



VOLUME: 3 (2020)

ISSUE:1

ISSN: 2687-3052



Journal of Investigation on Engineering & Technology

<http://dergipark.gov.tr/jiet>



PUBLISHER:

Yayıncı

Dr. Canan AKSOY

JIET FOUNDING COMMITTEE:

JIET Kurucu Kurul

Dr. Canan AKSOY
Dr. Emin TUĞCU
Dr. Erol İSKENDER
Dr. Hamdi Tolga KAHRAMAN
Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

EDITOR IN CHIEF:

Baş Editör

Dr. Canan AKSOY

EDITORS:

Editörler

Dr. Canan AKSOY
Dr. Emin TUĞCU
Dr. Erol İSKENDER
Dr. Hamdi Tolga KAHRAMAN
Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

EDITORIAL BOARD:

Yayın Kurulu

Dr. Adem DOĞANGÜN (Uludağ University)
Dr. Umut TOPAL (Karadeniz Technical University)
Dr. Zeki KARACA (Ondokuz Mayıs University)
Dr. Tayfun DEDE (Karadeniz Technical University)
Dr. Egemen ARAS (Bursa Technical University)
Dr. Nurcan ÖZTÜRK (Karadeniz Technical University)
Dr. Ümit ÇALIK (Karadeniz Technical University)
Dr. Erdem TÜRKELİ (Ordu University)
Dr. Erdoğan DOĞDU (Çankaya University)
Dr. Şeref SAĞIROĞLU (Gazi University)
Dr. Güngör BAL (Gazi University)
Dr. M. Ali AKCAYOL (Gazi University)
Dr. Recep DEMİRCİ (Gazi University)
Dr. Tuncay YİĞİT (Süleyman Demirel University)
Dr. Ercan Nurcan YILMAZ (Gazi University)
Dr. Cemal YILMAZ (Gazi University)
Dr. Uğur GÜVENÇ (Düzce University)
Dr. Yusuf SÖNMEZ (Gazi University)
Dr. Eyüp GEDİKLİ (Karadeniz Technical University)
Dr. Mehmet ŞİMŞEK (Düzce University)

Dr. İbrahim Alper DOĞRU (Gazi University)
Dr. Atakan AKSOY (Karadeniz Technical University)
Dr. Cemaleddin ŞİMŞEK (Karadeniz Technical
Univetsity)
Dr. Tuncay BAYRAM (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. Burcu SAVAŐKAN (Karadeniz Technical
Univetsity)
Dr. Zeynep HASIRCI (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. Emel AŐICI (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. Bakiye ÇAKIR (Artvin Çoruh Univetsity)
Dr. Ezgi Taylan KOPARAN (B¼lent Ecevit Univetsity)
Dr. Cenk ALBAYRAK (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. ¼m¼r AKYAZI (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. Esmat ATEŐ (Karadeniz Technical Univetsity)
Dr. Numan DOĐAN (North Carolina State University)
Dr. Tayebah MOUSAVI (Oxford University)
Dr. Germán F. de la FUENTE (University of Zaragoza)
Dr. Luis A ANGUREL (University of Zaragoza)
Dr. Bilge Han TOZLU (Hitit University)

Product Information

Ürün Bilgisi

Volume **3** **Issue** **1** **June/2020**
Cilt *Sayı* *Haziran/2020*

Publisher Dr. Canan AKSOY
Yayıncı

Web Page <http://dergipark.gov.tr/jiet>
Web Sayfası

Date of Publication June /2020
Basım Tarihi *Haziran/2020*

Language English/Turkish
Yayın Dili *İngilizce/Türkçe*

Frequency Published twice in a year
Yayın Aralığı *Yılda iki kez yayınlanır*

Type of Publication Periodical
Yayın Türü *Sürelî yayın*

ISSN Number 2687-3052
ISSN Numarası

Yazışma Adresi

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Çamlı M. Hacı Mehmet Baheddin Ulusoy
Cad. No:144 61830 Of/ TRABZON
Telefon: +90 462 377 84 07
E-posta: jiet@ktu.edu.tr

Makale gönderimi dergipark üzerinden yapılmaktadır. Tüm yayınlanan makalelere <http://dergipark.gov.tr/jiet> adresinden ulaşılabilir.

Correspondence Address

Karadeniz Technical University
Faculty of Technology
Department of Civil Engineering
Çamlı M. Hacı Mehmet Baheddin Ulusoy
St. No:144 61830 Of/ TRABZON
Phone: +90 462 377 84 07
E-mail: jiet@ktu.edu.tr

Paper submission is done via dergipark. All published papers are available at <http://dergipark.gov.tr/jiet>.



CONTENTS

İçindekiler



Research Papers

(Araştırma Makaleleri)

Pages

Sayfalar

- Dynamic Seismic Spectrum Analyses of a 120 m High Reinforced Concrete Chimney According to Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018)
Zeki KARACA, Erdem TÜRKELİ, Aşlı ÇİÇEK 1-5
- Usage of Obsidian (Igneous Energy) in Both Radiation Detection and Fixed-Target Machine in Discovery of Subatomic Particles
Oğuzhan DERViŞAĞAOĞLU 6-9
- Effect of the Use of Calcite as a Substitute for Cement on Compressive Strength
Kalsitin Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi
İlknur BEKEM KARA 10-16
- Arduino Based Matlab/Simulink Program Controlled Battery Charge Unit Design and Application for Solar Energy Systems
Güneş Enerjisi Sistemleri için Arduino Tabanlı Matlab/Simulink Programı Üzerinden Denetlenen Akü Şarj Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması
Haydar YURDAKUL, Erol Can DELİTAY, Ömür AKYAZI, Erdinç ŞAHİN 17-22
- Carbothermic reduction of mixed nickel-cobalt hydroxide precipitate
Karışık nikel-kobalt hidroksit çökeleğinin karbotermik indirgenmesi
Said ERAY 23-26
- Acoustic Properties in Asphalt Pavements
Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler
Emel ŞİT, Erol İSKENDER, Atakan AKSOY 27-36

Dynamic Seismic Spectrum Analyses of a 120 m High Reinforced Concrete Chimney According to Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018)

Zeki KARACA^{1a}, Erdem TÜRKELİ^{2b}, Aşlı ÇİÇEK^{1c}

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, 55139, Samsun

²Ordu University, Vocational School of Technical Sciences, Construction Department, 52200, Ordu

(Alınış / Received: 17.06.2020, Kabul / Accepted: 26.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Keywords

Reinforced Concrete
Chimney
Spectrum
Seismic
Earthquake Code

Abstract: Reinforced concrete chimneys are tall and slender structures that are more vulnerable to seismic actions. In recent earthquakes, many of them severely damaged or totally collapsed. Therefore, it is an inevitable duty to analyze the structural response of these tall and slender structures under different seismic codes. In this study, the structural response of a 120 m high RC chimney under the seismic spectrum provided in Turkish Building Earthquake Code 2018 is determined. At the end of the analyses, the top displacement and base shear is obtained and the top displacement is compared with the limit value provided in ACI 307/98 that this comparison showed that the considered chimney is safe (only on the basis of top displacement comparison). Also, other linear and nonlinear seismic analyses should be performed to verify the structural response results obtained in this study.

1. Introduction

Reinforced concrete (RC) chimneys are tall and slender structures that are used in industrial facilities having the responsibility of waste gases to be thrown away. Nowadays, due to the limitations in environmental regulations, their heights are increasing that is responsible for slenderness and vulnerability to earthquakes. The height of RC chimneys are ranging from 60 m. up to 350 m.

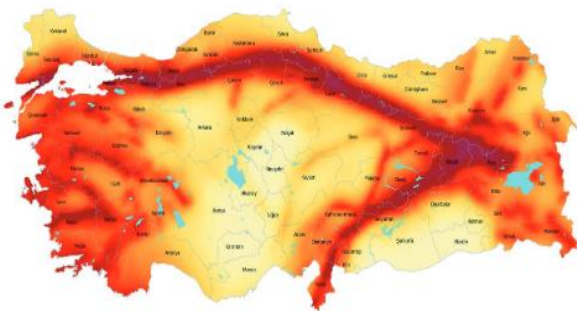


Figure 1. Earthquake hazard map of Turkey [1]

Also, Turkey can be counted as one of the active tectonic region in the World (Fig.1). From Fig.1 [1], the red zones indicated the active tectonic regions.

Therefore, the dynamic seismic analyses of RC chimneys should be executed carefully.

There are some linear and nonlinear analyses methods that can be utilized in the seismic analyses of RC chimneys. Linear analyses are consisting of equivalent earthquake method, response spectrum method and time history analyses. Other than these, nonlinear seismic methods i.e. pushover (static) and nonlinear time history analyses. In the nonlinear methods, the real dynamic behavior of the constituting materials should be known. For example, in the case of RC chimneys, the real nonlinear behavior of RC should be known. To do that some of the theories were provided in the technical literature [2,3]. However, in the case of linear modelling, there is no need to analyze the nonlinear response of the constituting materials. In this study, the linear elastic behavior of the representative RC chimney is considered in the dynamic seismic spectrum analyses.

In the technical literature, there are some studies dealing with the dynamic seismic response of RC chimneys. Wilson [4] dealt with nonlinear seismic response of RC chimneys by conducting an experimental program. At the end of these

*Corresponding Author: erdemturkeli@odu.edu.tr ORCID: 0000-0002-4293-4712

^a ORCID: 0000-0003-1130-5259

^b ORCID: 0000-0002-4293-4712

^c ORCID: 0000-0001-8659-0600

experiments, some of the code recommendations were suggested. Zhou et. al [5] dealt with the fragilities of a 240 m. high RC chimney by considering lumped mass beam. Karaca et. al [6] studied about the effect of FRP strengthening on the dynamic seismic response of RC chimneys. To do that the stress and displacement comparison of strengthened and unstrengthened RC chimneys were performed. Türkeli et. al [7] studied about the effect of body spacings on the seismic and wind response of RC chimneys. In the study, it was shown that these spacings considerably increased the percentage of tensile and shear stresses. Jiang et. al [8] presented a numerical algorithm to analyze earthquake response of tall RC chimneys based on stick multidegree-of-freedom models.

From technical literature search, it is clearly seen that there is no any other study that deals with the dynamic seismic spectrum analysis of RC chimneys by using Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018) [9]. Therefore, this study is believed to be beneficial for engineers in practice and academicians.

In this study, the dynamic seismic spectrum response of a 120 m high RC chimney is investigated by using the spectrum provided in Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). To do that a RC chimney is selected from the technical literature [10] and the spectrum cited above is applied to the chimney. At the end of the study, the top displacement, base shear, modal parameters of the chimney are presented.

2. Structural Information and Finite Element Model (FEM) of the Chimney

As indicated in the introduction part of the study, a 120 m high RC chimney is selected for the dynamic seismic response investigation. The outer diameter of the chimney at the bottom and top are 12.00 m and 8.50 m, respectively. Also, the wall thickness at the bottom and top are 0.60 m and 0.26 m, respectively. The bottom of the chimney is accepted as fixed to the ground as no soil-structure interaction is taken into account. Moreover, the spacing for the flue entrance is not taken into account.

In the FEM (Fig.2) of the cited RC chimney, 10 equal 12 meters high non-prismatic circle-sectioned concrete bars are utilized by using SAP2000 structural analysis software [11]. There are two translational and one rotational degree of freedom (total three) in the nodes that joins the concrete bars.

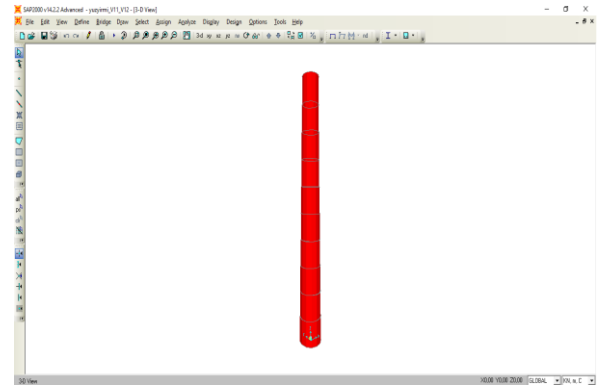


Figure 2. FEM of the chimney considered in this study produced in SAP2000 [11]

The cited chimney is constructed from RC that has unit weight, module of elasticity and Poisson's ratio are 25 kN/m³, 30.000.000 kN/m² and 0.2, respectively. With the information provided above, two-dimensional linear dynamic analysis is performed by utilizing the structural analysis software SAP2000.

4. Design Spectrum according to Turkish Building Earthquake Code 2018 [9]

The ordinate of the horizontal elastic response spectrum is provided with Eq.(1)-(4).

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (1)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (4)$$

In these equations, S_{DS} and S_{D1} are the design spectral acceleration coefficients. Also, T is denoting the natural vibration period. The corner points of the horizontal design spectrum, T_A and T_B , can be given in Eqs.(5) and (6) depending on the coefficients S_{DS} and S_{D1} .

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (6)$$

By this way, the horizontal design spectrum is given in Fig.(3).

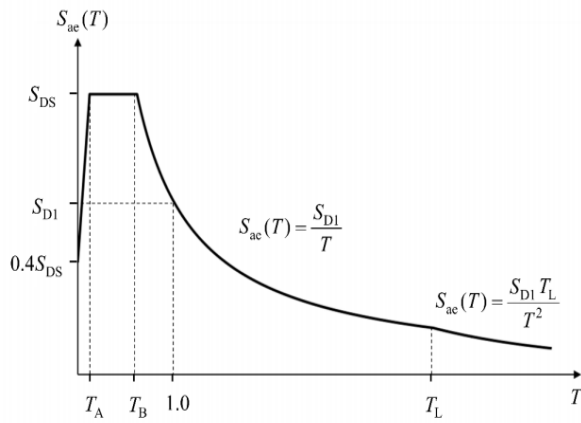


Figure 3. Horizontal design spectrum according to TBEC-2018 [9]

5. Dynamic Spectrum Analysis of the Chimney according to Turkish Building Earthquake Code 2018

In order to analyze the chimney, before dynamic spectrum analyses according to Turkish Building Earthquake Code, a structural modal analysis is performed. According to this modal analysis, the modal frequencies (also the modal periods) and the mode shapes of the first five modes are provided in Fig.4.

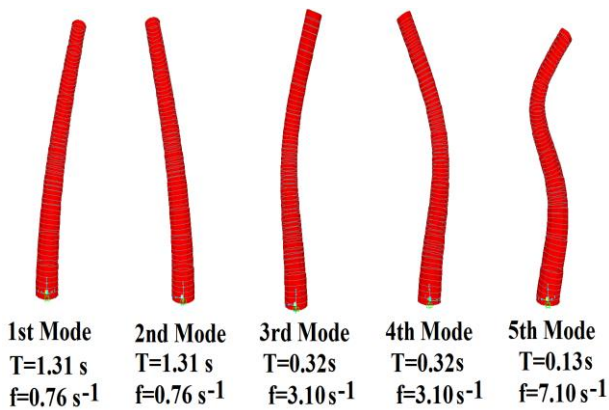


Figure 4. Modal information of the 120 m. high chimney considered in this study

In technical literature [12], it is emphasized that the modes that have cumulative mass ratios over 90 % is enough for the dynamic analyses. Therefore, the 120 m high considered is analyzed for 24 modes in the dynamic analysis. In Table 1, the sum of the total mass participations of first eleven modes are represented. It can be clearly seen that even in the first 11 modes, the sum of total mass is over 90 %. Therefore, it is enough to analyze the first 24 modes of the considered chimney in the dynamic analysis.

Table 1. Total participating mass ratios of the considered 120 m high chimney

Mode Number	Sum (X)	Sum (Y)
1	0,14007	0,38537
2	0,52544	0,52544
3	0,59509	0,70083
4	0,77048	0,77048
5	0,77948	0,87102
6	0,88002	0,88002
7	0,88002	0,88002
8	0,92613	0,89035
9	0,93645	0,93645
10	0,96620	0,93727
11	0,96701	0,96701

In order to determine the relevant parameters for constructing the horizontal design spectrum according to Turkish Building Earthquake Code 2018 [9], the exact coordinates of the structure on the earth should be known. In this study, it is accepted that the location of the considered chimney is in the Tüpras Refinery in Kocaeli, one of the largest petroleum refinery in Turkey (Note: There is no any real chimney in Tüpras Refinery like the one considered in this study). From the interactive web application of the Turkey Earthquake Risk Map (Fig.5) [13], the parameters relevant for the dynamic analysis of the 120 m high RC chimney is obtained.

