, 1.87, 3.01, 5.28 kat olduğu görülmüştür.

- DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için görel kat ötelenmelerindeki değişim incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. Betonarme çerçeve modellerin görel kat ötelenmesi değerlerindeki azalma yüzde olarak sırasıyla ZA için %50.43, %81.70, %86.70, ZB için %50.43, %81.69, %86.70, ZC için %50.52, %81.54, %86.72, ZD için %42.74, %77.01, %83.34 ve ZE için %30.90, %68.25, %77.12 olduğu görülmüştür.

Taban kesme kuvvetlerinde olduğu gibi görelî kat ötelenmeleri içinde, ZA, ZB ve ZC zemin sınıflarındaki değişim birbirlerine yakınen; ZD ve ZE zemin sınıflarındaki azalma miktarı farklı olmuştur.

- Betonarme çerçeve modellerinin eğilme momentleri ise DD-1 deprem yer hareketi için ZA zemin sınıfı referans alındığında sırasıyla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında 1.01, 1.85, 2.28, 2.79 kat artış göstermiştir. Eğilme momenti değerindeki bu artışlar yine sırasıyla DD-2 için 1.01, 1.84, 2.64, 3.93 kat, DD-3 için 1.01, 1.87, 2.92, 5.06 kat ve DD-4 için 1.00, 1.85, 2.92, 5.04 kat olduğu görülmüştür.

- DD-1 deprem yer hareketi düzeyi referans alınarak beş zemin sınıfı için eğilme momenti değerlerindeki değişim incelendiğinde, sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeylerindeki değerlerde azalma meydana gelmiştir. Betonarme çerçeve modellerin eğilme momenti değerlerindeki azalma yüzde olarak sırasıyla ZA için %50.39, %81.72, %86.75, ZB için %50.40, %81.71, %86.76, ZC için %50.49, %81.48, %86.70, ZD için %42.56, %76.50, %83.00 ve ZE için %29.89, %66.55, %75.83 olduğu görülmüştür.

## 5. Kaynaklar

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). TBDY2018: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. <https://tdth.afad.gov.tr>,

Başaran, V. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) göre

Afyonkarahisar için deprem yüklerinin değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD)*, 18, 1028-1035. doi: 10.5578/fmbd.67739

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Ankara.

Çavdar, Ö. Yolcu, A. (2018). Mevcut bir okul binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yapısal düzensizliklerinin incelenmesi, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (Ordu univ. j. sci. tech.)*, 8(2), 153-164.

Kap, T., Özgan, E., Uzunoğlu, M.M. (2019). Betonarme bir okul binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine göre incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7,1140-1150.

Keskin, E., Bozdoğan, K.B. (2018). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli özelinde değerlendirilmesi, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 4(1), 74-90.

Öztürk, M. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili İç Anadolu Bölgesi bazında bir değerlendirme, *Selçuk Teknik Dergisi (Journal of Selçuk-Technic)*, 17(2), 31-42.

Sap2000. (2020). Yapısal Analiz Programı, Versiyon 20, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

Seyrek, E. (2020). Yeni Türkiye sismik tehlike haritasının Ege Bölgesi için değerlendirilmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (NOHU J. Eng. Sci.)*, 9(1), 414-423. doi: 10.28948/ngumuh.617268

Sucuoğlu, H. (2019). 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde başlıca yenilikler, *Turkish Journal of Earthquake Research*, 1(1), 63-75.

Türk Standartları Enstitüsü. (1997). TS498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2000). TS500:  
Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım  
Kuralları. Ankara.