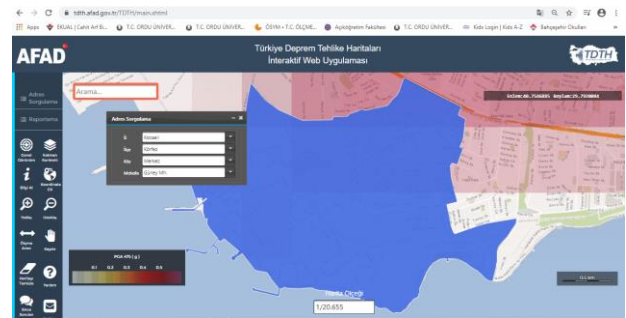


Figure 5. Turkey Earthquake Risk Map Web Application [13]

From the reporting part of this application cited above, for DD-2 earthquake ground motion level and ZA local site class, a detailed report is obtained. DD-2 is denoting the earthquake ground motion level that have the probability of exceedance 10 % (repetition period 475 years) over 50 years. Also, for the considered chimney, soil-structure interaction is not taken into account. Therefore, ZA soil type (sound, hard rock) is preferred for the dynamic analysis. For the soil and earthquake ground motion level cited above, the parameters S_{DS} and S_{D1} are determined as 1.336 and 0.364, respectively. The obtained horizontal design spectrum is provided in Fig.6.

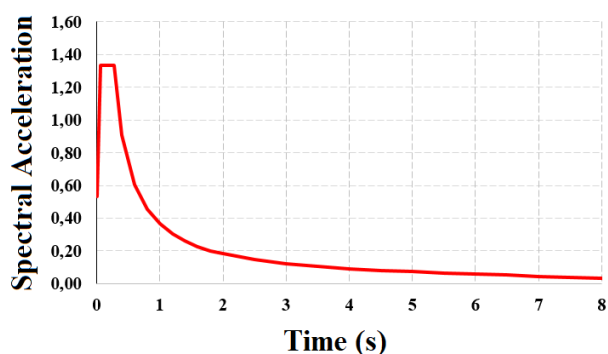


Figure 6. Horizontal design spectrum obtained for 120 m high chimney

The horizontal design spectrum given in Fig.6 is applied to 120 m high chimney by using SAP2000 structural analyses software. The modes are combined with complete quadratic combination (CQC) method. At the end of the dynamic horizontal design spectrum analysis, the displacement at the top of the chimney is obtained as 0.23 m (23 cm). Also, the reaction at the base of the considered chimney is obtained as 14764 kN.

ACI 307/98 [14] specifies a deflection criterion for the maximum lateral deflection of the top under all service conditions prior to the application of load factors. This is represented in Eq.(7).

$$Y_{max} = 3.33 \cdot h \quad (7)$$

In Eq. (7), Y_{max} is denoting maximum deflection in mm and h is denoting the height of the chimney in meters. According to ACI 307/98, the maximum deflection limit of the chimney can be calculated in Eq.(8).

$$Y_{max} = 3.33 \cdot 120 = 399.60 \text{ mm} = 39.96 \text{ cm} \quad (8)$$

It can be clearly identified that the top deflection of the considered chimney under the spectrum defined in Turkish Building Earthquake Code (2018) is lower than the top deflection limit provided in ACI 307/98.

6. Conclusions

In this study, the dynamic horizontal seismic spectrum analysis of a 120 m high RC chimney is performed by utilizing a recently published code, Turkish Building Earthquake Code (2018) [9]. The novelty of this code is to provide earthquake accelerations on the basis of the location that the structure is constructed. To do that, firstly, the location of the structure is determined on the interactive web application of the Turkey Earthquake Risk Map [13]. After that, the relevant parameters such as S_{DS} and S_{D1} are determined for constructing

the horizontal seismic design spectrum. At the end, the spectrum analysis is performed by using the structural analysis software SAP2000.

On the basis of the dynamic seismic spectrum analysis, the displacement at the top and the reaction at the base of the considered chimney is obtained as 0.23 m (23 cm) and 14764 kN, respectively. Also, the top displacement obtained from the dynamic seismic spectrum analysis (Turkish Building Earthquake Code 2018) is compared with the one (limit deflection) provided in ACI 307/98. Depending only on the top deflection comparison, the considered 120 m high RC chimney can be considered as safe. However, as these kind of tall and slender structures, these linear dynamic seismic analyses should be compared and supported with nonlinear seismic analyses.

Acknowledgement

This study is dedicated to the venerable memory of our greatest and wise teacher Prof. Dr. Ing. Ahmet Durmuş.

References

- [1] AFAD, Turkey Earthquake Risk Map 2018. <https://depem.afad.gov.tr/depem-tehlike-haritasi?lang=en> (Last Accessed: 20.01.2020)
- [2] Takeda, T., Sozen, M. A., Nielsen, N. N. (1970). Reinforced concrete response to simulated earthquakes. *Journal of the Structural Division*, 96(12), 2557-2573.
- [3] Saiidi, M. (1982). Hysteresis models for reinforced concrete. *Journal of the Structural Division*, 108(5), 1077-1087.
- [4] Wilson, J. L. (2003). Earthquake response of tall reinforced concrete chimneys. *Engineering Structures*, 25(1), 11-24.
- [5] Zhou, C., Zeng, X., Pan, Q., Liu, B. (2015). Seismic fragility assessment of a tall reinforced concrete chimney. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(6), 440-460.
- [6] Karaca, Z., Türkeli, E., Günaydın, M., Adanur, S. (2015). Dynamic responses of industrial reinforced concrete chimneys strengthened with fiber-reinforced polymers. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(3), 228-241.
- [7] Türkeli, E., Karaca, Z., & Ozturk, H. T. (2017). On the wind and earthquake response of reinforced concrete chimneys. *Earthquakes and Structures*, 12(5), 559-567.

- [8] Jiang, Y., Liu, T., & Bai, Y. (2020). Earthquake Response Analysis of Tall Reinforced Concrete Chimneys considering Eccentricity. *Shock and Vibration, 2020*, 1-21.
- [9] Disaster & Emergency Management Authority (2018). Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018).
- [10] Türkeli, E. (2009). *Analyzing wind effects on slender reinforced concrete chimneys and calculation of these structures according to wind loads* (Master of Science Thesis, Civil Engineering Department, Turkey, Ondokuz Mayıs University).
- [11] Wilson, EL. (2000). *Sap 2000: Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures*. Computers & Structures: Berkeley, CA.
- [12] Sezen, H., Acar, R., Dogangun, A., Livaoglu, R. (2008). Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets. *Engineering Structures, 30*(8), 2253-2264.
- [13] Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) (2018), Turkey Earthquake Risk Map (Web Application).
- [14] ACI (American Concrete Institute) (1998). *ACI 307/98 with Commentary. Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys*. ACI: Farmington Hills, MI.

Usage of Obsidian (Igneous Energy) in Both Radiation Detection and Fixed-Target Machine in Discovery of Subatomic Particles

Oğuzhan DERVIŞAĞAOĞLU¹

¹ Ege University, Nuclear Sciences, Nuclear Sciences, 35030, Izmir

(Alınış / Received: 14.03.2020, Kabul / Accepted: 02.04.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Keywords

Obsidian
Volcanic
Amorphous
Radiation Detectors
Fixed-Target Machine

Abstract: Obsidian is amorphous material which contains SiO₂ compound and also is to be taken out from volcanic mountains. 75% of obsidian comprises quartz. Quartz is the required material to observe the piezoelectric effect. Obsidian originally comes from the mantle of the earth crust. When it contacts with oxygen in the air, it solidifies suddenly with no any opportunity that switches to crystallized state. Because of that reason, it becomes amorphous silica. If some chemicals such as fluorine or hydrogen with respect to semiconductors process is connected into silicon (a-si:H) that let to see photoconductivity property will be revealed. Radiation detectors have an ability of absorption. In this article, obsidian is debated on whether it can be useful for radiation detection as an absorber or not and furthermore, is evaluated if obsidian is focused on the fixed target machine as stationary target area related with the discovery of subatomic particles.

1.Introduction

Obsidian mostly contains quartz. Therefore, some acknowledgements should have given about quartz material. The chemical formula of it is SiO₂ Which is quite similar to obsidian. 46.5 % of quartz is Si and 53.3% of it is O. Degree of the hardness of quartz is 7 according to the Mohs Scale, specific gravity is 2.65, melting temperature of quartz is 1785°C. Because of it has Fe₂O₃ and Al₂O₃ compounds that give an opportunity to see its applications in industrial areas such as optics, electronics and making of ornamental stone [1].

Quartz can decrease the melting point of dross which comprises volcanic rock such as obsidian. Amorphous silicon with H is quite crucial for the development of solar cells and crystal of Si must be in high purity when it is applied in the making of solar energy sources. So, an experiment such as GDD(Glow Discharge Decomposition) in another saying is PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Decomposition) has been applied. The most efficient advantage of amorphous semiconductor crystals is to provide large films to squeeze into an amorphous state very easily [2]. Purification of obsidian should have been considered. The purification process is quite important for many

areas such as electronics, ceramics, metallurgy and paint. Physical and chemical process on removal iron from quartz is necessary to provide pure quartz material. Due to this reason, the logic of purification process on obsidian should have been exploited and then, the removal of iron and other mineral grains let to go on the process of hydrogen or fluorine adding to make pure silicon which boosts its own photoconductivity. N or P semiconductor doping will be used depending on neutron and proton numbers in silicon of obsidian material. a-Si:H semiconductors is generally used in the making of solar cells. H is a parameter of photoconductivity is revealed. On the other hand, Fixed-Target Machine(FTM) has a tremendous effect on the discovery of subatomic particles which helps to evaluate the nature of a universe where all living beings as utterly minor parts have been surviving for billions of years. Obsidian can be a good candidate for being a target in Fixed- Target Machine detector to create subatomic particles such as hadrons.

2. Optical Properties of Obsidian and Nuclear Solid-State Detectors

Research of black and brown obsidian has been done by Scientists [3] which is related to both optical properties and natural radioactivity. In this study, obsidian is defined as aluminosilicate glass which contains iron impurities and some tiny particles. It is formed as felsic lava extruded from a volcano cools suddenly that does not allow the atoms to recombine themselves in the crystalline state [4]. As a result of this study, black obsidian has rapid absorption to assign to band gap then brown obsidian has. Under 400 nm spectrum of wave length black obsidian has rapid absorption. So, if obsidian material put in the process the removal of iron and other mineral grains and adding H, photoconductivity level will be increased. Pure silicon of obsidian can be useful as semiconductor detector in low wavelength and in high frequency (Photon energy).

Semiconductor detectors are responsible to operate through the promotion of electrons from the valence band to the solid conduction band as a result of incident particle scattering into solid. The absence of an electron in the valence band behaves like a positron (hole). Electron-hole pairs play a role of electron-ion pairs in gas detectors. In the presence of externally applied electric field electrons and holes separate and collect at electrodes. Most the semiconductors are made from silicon. When ionization radiation sent through semiconductor materials such as Si or Ge, charge carrier can occur in the semiconductor material and supply voltage, the electric field comes out electron-hole pairs go vice versa direction and finally observe current and this current increased in photomultiplier [19]. Obsidian has become silicate if it's converted to pure Si and when some doping atoms are connected to itself with respect to neutron-proton numbers that can be a candidate as a detector for usage of radiation applications. There are three different way to evaluate of gamma rays nature to create electrons in active material which are; photoelectric effect, Compton scattering and pair production. The electric charge was devised by collecting of incident gamma photons in semiconductor detectors. When the amorphous semiconductors are compared to single crystals, they have the tremendous advantage of complicated geometries, flexibility properties in compositional and efficient electronic control. The disadvantage about amorphous semiconductors is to carry less charge mobility with respect to disordered state. Obsidian as a natural glasses were emerged from earth crust, in meteorites. In a study, Tektite and obsidian have been acclaimed as crucial in the category of natural glasses [5].

Obsidian can be evaluated as an amorphous semiconductor which is being a nuclear detector. Amorphous detectors can be an efficient tool for room-temperature detection of radiation. Obsidian

has an important ability to record nuclear fission product. These types of glasses are called as solid-state nuclear track detectors. Originally, the first application of SSND has been carried out by a scientist called Young in 1958. He discovered that lithium fluoride crystals have been irradiated with thermal neutrons which were held from uranium oxide films [6]. Detection of charged particles can not be confined with the discovery of solid-state nuclear track detectors. Charged particles are going through dielectric materials such as inorganic glasses and plastics. These particles have an impact to create continuous damage as submicroscopic trails which are called latent track in the path where they are passing on. The latent track can be observed under a transmission electron microscope for scientific studies which are related to nuclear radiation physics. There is a correlation between both electrical resistivities of materials and the ability of storage tracks. Different materials demonstrated different sensitivities for nuclear particles. Usage of SSND has been expanded into many majors such as nuclear physics, cosmology, biology, material science, radioactivity, etc. SSND can be described as amorphous silicate which is mentioned before in the previous chapters such as quartz, feldspar, mica and glasses (obsidian) were discovered again in 30 years ago [7]. Most of the natural substances such as minerals have been using as solid state detectors. However, these substances are utterly crucial for applied sciences and not only give an advantage in fewer electronics, present inexpensive budget but also they are useful and aidful which can be applied in many fields for new discoveries [8].

SSND has been a tremendous role of performing detection of fission fragments in the existence of light charged particles of gamma photons and furthermore, heavy charged nuclear reactions are necessary such as alpha particles. They have an advantage about the determination of measurement fission decay constant for heavy radionuclides [9]. Organic polymers are known to be sensitive trail detectors and some of them can produce latent tracks which are occupied by alpha particles, deuterons, etc. According to studies which are made effort as cosmic rays have demonstrated that trail detectors have well threshold damage density under with tracks are not produced [10]. The heavy nucleus is an important subject over nuclear detectors. Uranium breaks up through fission fragments by solidification of some glasses such as obsidian. If uranium comprise is known well, the age of solidification of material can be obtained as in geochronology applications. This is known as fission track dating which is used in the much more branches such as archeology and cosmology [11]. Plastic track detectors have been very useful prospecting of uranium/thorium. Radon and thoron sensitive detectors have been used in prediction of the jolt of ground called as earthquake [12]. Studies in cosmology have been carried out by measuring fluxes of cosmic rays and luna samples

have been giving a product with respect to thermal histories on the moon [13]. Trail analysis of meteoritic materials in lunar demonstrated us to evaluate subjects of; erosion on the surface of lunar and mass loss caused by ablation, fluxes of cosmic ray particles were seen in different time periods. SSTD can make these studies possible in cosmology by gathering data about the thermal and radiation subject of meteorites [14]. Solid-state nuclear track detectors have been using the determination of natural radioactivity on some elements such as uranium, thorium, boron, lithium, polonium, and etc. An incident particle which comes from the sample which would be solid as rock can emit weak gamma photons of some radionuclides which are mentioned before [15]. Fleisher et. al, have [8] made a research on the kinematics of gases in the region of the earth crust. SSNTD can be used for the fining of magnetic-optics iron. Latent tracks can be a parameter to evaluate changing magnetic properties such as iron garnets. Studies of nuclear track detections which are related to magnetic iron garnets can furthermore, a guide for evaluation of latent tracks in crystal structure [16]. Other applications of SSNTD will be the subject which is the radiobiology of plutonium. SSNTD has had an ambition and has had responsible for the mapping of plutonium concentrations [17]. The disordered atomic structure has been exposed to in the usage of hard x-ray among 60-300 keV related with the study of diffraction has various advantages which are; upper resolution in target space, comparison between x-rays and neutron data. The study of amorphous silica has been carried out at 95keV and synchrotron beamline in HASYLAB [18]. When all chemical and physical removal of O₂ and Fe, Al in obsidian and doping H or F for increasing photoconductivity is done, obsidian can be used for radiation detection as amorphous silicon nuclear detectors.

3. Fixed-Target Machine Detectors (FTMD)

Cyclic accelerators might be divided into a fixed-target machine and colliding beam machines. Particles in the fixed-target machine are accelerated to the highest operation energy and the beam is extracted from machine and directed through a stationary target which can be solid or liquid. Large colliders such as tevatron and relativistic heavy ion collider (RHIC) are located in Brookhaven National Laboratory, USA. In RHIC machine is capable of accelerating of heavy ions to high energies. There are several stages before ions are injected into machines. Two counter-circulating beams controlled by two 4 km rings of superconducting magnets and are accelerated to an energy of 100GeV/ nucleon. Gold ions are accelerated to understand of matter with extreme energy densities such as quark gluon plasma [19].

In a matter, quarks are confined within hadrons which can be thought of as a bound state of both protons and neutrons. Aquark- gluon plasma is believed to have existed in the first few microseconds after the big bang

and it can exist at the center of neutron stars. When a specific example has been given, two heavy nuclei collide at high energies and interact via of gluon field, gluon and quarks deconfine and a form plasma that can radiate photons and lepton pairs. When the plasma cools that hadrons are emitted. This experiment is still questioned about the situation on what conditions are obligated to make quark-gluon plasma [19]. Inelastic electron scattering has a role of quark determination and elastic electron scattering is responsible for the determination of proton's energy.

4. Results

Data about obsidian has been given. Obsidian should have undergone to both physical and chemical process. Physical process contains magnetic separation and chemical separation of iron can be elucidated by oxalic acid. The next step will be doping H or F into obsidian to increase photoconductivity. Atoms in semiconductors are crowded and some disorders were occupied. If light or electromagnetic beam collide into the surface of semiconductors will gain more conductivity. Amorphous obsidian with the chemical removal process of Fe and Al is more useful in the making of radiation detectors. Fig 1., [3] has demonstrated that obsidian material have been sent to the process of thermoluminescence(TL) which is necessary to understand of interaction between light and matter and black obsidian under 400nm can pass easily band gap in high photon energy.

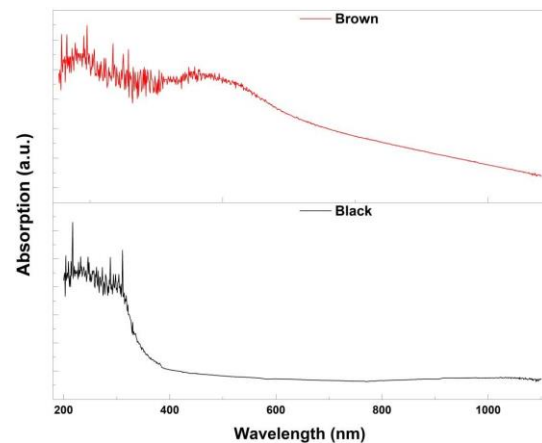


Fig.1. Wavelength of obsidians with respect to absorption

Furthermore, obsidian can be a stationary solid target as an absorber in fixed target machines. In Cern, proton-dark matter, electron-dark matter scattering experiments are carried out in the area with a range of 110 km. Charged particles should have been accelerated through a stationary target which is obsidian to understand what type of subatomic particle is existed after the experiment. Type of obsidian can be questioned and need to determine whether pure amorphous obsidian is used or not for the discovery of subatomic particles. When obsidian put into inelastic electron scattering, quarks can be

observed. In CERN, electron-dark matter scattering, electron- hadron scattering and proton-dark matter scattering experiments have been carried out by scientists(Fig.2),[20]. Protons are collided through in magnetic force and hit the stationary target to observe neutrino which is related to dark matter. Obsidian can be a stationary target as an absorber to merge subatomic particles as baryons in the fermionic hadrons group.

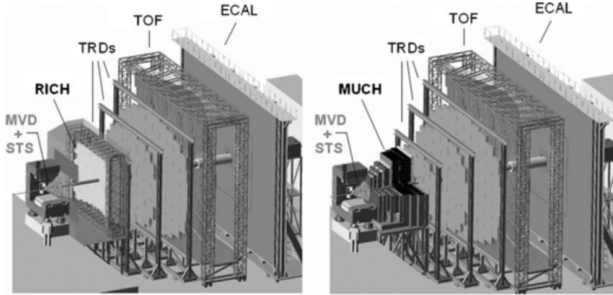


Fig.2. Fixed-Target machine for electron – hadrons experiments

In this paper, some of the study about quartz, chemical and physical removal of iron or other matters with oxalic acid is explained briefly. The main character which is obsidian with these processes can be pure and doping hydrogen or fluorine will provide photoconductivity for obsidian reaches more conducting properties. That is a crucial situation to make obsidian as an absorber in the detector that connected with photomultiplier tube in radiation detection. In high energy physics topics, accelerators such as in FTM, obsidian should be stationary targets to observe subatomic particles. The writer of this paper had drawn a scheme about obsidian is integrated into mechanism of the electric supplier in a straight line 6 years ago. This paper has been written as pure research.

References

[1] İpekoğlu, B.; “Kuvars, Kuvarsit, Kuvars Kumu”, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri, (1999), 102-106 pages

[2] Ruud E.I. Schropp, M.Zeman, “Amorphous and Microcrystalline Silicon Solar Cells: Modeling, Materials and Device Technology”, Kluwer Akademik Yayınevi, Boston (1998).

[3] Cengiz G.; Caglar I.; Bılır G.,Optical Properties and Natural Radioactivity Levels of Turkish Natural Obsidians,Vol 6,(2019), pages 138-141.

[4] Chataigner, C.; Işıklı, M.; Gratuze, B.; Çil, V.; Obsidian Sources in the Regions of Erzurum and Kars (North-East Turkey): New Data. *Archaeometry* **56**(3), (2014), 351-374 pages.

[5] Guo S. L.; Chan B. L.; Durrani S. A, Chapter 4 - Solid-State Nuclear Track Detectors, *Handbook of Radioactivity Analysis (Third Edition)* (2012), Pages 233-298 pages.

[6] Bhagwat A. M., *Solid State Nuclear Track Detection: Theory and Applications*, Indian Society for Radiation Physics, (1993), 1-34 pages.

[7] Sijk, E.C.H. and Barnes, R.S., Examination of fission fragment tracks with an electron microscope, *Phil. Mag.* **4**, (1959) 970- 972 pages.

[8] Fleischer RL, Price PB, Walker RM: The Ion Explosion Spike Mechanism for Formation of Charged Particle Tracks in Solids. *J Appl Phys*, **36**,(1965), 3645-3652 pages.

[9] Roberts JH, Gold R, Armani RJ: Spontaneous Fission decay Constant of ²³⁸U. *Phys Rev*, (1968),1482-1484 pages.

[10] Flerov GN, Pereygin VP, Otgonsuren O, On the origin of Tracks of Fission Fragments in Lead Glasses. *At Energ*, (1972), **33**:979- 984 pages.

[11] Durrani SA, Khan HA: Annealing of Fission Tracks in Tektites: Corrected Ages of Bediasites, *Earth Plant Sci Lett*, (1972), **9**:431- 445 pages.

[12] Campero AM, Fleischer RL, Likes RS: Changes in Subsurface Radon Concentration Associated with Earthquakes. *Jr Geophysical res*,(1980), **85**: 3053-3057 pages.

[13] Faul H, Wagner GA: Fission Track Dating, in *Dating Techniques for the Archaeologist* HN Michael and EK Ralph (eds), Cambridge: MIT Press, (1971), 152- 156 pages.

[14] Macdougall JM: *Meteoritics*,(1975), **10**:449 pages.

[15] Bodu R, Bouzigues H, Morin N, Pfiffelman JP: On the Existence of Amomalous Isotopic Abundances in Uranium from Gabon. *Compt rend Paris*, (1972), **275**:1731-1732 pages.

[16] Hansen P, Heitmann H, Smit PH: Nuclear Tracks in Iron Granet Films. *Phys Rev*, (1982), **B26**:3539 pages.

[17] Khan HA, Brandt R, Hirdes D, Tress G, Dersch G, Jamil K: Use of Mica Nuclear Filter in the development of a Background Free Radon Presonnel Dosimeter. *Journal of Aerosol Science*, (1983), **14**:232-237 pages.

[18] Poulsen H. P., Neufeind J., Neumann H. B., Schneider J. R., Zeidler M. D., Amorphous silica studied by high energy X-ray diffraction, *Journal of non- crystalline solids* **188**(1,2), (1995), 63-74 pages.

[19] Martin, B.R.; Shaw G.; *Particle Physics 3 rd Edition* ISBN 978-0-470-03293-0.(cloth),ISBN 978-0-470-03294-7(Pbk.),(2008).

[20] Heuser J.M.; Ivanov V.V., The Compressed Baryonic Matter experiment at FAIR: physics of strangeness and charm, status of preparations, In *Journal of Physics G Nuclear and Particle Physiscs* **35**(35),(2008).

Kalsitin Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi

İlknur BEKEM KARA*¹

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 08000, Artvin

(Alınış / Received: 12.06.2020, Kabul / Accepted: 26.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Beton
Çimento
Dayanım
Kalsit

Özet: Çimento üretimiyle ilişkili çevre sorunlarının temelinde; enerji tüketimi ve ortaya çıkan fabrika emisyonları bulunmaktadır. Çimentonun çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen pek çok araştırmada ikame yöntemiyle kullanılan malzemelerin dayanım ve dayanıklılık gelişimine olumlu etkisi olduğu bildirilmektedir. Bu bağlamda, tüketilen çimento miktarı azalırken diğer taraftan eşit veya daha üstün özelliklerde çimento esaslı kompozitler elde edilebilmektedir. Çalışmada mikronize kalsit %0, %3, %5 ve %10 oranlarında ağırlıkça çimentoya ikame edilmiştir. Farklı oranlarda kalsit minerali ile elde edilen taze betonların çökme değerleri belirlenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler ise su emme, ultrases geçiş hızı, Schmidt çekici ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak kalsitin %10'a kadar kullanımının betonun basınç dayanımı artırdığı belirlenmiştir.

Effect of the Use of Calcite as a Substitute for Cement on Compressive Strength

Keywords

Concrete
Cement
Strength
Calcite

Abstract: The environmental problems associated with cement production are based on energy consumption and resulting factory emissions. In many studies carried out in order to reduce the environmental effects of cement, it is reported that the materials used by substitution method have a positive effect on the development of strength and durability. In this context, while the amount of cement consumed decreases, on the other hand, cement-based composites with equal or superior properties can be obtained. In the study, micronized calcite was substituted into cement by weight at 0%, 3%, 5% and 10% ratios. The subsidence values of the fresh concrete obtained with calcite mineral were determined at different rates. The sedimentation values of fresh concrete obtained with calcite mineral substituted in different proportions were determined. Hardened concrete samples were subjected to water absorption, ultrasound transition speed, Schmidt hammer and compressive strength tests. As a result, it was determined that the use of calcite up to 10% increases the compressive strength of concrete.

1. Giriş

Kalsit (CaCO_3) dünyadaki en yaygın minerallerden olup, yer kabuğunun yaklaşık %4'ünü oluşturmaktadır [1]. Kalsit, karbonatlı kayaların (kireçtaşı, mermer, tebeşir) ana mineralidir. Türkiye'de kalsit için hammadde temini inşaat sektöründe kullanılmaya elverişsiz mermer yataklarının açık işletilmesiyle yapılmaktadır. Avrupa

ve bazı diğer ülkelere göre Türkiye'de kaliteli hammadde temini nispeten daha düşük maliyetlerde üretilmektedir. Endüstriyel olarak mikronize kalsit birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de çeşitli tane dağılımında ve beyazlıkta üretilen mikronize kalsitin teknik özellikleri Tablo 1'deki ortalama değerlere sahiptir [2].

Tablo 1. Mikronize kalsitin ortalama değerleri.

Kimyasal özellikler				
Oksitli bileşenler	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
%	96-98	0.2	0.2	2 Maks.
Beyazlık (El Repho 2000)	95 Min.			
Tane dağılımı				
Kullanılan sektör	-2 mikron %	Ortalama tane D ₅₀	En büyük tane D ₉₇ %	
Boya (Genel)	32-34	3.5	36	
Boya (ince)	55-60	1.6	12	
Kâğıt (Dolgu)	42-44	3	18-20	
Kâğıt (Kaplama)	80-90	1.0	6-8	
Plastik (Dolgu)	32-34	3.5	36-38	
Plastik (Kaplama)	42-44	3.2	18-22	
Plastik (Pencere)	70	1.6	10	

Türkiye kalsit kalitesi ve rezervleri bakımından zengin bir ülkedir. Öğütülmüş kalsitin çimento esaslı malzemelerde kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Prativi vd. (2020) kalsitin çimentonun hidrasyonunu hızlandırdığını belirlemişlerdir [3]. Bir başka çalışmada ise, kalsitin ana bileşeni kalsiyum karbonatın çimento ile olan reaksiyonunun düşük olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca, kalsitin kullanımı ile çimento esaslı malzemelerin iyileşmesi kalsitin fiziksel ve kimyasal etkisi ile açıklanmaktadır [4], [5].

Çimento, harç ve betonun ana bağlayıcı malzemesi olup, çimentonun kısmi olarak ek malzemeler ile değiştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Buradaki amaç, çimento üretimi, diğer beton bileşenlerinin üretiminden daha fazla enerji gerektirir ve sera gazı yayıcı olduğundan, sürdürülebilir beton üretiminde ek malzemeler ile çimento miktarını en aza indirmektir [6]. Kalsit içerikli kireç taşı tozu ve mermer tozunun beton üretiminde kullanımına ilişkin literatürde birçok çalışma mevcuttur [7]–[9]. Ayrıca, portland kireçtaşı çimentosunun içeriğinde EN 197-1 standardı %35'e kadar, ASTM C595 standartında ise %15'e kadar kireçtaşı kullanılmasına izin verilmektedir [4], [10]. Kalsitin ikame olarak kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise araştırmaların özellikle nano CaCO₃ üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Nano malzemelerin üretimi maliyet gerektiren işlemler gerektirmektedir [11]. Endüstriyel bir ürün olan mikronize kalsit ile yapılan çalışmalar ise az sayıdadır. Mikronize kalsit ile uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlar incelendiğinde, mikronize kalsitli betonlarda işlenebilirlik kaybı ve priz hızlandığı görülmüştür. Kalsitli betonların erken yaş dayanım gelişimi uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlardan daha hızlı, ileri yaş dayanım değerindeki artışın ise düşük olduğunu belirlemişlerdir [12]. Mikronize kalsit ile yapılan diğer bir çalışmada ise mikronize kalsit çimento ile %10 ve %20 oranlarında yer değiştirilerek taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Mikronize kalsitin, taze beton özellikleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Mikronize kalsit katkılı betonların erken yaşlardaki basınç

dayanımları, şahit ve uçucu kül katkılı betonlara oranla daha yüksek çıkmıştır. Ancak, ileri yaşlarda mikronize kalsit katkılı betonların basınç dayanımı, aşınma ve geçirgenlik dirençlerinin daha düşük olduğu görülmüştür [13].

Çimento sudan sonra en çok tüketilen yapı malzemesidir. Üretimi için ise yüksek enerji harcanmakta, bu nedenle betonu oluşturan malzemeler içinde maliyeti en yüksek ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca CO₂ salınımı ile çevre ve insan sağlığına zararlı etkileri de bulunmaktadır [14], [15]. Çimentonun zararlı etkilerinin azaltılması için mineral tozların çimentoya ikame edilmesi yaygın olarak araştırılmaktadır. Çimentoya ikame edilen malzemeler beton üretiminde gerekli olan çimento miktarının azaltılmaktadır. Böylelikle daha ekonomik ve çevreci beton üretimi yapılabilmektedir.

Kalsitin çimento ile kısmi olarak değiştirilmesi ile yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, kalsit bu çalışmalarda çimento ağırlığının %10'u ve üzerinde oranlarda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar genellikle erken yaşlarda kalsit içermeyen karışımlardan yüksek dayanım sağlamasına rağmen ileriki yaşlarda daha düşük dayanım değerleri elde edilmesine yol açmıştır. Bu çalışmada beton üretiminde mikronize kalsit %0, %3, %5 ve %10 oranlarında çimentoya ağırlıkça ikame edilerek farklı beton türleri üretilmiştir. Beton numuneler üzerinde su emme, tahribatsız deneyler (Ultras ses geçiş hızı ve Schmidt çekici) ve basınç dayanımı deneyi ile ölçümler yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

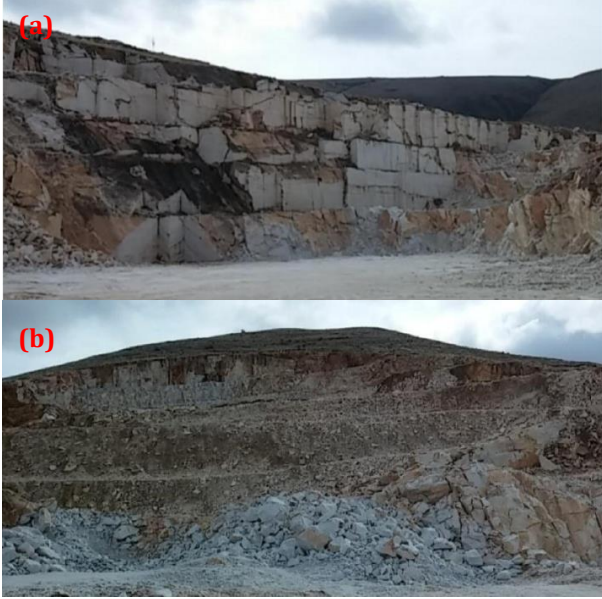
Çalışma sürecinde CEM I 42.5 R çimentosu, Kırşehir Çayırdağı bölgesine ait kalsit, kalker kırmataş agrega ve şehir şebeke suyu ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Analiz	Deneyler	Değerler
Fiziksel	Yoğunluk, gr/cm ³	3.12
	Özgül yüzey, cm ² /g	3320
	45 µm elek üstü, %	1.1
Kimyasal	Oksitler	
		%
	SiO ₂	18.86
	Al ₂ O ₃	4.98
	Fe ₂ O ₃	2.96
	CaO	63.02
	MgO	1.71
	SO ₃	2.93
	Na ₂ O	0.25
K ₂ O	0.75	
Kızdırma kaybı		3.7

Kalsit Kırşehir Çayağzı bölgesinde mermer ocağını işleten OMYA Madencilik A.Ş.'den temin edilmiştir. Çayağzı mermer sahasında daha önceleri faaliyet gösteren blok mermer üretimi durdurulmuş olup,

sahanın kırık ve çatlaklı olmasından dolayı günümüzde mikronize kalsit üretiminde kullanılmak üzere OMYA Madencilik tarafından taş ocağı (mikronize kalsit) olarak faaliyetine devam etmektedir. Taş ocağının eski ve yeni görünümü Şekil 1'de görülmektedir [16].



Şekil 1. Kalsit ocağı (a) eski (b) yeni görünümü

Öğütülmüş temin edilen ve %98.5'i CaCO₃ (Kalsiyum karbonat)'tan oluşan kalsitin yoğunluğu 2.70 g/cm³'tür. Mohs skalasına göre sertliği 3 olan öğütülmüş beyaz renkli kalsit mineralinin maksimum partikül boyutu 45 µm'dur.

Agrega Kırşehir'in Kaman ilçe sınırlarında içerisinde işletilen taş ocağından temin edilmiştir. Taş ocağında üretimi yapılan agregalar 0-4, 4-11, 11-22 mm'dir. Çalışma sürecinde agregaların tane büyüklüğü dağılım analizi yapılmış ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir [17], [18]. Agregaların tane büyüklüğü dağılım analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Agregaların tane büyüklüğü dağılımı [17], [18].

Elek açıklığı, mm	Elekten geçen, %			Deneysel Agregası
	TS 706 EN 12660+A1			
	Alt limit	Orta limit	Üst limit	
31.5	100	100	100	100
16	62	80	89	82
8	38	62	77	64
4	23	47	65	50
2	14	37	53	36
1	8	28	42	26
0.5	5	18	29	21
0.25	2	8	15	10

Agregalara ait fiziksel özellikler belirlenmiş olup Tablo 4'te verilmiştir [19].

Tablo 4. Agregaların fiziksel özellikleri [19].

Deneyler	Agrega tane boyutu, mm		
	0-4	4-11	11-22
Görünür yoğunluk, g/cm ³	2.70	2.73	2.73
Etüv kuru yoğunluk, g/cm ³	2.31	2.66	2.66
Doygun yüzey yoğunluk, g/cm ³	2.46	2.68	2.69
Su emme, %	6.15	1.01	0.92

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi modifiye naftalin sülfonat ve polimer esaslı olup, TS EN 934-2 yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkı normuna uygundur [20]. Bütün beton türlerinde bağlayıcı miktarının ağırlıkça %1.5'i olacak şekilde sabit miktarda kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcıya ait özellikler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Kimyasal katkı maddesine ait özellikler.

Özellikler	Değerler
Yoğunluk	1.19, kg/l
pH	7.56

%0 (Referans), %3, %5 ve %10 oranlarda çimentoya ikame kalsit içeren betonlara ait malzeme miktarları Tablo 6'da görülmektedir. Üretilen betonların kıvamlarındaki değişimin belirlenmesi amacıyla Su/Bağlayıcı oranı tüm karışımlarda sabit tutulmuştur [21], [22].

Tablo 6. Beton türlerine ait malzeme miktarları.

Malzemeler	Kalsit ikame oranları			
	%0	%3	%5	%10
	Beton türleri			
	K0	K3	K5	K10
Çimento, kg	320.0	310.4	304.0	288.0
Kalsit, kg	0	9.6	16.0	32.0
Su, l	185	185	185	185
Katkı maddesi, kg	4.8	4.8	4.8	4.8
0-4 mm agregası, kg	957	957	957	957
4-11 mm agregası, kg	306	306	306	306
11-22 mm agregası, kg	585	585	585	585

Karışım için gerekli malzemeler laboratuvar tipi mikserde aynı sürelerde karıştırılmıştır. Karışım sırasında hava ve taze beton sıcaklığı ölçülmüştür. Taze betonlar üzerinde işlenebilirlik değerini belirlemek amacıyla çökme deneyi gerçekleştirilmiştir [23]. Taze betonlar 7., 28. ve 360. günlerde test edilmek üzere standart küplere (15x15x15 cm³) yerleştirilmiştir. Ertesi gün kalıptan çıkarılan beton örnekleri kür havuzunda test günlerine kadar bekletilmiştir.

%0, %3, %5 ve %10 oranlarında çimentoya ikame kalsit içeren betonlar sırasıyla K0, K3, K5 ve K10 olarak kodlanmıştır. K0, K3, K5 ve K10 sertleşmiş beton türleri üzerinde su emme, tahribatsız deneyler ve tek eksenli basınç dayanımı ile ölçümler yapılmıştır. Su emme, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici deneyleri 7. ve 28. günlerde, tek eksenli basınç dayanımı deneyi ise 7., 28. ve 360. günlerde gerçekleştirilmiştir [24]-[27].

3. Bulgular

Kalsit ikameli taze betonlar üzerinde gerçekleştirilen çökme deneyi sonuçları Tablo 7'de görülmektedir. Elde edilen çökme değerleri K0, K3 ve K5 beton numunelerinde 15 cm, K10 beton numunesinde ise 14 cm olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Taze betonların çökme değerleri.

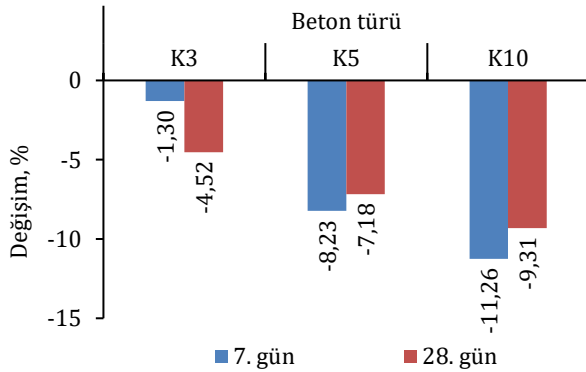
Ölçümler	Beton türleri			
	K0	K3	K5	K10
Hava sıcaklığı, °C	17.3	17.6	17.1	16.8
Beton sıcaklığı, °C	22.1	22.3	23.7	23.3
Çökme değeri, cm	15	15	15	14

K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin su emme oranları Tablo 8'de görülmektedir. En düşük su emme değeri K10 beton türünde, en yüksek değer ise K0 beton türünde olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Beton numunelerinin su emme oranları, %.

Beton türleri	Beton yaşı	
	7. gün	28. gün
K0	4.62	3.76
K3	4.56	3.59
K5	4.24	3.49
K10	4.10	3.41

Kalsit ikameli beton numunelerin (K3, K5 ve K10) kalsit içermeyen beton numunesine (K0) göre değişimleri yüzde olarak hesaplanmıştır. Kalsit içeren beton numunelerinin 7. gün su emme değerleri %1.30 ile %11.26 azalmıştır. 28. günde ise %4.52 ile %9.31 azaldığı belirlenmiştir. K3, K5 ve K10 numunelerinin su emme oranlarının K0 numunesine göre değişimleri Şekil 2'de verilmiştir.



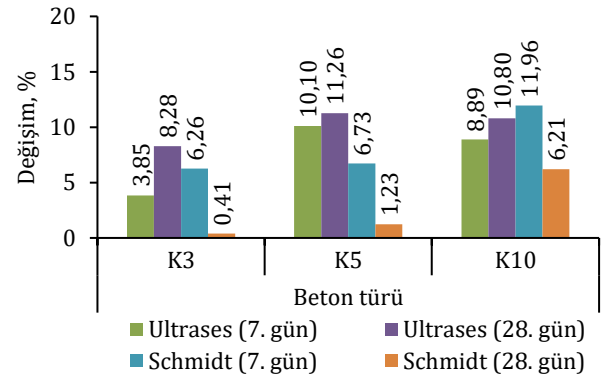
Şekil 2. K3, K5 ve K10 numunelerinin su emme oranlarının K0 numunesine göre değişimleri.

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde tahribatsız (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici) deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Tahribatsız deney sonuçları.

Beton türleri	Beton yaşı	Tahribatsız deneyler	
		Ultrases geçiş hızı, km/s	Schmidt çekici, Geri tepme sayısı
K0	7. gün	4.16	23.32
K3		4.32	24.78
K5		4.58	24.89
K10		4.53	26.11
K0	28. gün	4.35	26.89
K3		4.71	27.00
K5		4.84	27.22
K10		4.82	28.56

Schmidt çekicinde K10, ultrases geçiş hızı ölçümlerinde ise en yüksek değer K5 beton numunesinde görülmüştür. K3, K5 ve K10 numunelerinin tahribatsız deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri yüzde olarak Şekil 3'te hesaplanarak verilmiştir.



Şekil 3. K3, K5 ve K10 numunelerinin tahribatsız deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri.

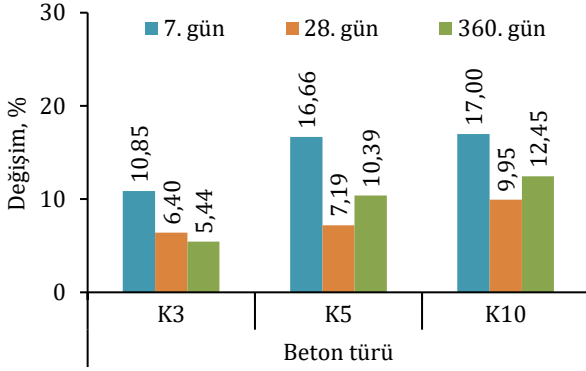
K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin ölçülen basınç dayanımı sonuçları Tablo 10'da görülmektedir. Çalışmada ikamesiz (%0) beton numunesinin 7. gün basınç dayanımının 23.77 MPa'dır. 7. günde kalsitin %3, %5 ve %10 ikame oranları ile ise sırasıyla 26.35 MPa, 27.73 MPa ve 27.81 MPa olarak ölçülmüştür. 28. günde ise kalsit ikamesiz ve ikameli bütün numunelerin hedef basınç dayanımını (C25/30) sağladığı ve en düşük basınç dayanımının K0 beton numunesine ait olduğu görülmüştür. 360. gün deney sonuçları incelendiğinde ise en yüksek basınç dayanımının 47.51 MPa ile K10 beton numunesine aittir.

Tablo 10. Basınç dayanımı deney sonuçları.

Beton türleri	Beton yaşı		
	7. gün	28. gün	360. gün
K0	23.77	30.16	42.25
K3	26.35	32.09	44.55
K5	27.73	32.33	46.64
K10	27.81	33.16	47.51

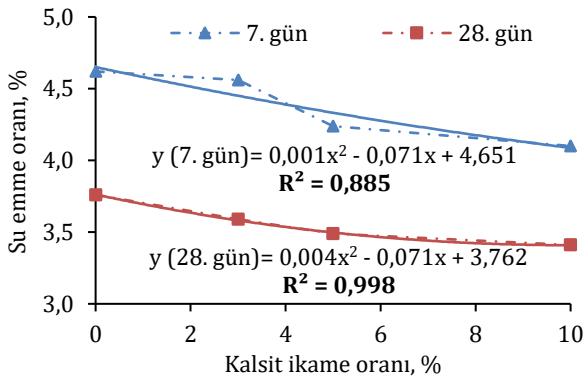
K3, K5 ve K10 numunelerinin basınç dayanımı sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri yüzde olarak Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı artışının erken yaşta (7. gün)

meydana geldiği görülmektedir. Kalsit ikamesi ile 7. günde %10.85-%17.00, 28. günde %6.40-%9.95 ve 360. günde %5.44-%12.45 aralığında basınç dayanımında artışların olduğu görülmüştür.

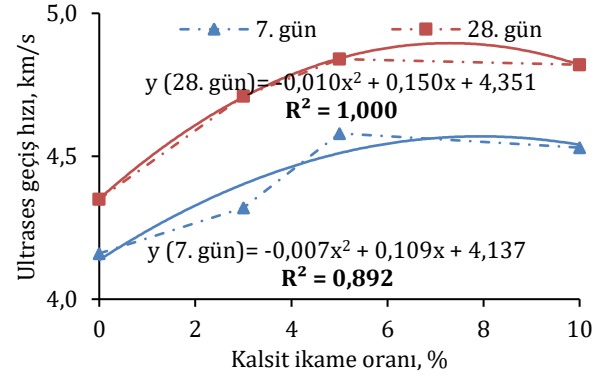


Şekil 4. K3, K5 ve K10 numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçlarının K0 numunesine göre değişimleri.

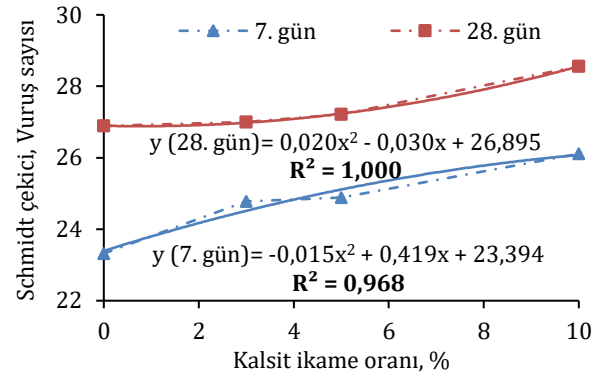
Çalışmada kalsitin ikame oranları ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Determinasyon katsayıları (R^2) belirlenerek değişkenler arası ilişki varlığı incelenmiştir. İkili parametreler arasındaki en iyi ilişki 2. derece polinom olarak saptanmıştır. 7. gün deney sonuçları ile elde edilen R^2 değerinin en küçüğü 0.885, en büyüğü ise 0.996'dır. 28. günde ise en küçük R^2 değeri 0.975, en büyük R^2 değeri ise 1.000 olarak belirlenmiştir. Su emme oranı, ultrases geçiş hızı, Schmidt çekici ve basınç dayanımlarının kalsitin ikame oranları ile olan ilişkisi Şekil 5-8'de görülmektedir.



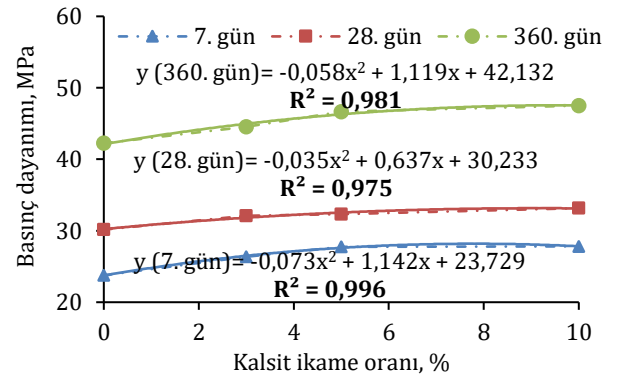
Şekil 5. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin su emme ilişkisi.



Şekil 6. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin ultrases geçiş hızı ilişkisi.



Şekil 7. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin Schmidt çekici ilişkisi.



Şekil 8. Kalsit ikame oranları ile beton numunelerin basınç dayanımı ilişkisi.

Elde edilen tahribatsız deney sonuçları ve basınç dayanımı sonuçları kalsitin betonun mekanik özelliklerini iyileştirebileceği yönündedir. Ayrıca tahribatsız deney sonuçları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler incelendiğinde deney sonuçları arasında yüksek korelasyon katsayılarının olduğu belirlenmiştir. Analiz edilen korelasyon katsayıları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. İkili deneylerin korelasyon katsayıları.

Basınç dayanımı-Su emme oranı (R^2)	- 0.979
Basınç dayanımı-Ultrases geçiş hızı (R^2)	0.875
Basınç dayanımı-Schmidt çekici (R^2)	0.960

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada beton türlerinde mikronize kalsit çimentoya ikame olarak %0 (K0), %3 (K3), %5 (K5) ve %10'u (K10) kadar karışıma girmiştir. K0, K3, K5 ve K10 beton türlerinin çökme değerleri 14 cm ve 15 cm ölçülmüştür. K10 beton türünde bir miktar işlenebilirlik kaybı görülmüştür. Bu durum karışıma çimentoya göre hacimce daha fazla eklenen kalsit miktarı ile açıklanabilmektedir. Beton üretiminde kalsitin çimentoya %10'a kadar ikame edilmesinin betonun işlenebilirliğine belirgin bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir [12], [13].

Betonun kalite değerlendirilmesinde genel olarak basınç dayanımı esas alınmaktadır. Ancak bu yöntem ile güvenilir bir değerlendirme yapmak için genellikle çok sayıda numune gerekli olabilmektedir. Kesin sonuçlar elde edilmemesine rağmen dolaylı olarak betonun bir takım özelliklerinin tahmini için günümüzde tahribatsız deneyler beton numunelerin değerlendirilmesinde çok sık olarak kullanılmaktadır. Örneğin; ultrases geçiş hızı betonun boşluk yapısı, Schmidt çekici ise yüzey sertliği ölçümlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir [28], [29]. Çalışmada tahribatsız deney sonuçları incelendiğinde tüm kalsit ikame oranlarında beton numunelerin Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızlarının arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre K0 numunesine göre K3, K5 ve K10 numunelerinin yüzeylerinin sertleştiği ve daha boşluksuz bir yapı meydana geldiği kanısına varılmaktadır.

Kalsitin ana bileşeni kalsiyum karbonattır. Kalsiyum karbonatın çimento ile olan düşük reaksiyonuna rağmen, çimentolu kompozitlerde olan iyileştirme etkisi mineralin partikül boyutu ile ilgilidir. Kalsitin kısmi olarak çimentoya ikame edilmesi ile betonun dayanımını arttırması karışımdaki mikro boşlukları doldurması (dolgu etkisi) ile açıklanabilmektedir [30], [31]. Ayrıca kalsit mineralinin hidrasyon hızlandırıcı etkisi de literatürden bilinmektedir [32]. Çalışmada kalsitin %3, %5 ve %10 ikame edilmesi ile betonun tüm yaşlarında referans (%0 kalsit) numuneden yüksek basınç dayanımının elde edildiği görülmüştür.

Kalsit içeren betonlardan elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki R^2 katsayıları belirlenmiştir. R^2 katsayıları incelendiğinde kalsit ikame oranları ile deney sonuçları arasında güçlü bir ilişki var olduğu görülmektedir. Ayrıca su emme oranı, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici deneylerinden alınan sonuçlar ile basınç dayanımı deney sonuçları arasında da ilişki varlığının güçlü olduğu görülmüştür.

Kalsit minerali birçok sektörde yaygın kullanılmakta ve kullanım alanına göre mevcut tesislerde farklı boyutlarda öğütülmektedir. Ayrıca kalsit esas itibarıyla çevre dostu bir üründür ve üretim aşamasında çevreye zarar verici bir kimyasal

kullanılmamaktadır [2]. Kalsitin endüstriyel olarak hali hazırda öğütülmüş olması ve basınç dayanımına etkisi birlikte değerlendirildiğinde kalsitin beton üretiminde değerlendirilebilir görünmektedir. Ancak betonda dayanım kadar dayanıklılığın önemli olduğu da bir gerçektir. Kalsit ikameli betonların dayanıklılığının da araştırılması ve olumlu sonuçların elde edilmesi sonucunda sürdürülebilir beton üretimi için kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] Heberling, F., Trainor, T. P., Lützenkirchen, J., Eng, P., Denecke, M. A. and Bosbach, D. (2011). Structure and reactivity of the calcite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 354(2), 843–857.
- [2] Sekizinci beş yıllık kalkınma planı (2001). Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu. Ankara, Türkiye.
- [3] Pratiwi, W. D., Ekaputri, J. J. and Fansuri, H. (2020). Combination of precipitated-calcium carbonate substitution and dilute-alkali fly ash treatment in a very high-volume fly ash cement paste. *Construction and Building Materials*, 234, 1-12.
- [4] Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Shi, Z., Jia, H. and Ou, Z. (2018). A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. *Construction and Building Materials*, 181, 659-672.
- [5] Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Jia, H., Zeng, R., Wu, Y. and Lao, L. (2019). A quantitative study on physical and chemical effects of limestone powder on properties of cement pastes. *Construction and Building Materials*, 204, 58-69.
- [6] Juenger, M. C. and Siddique, R. (2015). Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research*, 78, 71-80.
- [7] Das, S., Aguayo, M., Dey, V., Kachala, R., Mobasher, B., Sant, G. and Neithalath, N. (2014). The fracture response of blended formulations containing limestone powder: Evaluations using two-parameter fracture model and digital image correlation. *Cement and Concrete Composites*, 53, 316-326.
- [8] Yazıcıoğlu, S. and Kara, C. (2017). Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 369–376.
- [9] Khodabakhshian, A., De Brito, J., Ghalehnovi, M. and Shamsabadi, E. A. (2018). Mechanical, environmental and economic performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. *Construction and Building Materials*, 169, 237-251.

- [10] Das, S., Aguayo, M., Dey, V., Kachala, R., Mobasher, B., Sant, G. and Neithalath, N. (2014). The fracture response of blended formulations containing limestone powder: Evaluations using two-parameter fracture model and digital image correlation. *Cement and Concrete Composites*, 53, 316-326.
- [11] Jankovic, A. (2003). Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills. *Minerals Engineering*, 16(4), 337-345.
- [12] Akkaya, Y. and Kesler, Y. E. (2012). Mikrokalsit katkısının betonun işlenebilirliğine, mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etkisi. *İMO Teknik Dergi*, 384, 6051-6061.
- [13] Akçaözöğlü, K. and Güldür, Ş. E. (2017). Mikronize kalsit ve uçucu kül katkısının beton özelliklerine etkisinin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 658-668.
- [14] Scrivener, K. L., John, V. M. and Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.
- [15] Singh, G. B. and Subramaniam, K. V. (2019). Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste. *Journal of Cleaner Production*, 239, 1-12.
- [16] Ekincioglu, G., Başıbüyük, Z., Ekdur, E., Ballı, F. and Kanbir, E. S. (2014). Kırşehir doğal taş sektör analiz ve yatırım imkanları raporu. Kırşehir.
- [17] Türk Standardları Enstitüsü. (2012). TS EN 933-1:2012(EN): Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [18] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 706 EN 12620+A1: Beton Agregaları. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [19] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 1097-6: Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [20] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 934-2+A1: Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [21] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 802: Beton karışım tasarımı hesap esasları. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [22] Türk Standardları Enstitüsü. (2014). TS EN 206-1: Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [23] Türk Standardları Enstitüsü. (2019). TS EN 12350-2: Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [24] Türk Standardları Enstitüsü. (2009). TS 3624: Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayin metodu. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [25] Türk Standardları Enstitüsü. (2012). TS EN 12504-4: Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [26] Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN 12504-2: Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [27] Türk Standardları Enstitüsü. (2019). TS EN 12390-3: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [28] Malek, J. and Kaouther, M. (2014). Destructive and non-destructive testing of concrete structures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 159(3269), 1-10.
- [29] Qasrawi, H. Y. (2000). Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. *Cement and concrete research*, 30(5), 739-746.
- [30] Matschei, T., Lothenbach, B. and Glasser, F. P. (2007). The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and concrete research*, 37(4), 551-558.
- [31] Sua-iam, G., Sokrai, P. and Makul, N. (2016). Novel ternary blends of Type 1 Portland cement, residual rice husk ash, and limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 1028-1034.
- [32] Özcan, F. and Kaymak, H. (2018). Utilization of Metakaolin and Calcite: Working Reversely in Workability Aspect—As Mineral Admixture in Self-Compacting Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1-12.

Güneş Enerji Sistemleri için Arduino Tabanlı Matlab/Simulink Programı Üzerinden Denetlenen Bir Akü Şarj Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması

Haydar YURDAKUL¹, Erol Can DELİTAY¹, Ömür AKYAZI¹, Erdinç ŞAHİN^{1*}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 61830, Trabzon

(Alınış / Received: 24.04.2020, Kabul / Accepted: 30.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Güneş enerjisi
Arduino
Matlab/simulink
PI denetleyici
Akü şarj ünitesi tasarımı

Özet: Gelişen teknoloji, sanayileşme ve dünya nüfusundaki artış enerji tüketimini hızla arttırmakta buna paralel olarak fosil yakıtlarının rezervleri süratle tükenmektedir. Fosil enerji kaynaklarının çevre sorunlarına yol açması, rezervlerinin sınırlı ve belirli bölgelerde olması, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmuştur. Güneş panellerinin ürettiği enerji atmosferik olaylara bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup doğrudan aküyü şarj etmesi uygun değildir. Bu nedenle bu çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik (PV) sistemlerde kullanılan bataryaların ömrünü artırmak, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçmek için Arduino tabanlı şarj kontrol ünitesi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistem için DA-DA azaltan dönüştürücü Matlab/simulink benzetim programı kullanılarak tasarlanmıştır. Sistemin Arduino üzerinden Matlab/simulink ile kapalı çevrim kontrolü oransal-integral (PI) denetleyiciyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem için gerekli olan yazılım işlemleri ve donanım cihazları başarı ile tasarlanmıştır. Sonuç olarak Arduino tabanlı PI denetimli DA-DA şarj ünitesi benzetim ortamında ve deneysel olarak gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Arduino Based Matlab/Simulink Program Controlled a Battery Charge Unit Design and Application for Solar Energy Systems

Keywords

Solar energy
Arduino
Matlab/Simulink
PI controller
Battery charge unit design

Abstract: The developing technology, industrialization and the increase in the world population growing up the energy consumption rapidly, in parallel, the reserves of fossil fuels are rapidly depleted. Since fossil energy sources cause environmental problems and their reserves are limited and available in certain regions, countries have been focused on renewable energy sources. The energy produced by solar panels varies depending on atmospheric events. So, it is not possible to charge the battery directly. For this reason, in this study, an Arduino based charge control unit is designed and implemented to increase the life cycle of the batteries used in off-grid photovoltaic (PV) systems and provide overcharge and discharge protection of the battery. The DC/DC buck converter is designed for the system using Matlab/Simulink platform. Closed loop control of the system using Matlab/Simulink program on Arduino software development card is carried out with proportional-integral (PI) controller. In addition, software and hardware devices required for the system are designed successfully. As a result, Arduino based PI controlled DC-DC charging unit is performed in both simulation and experimental set up and the results are discussed.

*İlgili yazar: esahin@ktu.edu.tr ORCID: 0000-0002-9740-599X

¹ ORCID: 0000-0001-8781-4805

² ORCID: 0000-0002-1943-1631

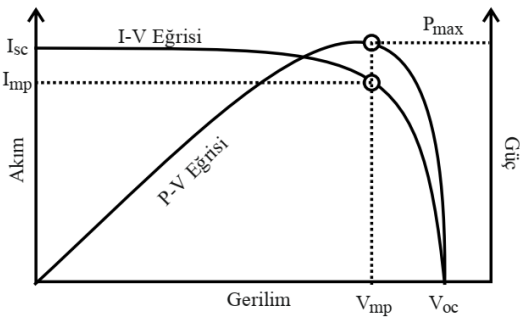
³ ORCID: 0000-0001-6266-2323

1. Giriş

Günümüzde artan enerji talebi, fosil yakıtların tüketilmesi ve rezervlerinin kademeli olarak azaltılması, enerji güvenliği ve atmosfer kirliliği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş enerjisi, mevcut yakıtlara alternatif çözüm olarak kabul edilmektedir [1, 2]. Güneş enerjisi yakın gelecek için umut verici bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik (PV) sistemde PV modüller, elde edilen güneş enerjisini toplamak ve kullanmak için elektrik enerjisine dönüştürmek üzere seri ve paralel olarak bağlanır [3]. PV sistemler gelen olarak güneş panelleri, güç dönüştürücüleri, şarj kontrol cihazları, enerji depolama elemanları vb. temel bileşenlerden oluşmaktadır [4].

Bir güneş hücresinin I-V karakteristiği doğrusal olmayıp ışıma, sıcaklık ve atmosferik olaylara göre değişkenlik göstermektedir [5]. Bu nedenle PV sistemlerde yükün enerjisiz kalmasını engellemek için akü vb. enerji depolama elemanları kullanılır. Aküler sabit gerilimle beslenmeli, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçilmelidir. Bu bakımdan şebekeden bağımsız sistemlerde güneş panelinin doğrudan aküyü şarj etmesi uygun değildir.

PV panellerden maksimum verimin elde edilmesi için maksimum güç noktası (MPP) adı verilen noktanın izlenmesi gerekmektedir [6]. PV panelin çalışma eğrileri ve maksimum güç noktası örnek olarak Şekil 1'de sunulmuştur [7]. Güneş paneli doğrudan bir yüke bağlandığında, sistemin çalışma noktası PV panel ve yükün I-V eğrisinin kesişme noktası olacaktır. Ancak çoğu durumda bu çalışma noktası MPP olmayacaktır. Bu nedenle çıkışa sürekli olarak maksimum güç sağlamak ve böylece verimliliği artırmak için PV sistemlerde maksimum güç noktası izleme tekniği MPPT kullanılır. Literatürde farklı yapılarda MPPT teknikleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır [8]. Bu tekniklerden bazıları akım ve gerilim gibi basit değerlerin okunmasına veya daha karmaşık modüllerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca doğrudan ve dolaylı olmak üzere maksimum güç takip yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan farklı algoritmalar da geliştirilmiştir [9].

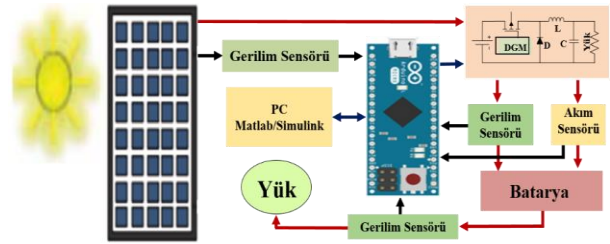


Şekil 1. PV panel çalışma eğrileri ve maksimum güç noktası [7]

Bu çalışmada PV pillerin seri ve paralel bağlanmasıyla elde edilen akım ve gerilim değerlerinin, parametrelerine uygun şekilde aküyü şarj edebilecek şarj regüle devresi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen sistemi oluşturan kısımlar Bölüm 2'de açıklanmıştır. Bölüm 3'te çalışmanın sonuçlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

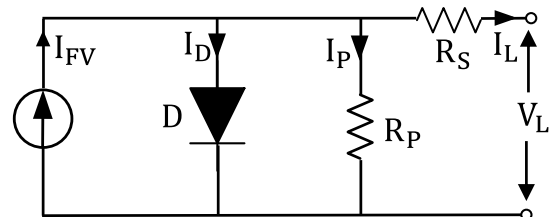
Uygulaması gerçekleştirilen sistemin blok yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Tasarlanan Sistem, güneş ışınımı ve direnç yük değerlerindeki değişikliklere karşı çıkış voltajını istenen seviyede sabitlemek için kontrol edilmiştir.



Şekil 2. Gerçekleştirilen sistemin blok şeması gösterimi.

2.1 Güneş paneli

Güneş paneli, nominal koşullar altında istenen çıkış gücünü elde etmek için birçok güneş hücresinin seri ve paralel bağlanmasıyla oluşturulur. Güneş hücreleri güneşten gelen ışınımı DA elektrige dönüştürür ve akımın büyüklüğü güneş ışınım şiddetine, hücre ve çevresel sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir [9]. Güneş hücreleri p-n katkılı diyot yapısında olup bu hücrelerin panel özelliklerini tanımlamak için çeşitli modeller önerilmektedir. Bu modellerin bazıları bir diyot modeli ve iki diyot modelidir [10-11]. PV hücre modelinin eşdeğer devresi Şekil 3'te verilmiştir.

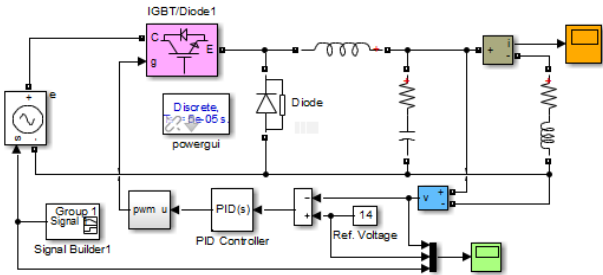


Şekil 3. Tek diyotlu güneş pili eşdeğer devresi

Yukarıda verilen şekilde I_{FV} , güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişen akımı, D , güneş pili p-n diyot yapısından olduğu için diyotu, R_P ve R_S sırasıyla kayıpları gösteren şönt ve seri dirençleri göstermektedir. I_L ve V_L güneş pilinin yüke aktardığı akım ve çıkış gerilimidir [12].

2.2 DA-DA azaltan dönüştürücü

DA/DA dönüştürücüler, zamanla değişen ve doğrusal olmayan yapılarından dolayı kontrolleri zor olmasına rağmen endüstriyel uygulamalardaki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır[13]. Bu dönüştürücüler Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyali kullanılarak girişine uygulanan gerilimi çıkışında istenilen değere ayarlayan anahtarlamalı devrelerdir [14]. DA/DA dönüştürücülerin farklı tipleri mevcut olup bu çalışmada azaltan tip dönüştürücü kullanılmış ve Şekil 4'te Matlab/Simulink ortamında oluşturulan modeli verilmiştir. Azaltan dönüştürücü girişine uygulanan gerilimi çıkışında istenilen seviyeye düşürerek akımı arttıran güç devreleridir.



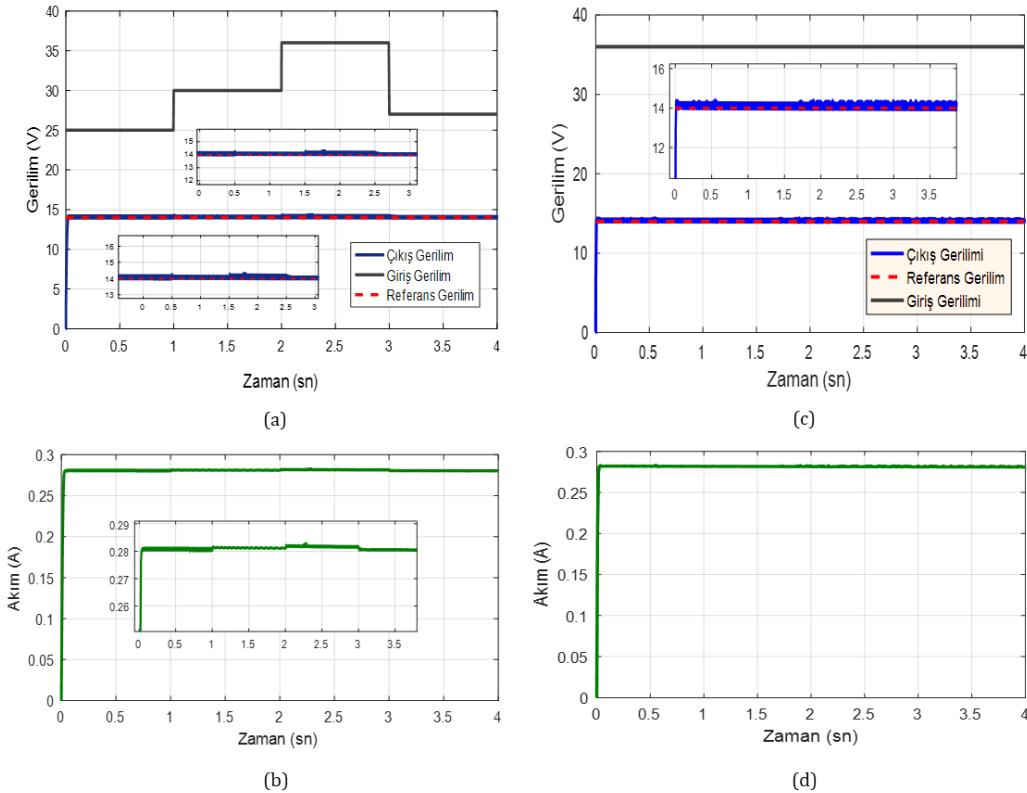
Şekil 4. DA-DA Çevirici için oluşturulan Matlab\Simulink blok diyagramı

PI denetleyici ile denetlenen sistemde hem benzetim ortamında hem de deneysel çalışmada aynı denetleyici parametreleri kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir. Denetleyici parametreleri oransal katsayı (K_p)=6,

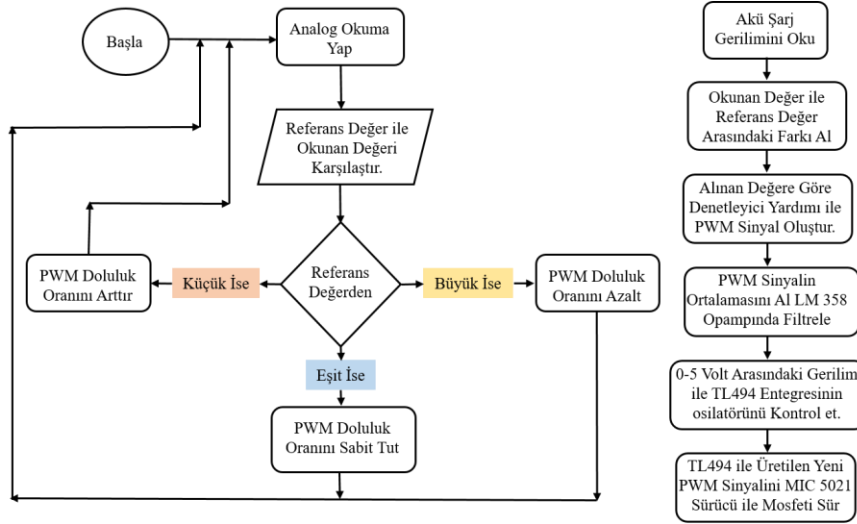
integral katsayısı (K_i)=1 ve türev katsayısı (K_d)=0 olarak seçilmiştir. Bu parametreler deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Matlab/Simulink programı kullanılarak farklı çalışma koşulları için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Değişken ve sabit giriş gerilimi için sabit çıkış gerilimi durumunda direnç-endüktans ($R=50\Omega$, $L=187mH$) yükü için DA-DA azaltan dönüştürücünün çıkış gerilimi ve akımı Şekil 5'te görülmektedir. RL yük durumunda değişken ve sabit giriş gerilimi için sabit çıkış gerilimi istenen sistem PI denetleyici ile kararlı bir şekilde kontrol edilmiştir. Fakat sistem yanıtı incelendiğinde kabul edilebilir seviyede aşma meydana gelmiştir. PI denetleyici ile Matlab/Simulink'de yapılan benzetim çalışmalarında, dönüştürücü çıkışında istenen referans değerleri elde etmek için sistem kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.3 Arduino yazılım geliştirme kartı

Arduino kullandığı dilin anlaşılır, açık kaynak kodlu ve kullanımı kolay mikro işlemci temelli bir donanım kartı olup kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca arduino programlamasıyla ilgili bek çok kaynakta mevcuttur [10]. Arduino üzerinde 8, 16 ve 32 bit AVR teknolojisini kullanan Atmega 328 mikrodenetleyicisini bulundurmaktadır. Atmega 328; 20 MHz clock osilatörü, 32 Kb flaş, 1Kb SRam, 23 giriş-çıkış pini, 6 kanal 10 Bit ADC ve 6 PWM çıkışa sahiptir [15]. Sistem için tasarlanan akış diyagramı Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Değişken (a, b) ve sabit (c, d) giriş gerilimi için DA-DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve akımı.



Şekil 6. Önerilen sistem için tasarlanan akış diyagramı

2.4 Sistem donanımı

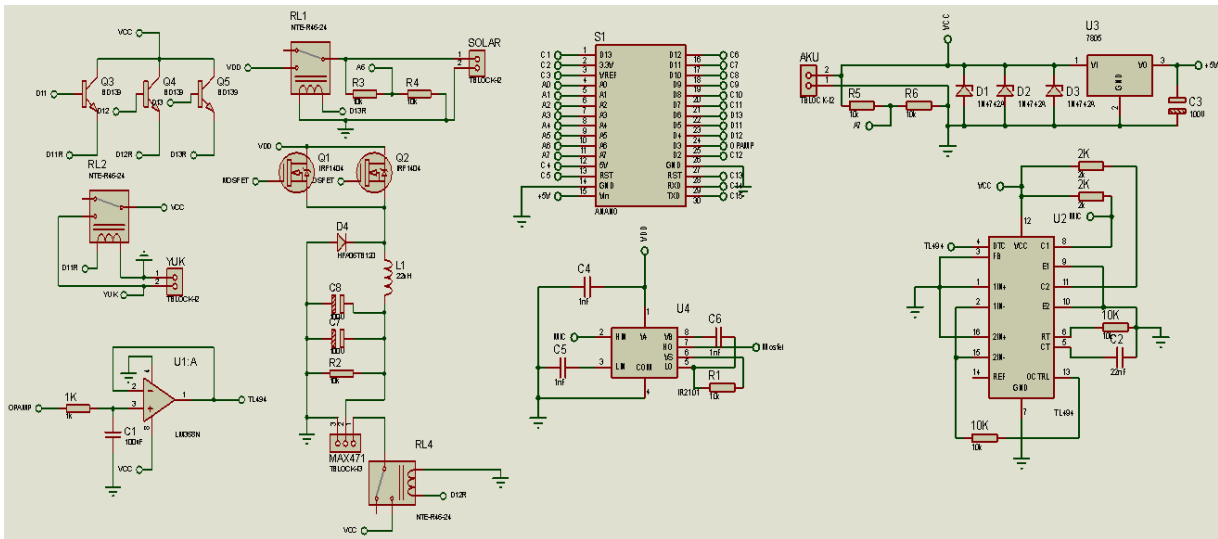
Sistemin ana elemanları; azaltan dönüştürücü devresi, Arduino Nano, LM358 opampı (çift modlu işlemsel yükseltec), analog gerilim denetimli TL494 PWM entegresi, MIC 5021 mosfet sürücü entegresi ve Max471 voltaj ve akım algılayıcı modülünden oluşmaktadır. Şekil 7’de sistemin Proteus devre çizimi görülmektedir.

Ardiuno ilk olarak güneş panellerinin ürettiği gerilimi ölçmektedir. Ölçülen değer belirlenen gerilim değerinden büyükse PV panellerin ürettiği gerilim RL1 rölesi üzerinden DA-DA alçaltan dönüştürücüye iletilir. Dönüştürücü devresinin çıkış gerilimi istenen referans değere erişinceye kadar RL4 rölesi açık kalır ve bu durumda batarya şarj edilmez. Dönüştürücü çıkışı istenen referans gerilime ulaştığında RL4 rölesi kontaklarını kapatır ve akım akıtılarak akü şarj olmaya başlar. Akıtılan akım ölçülerek akünün şarj durumu denetlenir. Akım değeri 0.1 amperin altına düştüğü zaman RL4 rölesi kapalı kontaklarını açarak şarj işlemi durdurulur. Ayrıca akü ile yük arasında RL2

rölesini yerleştirilmiştir. Akü gerilimi belirlenen gerilimin altına düştüğünde RL2 rölesi kontaklarını açarak akü ile yükün bağlantısını keser. Böylece bataryanın aşırı deşarj olması önlenerek ömrü uzatılmış olur.

Mikro denetleyici dönüştürücüden çıkan gerilimi okuyarak PWM sinyalinin doluluk boşluk oranını ayarlar ve analog çıkışından 5 Volt genliğinde 500Hz frekansında PWM sinyali üretir. Üretilen bu PWM sinyalinin genliği ve frekansı mosfeti sürmeye elverişli olmadığı için TL494 entegresi kullanılmıştır. TL 494 entegresi uçlarına verilen analog gerilime göre PWM sinyalinin doluluk boşluk oranını ayarlar. Aynı zamanda osilatör uçlarına bağlanan direnç ve kondansatör ile sinyalin frekansı belirlenir. Oluşan PWM sinyalinin frekansı (1)’de verilen formül kullanılarak hesaplanır. Burada R ve C sıra ile osilatör uçlarına bağlanan direnç ve kondansatör değerlerini sembolize etmektedir.

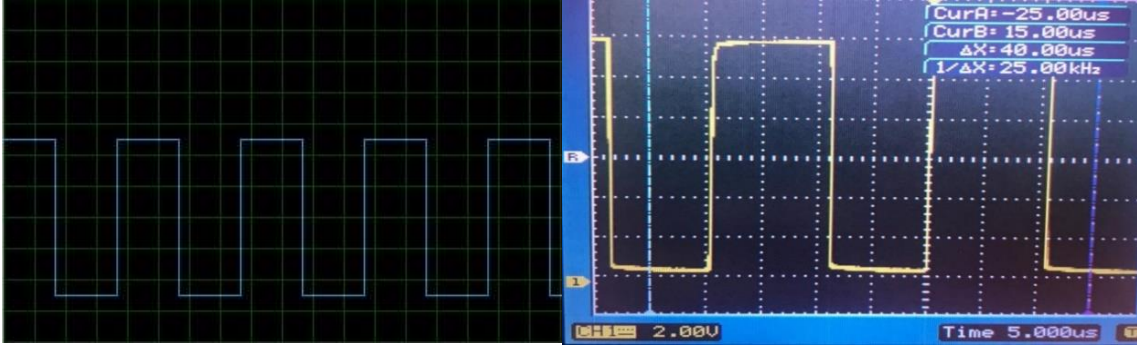
$$f = 1.1/(RxC) \quad (1)$$



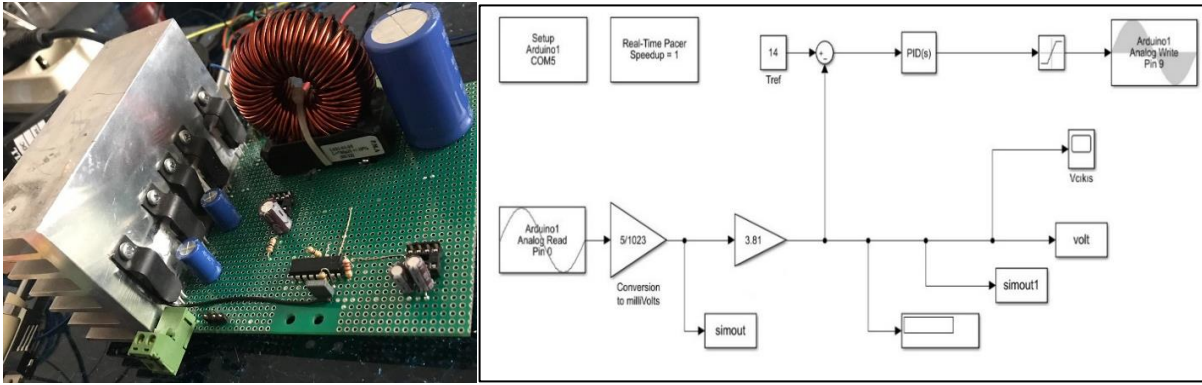
Şekil 7. Tasarlanan sistemin Proteus devre çizimi

Genliği ve frekansı artırılan PWM sinyali ile MIC 5021 entegresi üzerinden mosfet sürülmektedir. Elde edilen sinyalin simülasyon ve osiloskop görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 9'da tasarlanan şarj kontrol devresi ve PI denetleyici ile arduino'nun Matlab/simulink ile haberleşmesi için oluşturulan kapalı çevrim ara yüzü gösterilmektedir.

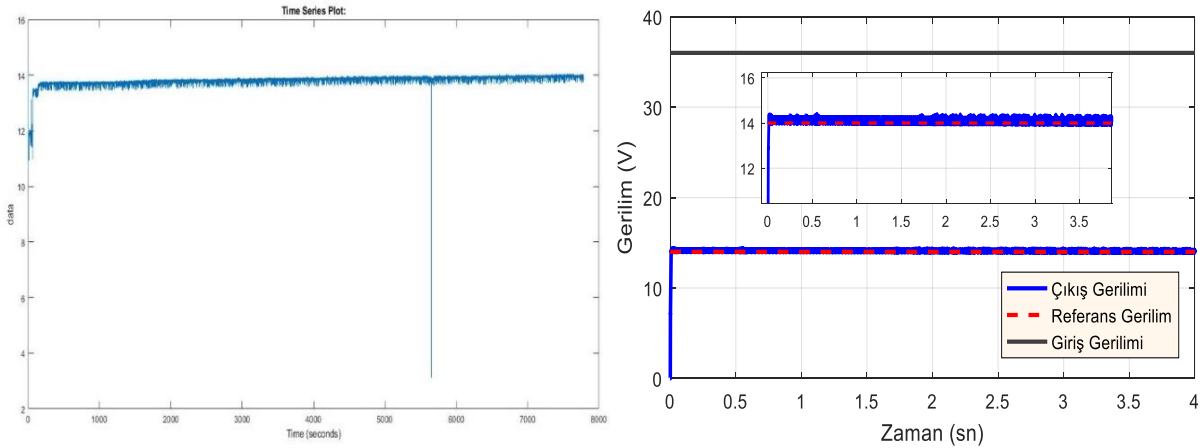
Gerçekleştirilen şarj kontrol devresi güneş panellerine bağlanarak Matlab/Simulink üzerinden 2 saat süreyle yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuç Şekil 10'da verilmiştir. Güneş Panelleri maksimum 36V-3A üretmekte olup akü şarj gerilimi 14V olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçla benzetim sonucunun kısmen örtüşmekte olduğu görülmüştür.



Şekil 8. %50 dolulukla üretilen PWM sinyali. (a) Benzetim, (b) deneysel.



Şekil 9. (a) Tasarlanan şarj kontrol devresi, (b) Matlab/Simulink haberleşme ara yüzü ($K_p=6$, $K_i=1$, $K_d=0$, denetleyici çıkışı üst ve alt limiti: [145, 20])



Şekil 10. 14V Akü şarj gerilimi için deney ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması. (a) Deney sonucu, (b) benzetim sonucu.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada şebekeden bağımsız PV sistemlerin ürettiği elektrik enerjisinin depolanması için

kullanılan bataryaların ömrünü artırmak, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçmek için Arduino tabanlı PI denetimli şarj kontrol ünitesi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen

sistemi oluşturan Arduino, Mosfet sürücü, DA-DA azaltan dönüştürücü, yazılım ve donanım aygıtları çalışmada açıklanmıştır. Azaltan dönüştürücü benzetimi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Arduino kartının Matlab/simulink programı haberleşmesi sağlanmıştır. Sistem performansının gelecek çalışmalarda farklı denetleyici ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak artırılması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen deney ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde tasarlanan solar şarj ünitesinin PI denetleyici ile sistem yanıtında aşmaya ve kalıcı durum hatasına yol açmasına rağmen uygulanabilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kaynakça

- [1] Akyazi, Ö., Şahin, E. & Kahveci, D. C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 356-360.
- [2] Bayraktar, Y , Kaya, H . (2016). Yenilenebilir Enerji Politikaları ve Rüzgâr Enerjisi Açısından Bir Karşılaştırma: Çin, Almanya ve Türkiye Örneği. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi* , 2 (4) , 1-18.
- [3] Karabaş, A , Mengi, O . (2019). Fotovoltaik Güneş Panelleri için farklı MGNİ Teknikleri kullanılarak Bir Şarj Regülatörünün Performansının İncelenmesi ve Karşılaştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 9 (1) , 152-175 . DOI: 10.31466/kfbd.565701.
- [4] Deveci, O., Kasnakoğlu, C., (2014). Bir Fotovoltaik Sistemden Değişken Güneş Işınım Değerlerinde Maksimum Güç ve Sabit DA Gerilim Elde Edilebilmesine Yönelik DA/DA Dönüştürücü ve Kontrolcü Tasarımı, TOK 2014, 11-13 Eylül s.187-193.
- [5] M. Pathare, V. Shetty, D. Datta, R. Valunekar, A. Sawant and S. Pai, "Designing and implementation of maximum power point tracking(MPPT) solar charge controller," *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, Navi Mumbai, 2017, pp. 1-5.
- [6] Darsana Saji, Prathibha S. Babu, S C Srijith, "Smart Solar Charge Controller for Traffic and Street Light Applications", *Power and Embedded Drive Control (ICPEDC) 2019 2nd International Conference on*, pp. 567-571, 2019.
- [7] T. Kaur, J. Gambhir and S. Kumar, "Arduino based solar powered battery charging system for rural SHS," *2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Patiala, 2016, pp. 1-5.
- [8] Rokonzaman, Md & Haider, Mohammed Hossam. (2016). Design and implementation of maximum power point tracking solar charge controller. *3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*,1-5.
- [9] Chander, S., Purohit, A., Sharma, A., Nehra, S.P. and Dhaka, M.S. (2015). A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. *Energy Reports*, 1: 104-109.
- [10] Hakan Yahya Akdeniz, Arduino Tabanlı Mppt Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı Ve Uygulaması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019.
- [11] Şentürk, A., (2018). Fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrilerinin simülasyonunda kullanılacak olan yöntemin seçimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1) , 341-354. DOI: 10.25092/baunfbed.411779.
- [12] E. Sahin, M. S. Ayas and I. H. Altas, "A PSO optimized fractional-order PID controller for a PV system with DC-DC boost converter," *2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, 2014, pp. 477-481.
- [13] A. Ali, "Design of Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller using Incremental Method," *2019 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, Abuja, Nigeria, 2019, pp. 734-739.
- [14] W. Makni, N. Ben Hadj, H. Samet and R. Neji, "Design simulation and realization of solar battery charge controller using Arduino Uno," *2016 17th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, Sousse, 2016, pp. 635-639.
- [15] Nayyar, A. and Puri, V. (2016). A Review of Arduino Board's, Lilypad's & Arduino Shields. *3. International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, New Delhi, 16-18 March, 1485-1492.

Karışık Nikel-Kobalt Hidroksit Çökeleğinin Karbotermik İndirgenmesi

Said ERAY^{1*}

¹Patnos Meslek Yüksekokulu, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi

(Alınış / Received: 13.02.2020, Kabul / Accepted: 21.04.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Nikel
MHP
İndirgeme

Özet: Karışık hidroksit çökeleği (MHP) nikel laterit cevherlerin hidrometalürjik işlenmesi zincirinde ortaya çıkan bir ara üründür. MHP bir ticari ürün olarak alıcı bulsa da, içerdiği safsızlıklardan dolayı ekonomik değeri düşük olan bir ara ürün sayılmaktadır. MHP'nin içerdiği nikeli diğer safsızlıklardan ayırarak ekonomik değeri daha yüksek olan ürünlere dönüştürülmesi birçok araştırmanın konusu olmuştur. Bu çalışmada, MHP örneğinin indirgenebilirliği incelenmiştir. Amaç nikel oksidi metalik nikel indirgemek ve böylece diğer safsızlıklardan ayrılmasına imkân sunmak olmuştur. Bunun için MHP numunesi kalsinasyon işlemine tabi tutulduktan sonra, belirli oranda indirgeyici kömür ile karıştırılmıştır. Karışım pelet haline getirildikten sonra tüp fırında ve azot gazı altında 1050 °C'ye ısıtılmıştır. İndirgenen numunelerin mineralojik içeriği ve mikro yapısı incelenmiştir.

Carbothermic reduction of mixed nickel-cobalt hydroxide precipitate

Keywords

Nickel
MHP
Reduction

Abstract: Mixed hydroxide precipitation (MHP) is an intermediate product that is produced in the hydrometallurgical processing chain of nickel laterite ores. Although MHP finds buyers as a commercial product, it is considered an intermediate product with low economic value due to impurities it contains. Separating the nickel contained in MHP from other impurities and transforming it into products with higher economic value has been the subject of many researches. In this research, the reducibility of the MHP sample was examined. The aim was to reduce nickel oxide to metallic nickel thereby allowing it to be separated from other impurities. For this, after the MHP sample was calcined, it was mixed with a certain amount of reducing coal. The mixture was pelleted and heated to 1050 °C in a tube furnace and under nitrogen gas. Mineralogical structure and microstructure of the reduced samples were investigated.

1. Giriş

Nikel laterit cevherlerinin hidrometalürjik işlenmesinde nikel ve kobaltın yüklü liç çözeltisinden ayrıştırılması için karışık sülfat çökeleği (MSP) [1], karışık hidroksit çökeleği (MHP) [2] ve solvent ekstraksiyon (SX) [3] olarak üç uygulanan yöntem vardır. Son yıllarda endüstriyel olarak en yaygın olarak kullanılan yöntem MHP yöntemi olmuştur. Bu yöntem şu anda Gördes'te bulunan nikel laterit rezervlerinden nikeli kazanmak için kullanılmaktadır.

MHP mangan ve magnezyum gibi safsızlıklar içeren nikel ve kobalt hidroksitlerin bir karışımı olup, hidrometalürjik yöntemlerle nikel üretimi zincirinde bir ara ürün olarak üretilmektedir. Bir nikel konsantresi olarak alıcı bulan MHP safsızlıklarından arıtılarak katma değeri daha yüksek olan ürünlere dönüştürülebilir. Bunun için yapılan birçok çalışmada hidrometalürjik yöntemler kullanılmıştır [4, 5]. Bu çalışmada pirometalürjik yöntemler kullanılarak katma değeri daha yüksek bir ürünün elde edilebilirliği araştırılmıştır. Bunun için, katı hal

indirgeme ve ardından indirgenmiş numune öğütülerek yaş manyetik ayrıştırmaya tabi tutulması önerilmiştir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için indirgeme sırasında Ni, Co ve Fe dışındaki safsızlıkların indirgenmemesi gerekir. Böylece manyetik özelliği gösteren Ni, Co ve Fe içerikli metal parçacıklar yaş manyetik ayrıştırma yöntemi ile ayrıştırılabilecektir. Bu makalede söz konusu metallerin indirgenebilirliği ele alınmıştır. Bu amaçla, Gördes tesisinden temin edilen MHP ürünü, katı hal indirgeme işlemine tabi tutulmuştur. Amaç olabildiğince diğer safsızlıkları etkilemeden Ni, Co ve Fe oksitleri indirgemek olmuştur.

2. Materyal ve Metotlar

2.1 Ham Maddeler

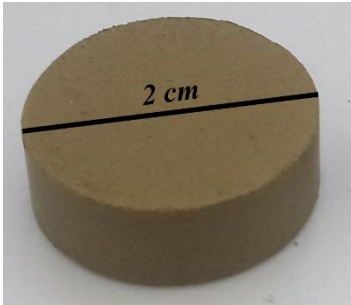
Fabrikadan gelen MHP numunesinin analizi Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu analize göre MHP numunesi çoğunlukla Ni, Mn, ve Mg elementlerinden oluşup daha az miktarlarda Al, Co ve Fe, içermektedir. MHP içerisindeki nikel oksiti metalik nikel indirgemek için <1 mm tane boyutuna sahip kömür kullanılmıştır.

Tablo 1 - MHP numunesinin kimyasal analizi

Ni	Mn	Mg	Al	Co	Fe	Ca	Zn	Cu	Sc
34.25	6.17	4.02	1.82	1.79	1.66	0.68	0.57	0.21	0.03

2.2 Kömür + MHP Karışımının Hazırlanması

Gece boyu kurutulmuş MHP numunesi belirlenen kömür oranıyla iyice karıştırılarak pelet haline getirilmiştir (Şekil 1).

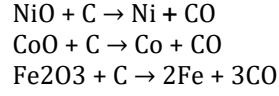


Şekil 1- Preslenerek pelet haline getirilen MHP+Kömür karışımı.

2.3 Kalsinasyon Deneyi

Bazı deneylerde indirgeme aşamasından önce, numune 500°C’de kalsine edilmiştir. Kalsinasyon işleminin amacı MHP numunesi içerisindeki hidroksit olarak bulunan yapısal suyu tamamen uzaklaştırmak olmuştur. Kalsinasyon sırasında %23 ağırlık kaybı kaydedilmiştir. İşlem sonunda hidroksit bileşikler tamamen okside dönüştürülmüştür.

Kullanılan kömür ağırlıkça %76 karbon içermiştir. Kömür miktarı MHP numunesi içerisinde bulunan Ni, Co ve Fe oksitlerin karbon ile indirgenme tepkimelerine göre hesaplanmıştır.



Boudouard reaksiyonuna göre 1000°C’ın üzerinde sistemdeki CO₂’nin neredeyse tamamı karbon ile tepkimeye girerek CO oluşturur. İndirgeme 1000°C’ın üzerinde gerçekleştirildiği için ve sistemde katı karbon bulunduğu için tepkime sonucu CO₂ yerine CO’nun oluştuğu varsayılmıştır.

İndirgeme tepkimelerin hızını arttırmak amacıyla, deneylerde teorik olarak hesaplanan kömür miktarından %25 daha fazla kömür kullanılmıştır. Bu oran, önceki araştırmalarımızdan elde ettiğimiz sonuçlar göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

2.4 İndirgeme Deneyi

Hazırlanmış MHP+kömür peletler alümina krozelere yerleştirilerek dikey tüp fırınında ve azot gazı altında (50 ml/dak) 1050°C’ye ısıtılmıştır. Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 2’de gösterilmiştir. Ham ve indirgenmiş numunelerin fotoğrafı ise Şekil 3’te gösterilmiştir.



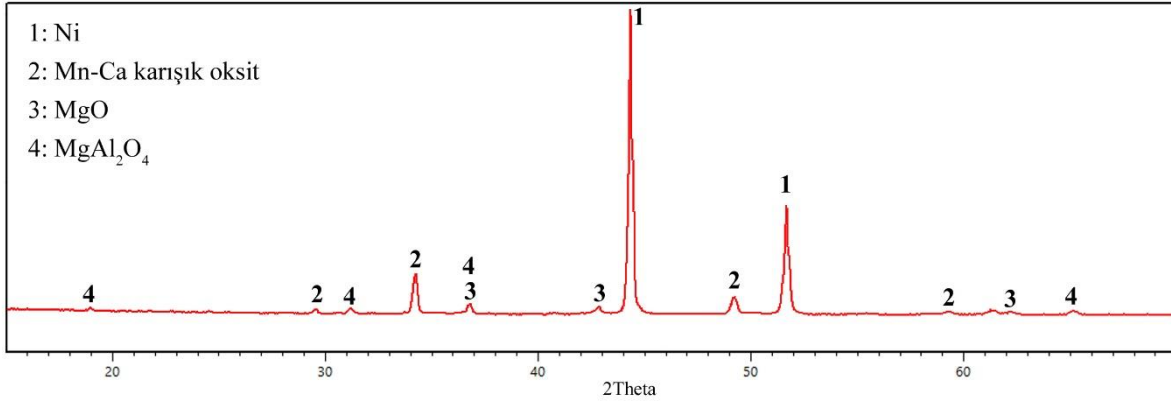
Şekil 2- İndirgeme deneyleri için kullanılan tüp fırın ve gaz besleme sistemi.



Şekil 3- Ham ve indirgenmiş MHP+kömür peleti.

2.5 Numunelerin Karakterizasyonu

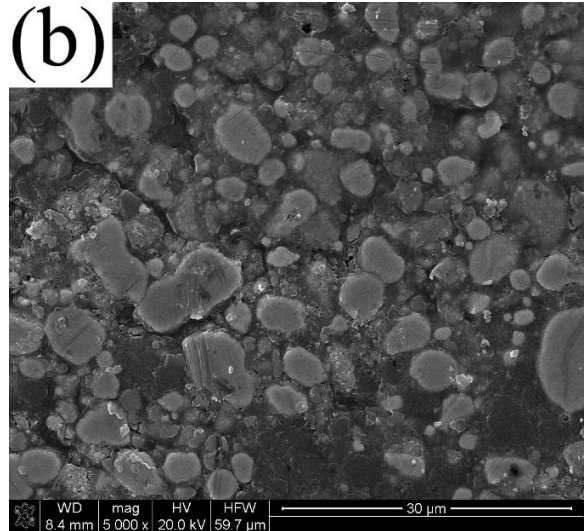
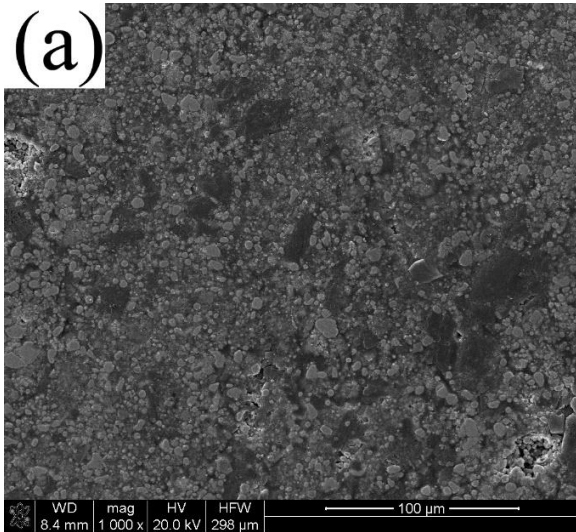
Elde edilen indirgenmiş numunelerin mikro yapılarını inceleme ve oluşan metal parçacıkların kimyasal



Şekil 4. 1050°C'de indirgenen numunenin XRD analizi.

3.2 İndirgenmiş Numunelerin Mikro Yapılarının İncelenmesi

Elde edilen indirgenmiş numunelerin mikro yapıları SEM ile incelenmiştir. Numunelerin tipik mikro yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir. İndirgeme sonucu oluşan metal parçacıklar şekilde açık gri renge sahip yuvarlak bölgeler halinde görülmektedirler. Bu parçacıkların tane boyutu ise genelde 15 µm'nin altındadır.

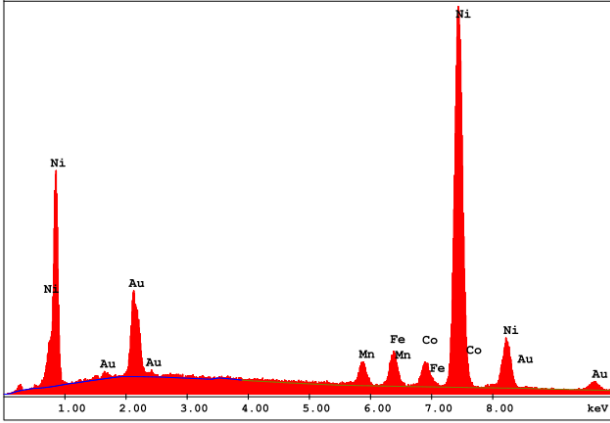


Şekil 5- 1050°C'de indirgenmiş MHP numunesinin a) 1000 X ve b) 5000 X büyütmelerde ikincil elektron SEM görüntüleri.

3.3 Metal Parçacıkların Kimyasal Analizi

Şekil 5'te gösterilen metal parçacıkların kimyasal analizleri EDS ile belirlenmiştir. Tipik EDS spektrumu Şekil 6'da gösterilmiştir. Nikel, kobalt, demir ve mangan elementlerine ait pikler EDS spektrumunda görülmektedir. İndirgenmiş pelletten rastgele alınan kesitlerin kimyasal analizleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Oluşan metal parçacıklar %85-88 nikel

içerdiği görülmektedir. Metal parçacıklar ayrıca %4-5 Co, %4-5 Fe ve %2-3 Mn içermektedir.



Şekil 6- Örnek EDS spektrumu.

Tablo 2- İndirgenme sonucu oluşan metalik parçaların örnek EDS analizleri

Analiz No.	Ni	Co	Fe	Mn
1	88,15	4,83	4,33	2,69
2	87,63	4,60	4,42	3,35
3	86,48	5,74	4,28	3,5
4	85,95	5,53	5,04	3,48

4. Sonuç

Gördes'te bulunan nikel rezervlerinden hidrometalürjik yöntemlerle üretilen MHP örneğinin indirgenebilirliği incelenmiştir. İndirgeme işleminden önce kalsinasyon işlemine tabi tutulan MHP numunesinin içerisindeki yapısal su uzaklaştırılmıştır. Karbotermik indirgeme sonucu nikel oksidin metale indirgendiği görülmüştür. EDS sonuçlarına göre, nikel ile birlikte kobalt, demir ve manganın da

indirgenebileceği görülmüştür. MHP içerisindeki Mg, Al ve Ca gibi safsızlıklar ise indirgenmemiştir. Böylece metalik nikelin manyetik özelliğinden yararlanarak, öğütme ve ardından yaş manyetik ayırıştırma yöntemi kullanılarak daha yüksek oranda nikel içeren bir konsantrenin elde edilebileceği sonucu ortaya konulmuştur.

Kaynakça

- [1] Holliday, R. (1993). The Separation of Nickel and Cobalt in a Mixed Sulfide Precipitate. Metallurgical Transactions B, 24B, 189-192.
- [2] Ichlas, Z., Mubarak, M., Magnalita, A., Vaughan, J., & Sugiarto, A. (2020). Processing mixed nickel cobalt hydroxide precipitate by sulfuric acid leaching followed by selective oxidative precipitation of cobalt and manganese. Hydrometallurgy, 191, 105185.
- [3] Köse, C., & Topkaya, Y. (2011). Hydrometallurgical processing of nontronite type lateritic nickel ores by MHP process. Minerals Engineering, 24, 396-415.
- [4] Kursunoglu, S., Ichla, Z., & Kaya, M. (2017). Solvent extraction process for the recovery of nickel and cobalt from Caldag laterite leach solution: The first bench scale study. Hydrometallurgy, 169, 135-141.
- [5] Williams, C., Hawker, W., & Vaughan, J. (2013). Selective leaching of nickel from mixed nickel cobalt hydroxide precipitate. Hydrometallurgy, 138, 84-92.

Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Emel ŞİT*¹, Erol İSKENDER ^{2a}, Atakan AKSOY^{3b}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61000, Trabzon

(Alınış / Received: 29.03.2020, Kabul / Accepted: 29.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Gürültü
Akustik özellikler
Esnek kaplamalar
Taş mastik asfalt
Poroz asfalt

Özet: Gürültü, büyük şehirlerde hızla artan nüfusa bağlı olarak çevreye ve insan sağlığına zarar veren bir etkidir. Günümüzde kalabalık yerlerde daha açık bir hal almıştır. Gürültü, insanları ve çevreyi rahatsız eden sesler olarak tanımlanabilir. Gürültüye sebebiyet verecek önemli unsurların başında trafik kaynaklı gürültüler gelmektedir. Bu gürültüler hem araçların çokluğundan hem de yol kaplamalarının özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle gürültü etkilerini azaltabilmek amacıyla çeşitli tedbirler alınabilmektedir. Bu çalışmada, farklı yol kaplamalarının gürültü üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar içerdikleri malzeme özelliklerine göre akustik bakımdan farklılık göstermektedirler. Yol kaplamalarının türlerine göre akustik özellikleri dikkate alındığında daha az gürültüye sebep olacak kaplamaların üretilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

Acoustic Properties in Asphalt Pavements

Keywords

Noise
Acoustic properties
Flexible pavements
Stone Mastic Asphalt
Porous Asphalt

Abstract: Noise is a factor that damages the environment and human health due to the rapidly increasing population in big cities. Today it has become more open in crowded places. Noise can be defined as sounds that disturb people and the environment. Noise from traffic is one of the most important factors that will cause noise. These noises are caused by both the multiplicity of vehicles and the characteristics of road pavements. Therefore, various measures can be taken to reduce noise effects. In this study, the effects of different road pavements on noise were investigated. Stone mastic asphalt, porous asphalt and dense gradation asphalt coatings differ acoustically according to the material properties they contain. Considering the acoustic properties of road pavements according to their types, it is possible to produce pavements that will cause less noise.

1. Giriş

Gürültü kirliliği (akustik kirlilik) gelişmiş ülkelerde sanayileşmenin bir sonucu ve teknolojinin artışı olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle ulaşımdan kaynaklanan gürültüler 1960'lı yıllardan sonra önemli bir derecede ilgi çekmiştir.. Yapılan araştırmalara göre, gürültünün insan sağlığı üzerinde önemli etkileri

olduğu ve büyük risk oluşturduğu ortaya konmuştur [1].

Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji türüdür. Ses kavramı ölçülebilir ve aynı zamanda sesin varlığı da kişilere göre değişiklik göstermez.[2]. Akustik (ses) bilimi ses dalgalarının belli konularda (oluşumu, iletimi, etkileri ve işitme gibi) incelemelerini yapar [3]. Ses şiddeti

* İlgili yazar: emelsit@outlook.com . ORCID: 0000-0002-4959-0596

^a ORCID: 0000-0001-7934-839X

^b ORCID: 0000-0001-5232-6465

desibel (dB) ile ölçülür. '0' dB insan kulağının duyduğu en küçük ses olarak kabul edilir. Gürültü ise insanları ve çevreyi rahatsız eden ve aynı zamanda insan sağlığına zarar veren sesler olarak tanımlanmaktadır ve dB(A) cinsinden ölçülmektedir. Duyma sınırı (eşiği) 0dB(A)'dir ve 120-130dB(A) ise ağır eşiğidir. Yaklaşık olarak bir ses 6-10dB(A) artırılırsa insan kulağı tarafından 2 kat daha fazla hissedilir. Trafikteki yoğunluk oranı yarıya düşürüldüğünde ses yaklaşık olarak 3 dB(A) azalır ancak yoğunluk iki katına çıkarıldığı durumda ses yaklaşık olarak 3 dB(A) artar [1].

Gürültü, insanlar üzerinde çeşitli etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilmektedir [1].

- Fiziksel etkiler:** İşitme bozukluklarına neden olur.
- Fizyolojik etkiler:** İnsan vücudunda değişikliklere neden olur. Kan basıncında artma, stres, kalp atışı ve solunumun değişmesi gibi .
- Psikolojik etkiler:** Genellikle davranış bozukluğuna neden olur. Sinir , stres, tedirginlik, rahatsızlık gibi.
- Performans üzerine olan etkiler:** iş veriminde, çalışma hızında düşüşe neden olur.



Şekil 1. Ses ve gürültünün insan üzerindeki etkisi [4].

2. Trafikten Kaynaklanan Gürültüler

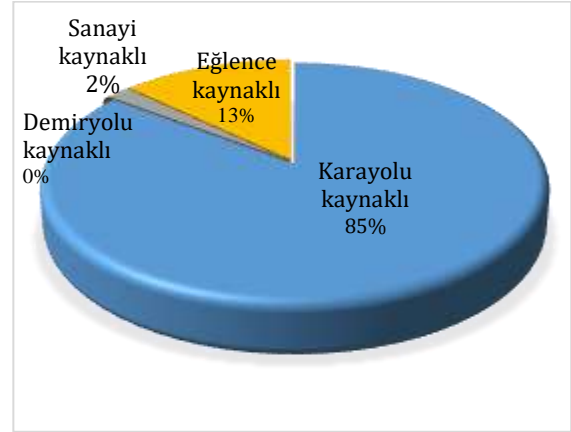
Ses ve gürültüye neden olan çeşitli kaynaklar mevcuttur. Bu kaynaklar maddeler halinde aşağıda verilmiştir [1].

- Karayolları, demiryolları, hava alanları,
- Endüstri tesisleri,
- Yerleşim alanlarının yakınında yer alan; taş ocakları,
- İnşaat alanları,
- Kaset, CD vb. satış yerleri,
- Matbaalar, marketler.
- Tamirhaneler, otoparklar.
- Televizyon ve müzik aletleri,
- Jeneratörler,

- Eğlence ve dinlenme yerlerindeki müzik sesleri,
- Sokak düğünleri ve havai fişek atımları,
- Megafonla bağırarak satış yapılması,
- Kornalardan çıkan sesler gibi.



Şekil 2. Gürültü kaynaklarının genel gösterimi [5].



Şekil 3. TÜBİTAK MAM'ın gürültü sınırlarına göre etkilenme yüzdelik gösterimi [6].

Gürültü, birçok çalışma alanında gerçek bir sorun haline gelebilir. Günümüzde özellikle de büyük şehirlerde trafikten kaynaklı gürültüler önemli bir sorun teşkil etmiştir. İnsan hareketliliğinin giderek artmasına bağlı olarak araç sayısının artması da gürültünün sorun haline gelmesinin sebeplerinden biridir [7]. Günümüzde meydana gelen gürültünün en büyük sebebi trafiğin neden olduğu gürültülerdir. Trafikten kaynaklanan gürültünün çeşitli sebepleri olabilir.

2.1. Araçlardan kaynaklanan gürültüler

Büyük şehirlerde nüfusa oranla artan araç sayısına bağlı olarak meydana gelen gürültüler günümüzde büyük bir sorun oluşturmaktadır. Karayolunda araçlardan kaynaklanan gürültüler, kaplama yüzeyi ile tekerlek arasında oluşan gürültü, araçlardaki frenlemeden dolayı oluşan gürültü, motor ve kaporta gürültüsü gibi

bileşenlerden oluşur. Bu tür gürültüler, trafiğin hacmine, yolun kapasitesine, yolun kaplama cinsine ve eğim derecesine, aracın büyüklüğü ve türüne ile yol kenarındaki yapılara ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlıdır [8].



Şekil 4. Gürültüye sebep olan araçlar [9].

Taşıtlarından kaynaklanan gürültülerde taşıtların sayısı ve türü önemli bir yere sahiptir. Tablo 1’de değişik araç tiplerinin neden olduğu gürültü seviyeleri verilmiştir.

Tablo 1. Taşıtların neden olduğu gürültü seviyeleri [10].

Taşıt türü	Azami gürültü (dBA)
Otomobil	75
Otobüs (şehir içi)	85
Otobüs (şehir dışı)	80
Kamyon (80km/saat)	85
Ağır araçlar	85

Gürültünün oluşmasında trafik taşıtlarının hızları da etkilidir. Hızları düşük olan taşıtlar düşük gürültü oluşturur. Motor ve egzoz gürültüleri düşük hızlarda etkili olurken, yol-tekerlek etkileşimi ise yüksek hızlarda daha etkili olur.[11].

2.2. İnsanlardan kaynaklanan gürültüler

İnsanlardan kaynaklanan gürültüler genellikle aracın doğru kullanılmamasından dolayı meydana gelir. Araçlarda genellikle gürültüye engel olan parçalar bulunur. Ancak bu parçalar genellikle kullanılmaz ya da sökülür. Bunun yanı sıra sürücülerden kaynaklanan gürültülerin en önemlisi ise kornanın kullanımınıdır. Ne yazık ki çoğu sürücüler korna kullanırken gerekli trafik kurallarına uymamaktadır. Bunun yanı sıra araç sürüş esnasında yüksek sesle müzik dinlenmesi de gürültüye sebep olmaktadır. Bu gürültülerin önlenmesi için, gürültü haritaları hazırlanmalı ve uygun gürültü önleyici perdeleme teknikleri uygulanmalıdır [11].

2.3. Yollardan kaynaklanan gürültüler

Yollardan kaynaklanan gürültülerin sebebi; kaplamanın yüzey özellikleri (sürtünme, yüzey dokusu, agrega özellikleri, gözeneklilik, hava

boşluğu içeriği), yolda kullanılan malzemelerin özellikleri, yol yüzeylerindeki tümsekler ve pürüzlülükler olmaktadır. Araç tekerlekleri yol yüzeyinde döndüklerinde oluşan titreşimden dolayı uyarılırlar ve bunun sonucunda gürültü oluşmasına neden olurlar. Bu gürültüler tekerlek- yol yüzeyi etkileşimi sonucu meydana gelir. Bu da taşıt yolunun türüne ve yapım şekline bağlıdır [12].

Kaplamanın ilk yapıldığı zaman gösterdiği performans özellikleri kullanıma açıldıktan belli bir süre sonra farklılık gösterebilir. Kaplamalarda meydana gelen yaşlanmaların artmasına bağlı olarak gürültünün artması da gözlenebilir. Kaplamalarda bulunan hava boşluğu yüzdesinin de gürültü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kaplamadaki tane boyutunun artması sonucu hava boşluğu yüzdesinde artış meydana gelir ve bu durum gürültü seviyesinde azalış oluşturur.

Asfalt kaplamaların gözenekli olması gürültü seviyesinde düşüşe sebep olur. Gözenekli asfalt kaplamalar son yıllarda düşük gürültülü kaplama olarak kullanılmıştır [13]. Gözenekli asfalt kaplamadaki gürültü seviyesindeki azalmanın 3~5dB olduğu belirtilmiştir [14].

Kaplama zamanla aşınmaya ve kalıcı deformasyonlara uğrayabilir. Bu durum yolun akustik performansında gerilemeye sebep olabilir. Yolun mekanik özelliklerini uzun süre koruyabilmesi için aşınmaya ve deformasyona karşı dirençli kaplamalar üretilmelidir.

Tekerlek-yol teması sırasında lastik profillerinin boyları, ağırlıkları ve içerdikleri kauçuk malzeme sebebiyle hareket sırasında kısılanır ve lastik yüzey kanalları arasında hava sıkışır. Bunun sonucunda sıkışan hava, basıncın az olduğu bölgeye doğru hareket eder. Daha sonra lastiklerin yapmış olduğu tekerlek hareketi sonucu ağırlık taşıyan kısmın boşa çıkması ile eski uzunluklarına gelirler. Kısa sürede gerçekleşen bu olay yüksek frekanslı bir gürültüye (>1000 Hz) neden olur. Bu olaya "Hava Pompalama" (Air-Pumping) adı verilir [15].

Karayolu, tabaka kalınlıkları ve içerdiği malzeme karışımları farklı olan taşıyıcı alt tabaka (temel-alttemel), binder ve aşınma olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Kaplama tabakası, yoldaki düzlük, pürüzlülük gibi özelliklerden sorumludur. Lastik tekerleklerinin teması sonucu oluşan gürültü üzerinde önemli ölçüde etkisi vardır [12].



Şekil 5. Hava pompalamanın şematik olarak gösterilmesi [12].

3. Esnek Kaplamalarda Akustik Özellikler ve Alınabilecek Önlemler

Trafik gürültüsünün azaltılmasında etkili bir yöntem olarak düşük gürültülü kaplamalar kullanılmaktadır. Literatürde, maksimum agrega boyutunun küçük seçilmesinin, pürüzsüz kaplamaların ses emiliminde etkili olduğu ifade edilmektedir [16, 17].

Meiarashi, yüksek boşluklu kaplamalarda gürültü azalımı hakkında yaptığı çalışmada agrega çapının gürültü azalmasında kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Agrega boyutu büyüdükçe gürültü seviyesinde de artış olduğu görülmüştür. Maksimum agrega boyutu 13mm'den 10mm'ye düşürüldüğünde gürültüde önemli bir azalma meydana gelmiştir. Ticari araçlar için 1.0 ile 3.0 ağır taşıtlar için ise 1.0 ile 2.0 desibellik düşümler kaydedilmiştir [18].

Küçük boyutlu agregalar kullanıldığında tekerlek ve kaplama arasında sıkışan hava miktarı azalır ve bundan dolayı basınç ta azalır ve daha az gürültü meydana gelir [19].

Literatürde, kullanılan agrega tipinin karayolundaki gürültü azalması üzerindeki etkileri hakkında önemli bilgiler bulunmamaktadır [20]. Mikro dokunun gürültüye etkisi ise tartışılmaktadır. Mikro dokunun artması sürtünmeyi artırır. Bunun sonucunda yapışma-kayma hareketi de artar. Agrega tipine göre mikro doku belirlenmektedir [21].

Ayrıca kaplamanın yaşının artması ile gürültü de artmaktadır. Kaplamanın zaman geçtikçe özellikleri değişmektedir (makro doku, mikro doku, gözeneklilik gibi). Bundan dolayı ses seviyesindeki değişimleri incelemek çok karmaşık bir konudur. Bu yüzden her özellikteki değişimler ayrı ayrı incelenmelidir [21].

Asfalt kaplamalarda, üç ana bileşen tekerlek ve

yol yüzeyi arasındaki etkileşimden kaynaklanan gürültüyü azaltır. Bu üç ana bileşen [22].

- Düşük kaplama pürüzlülüğü,
- Negatif kaplama dokusu,
- Yüksek kaplama hava boşluğu içeriğidir.

Tekerlek/yol gürültüsü azaltma özellikleri kaplamanın agrega tipine, bitüm ve hava boşluğu içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Bundan dolayı, tekerlek/yol gürültüsü asfalt karışımlarının tasarımından kaynaklanmaktadır [22]. Düşük gürültülü asfalt kaplamaların gürültüyü azaltma seviyesinin asfalt karışımının bileşimine bağlı olduğu görülmektedir.

Asfalt kaplamadaki karışım parametrelerinin akustik özelliklerini en yakınlık (CPX) yöntemi kullanarak, 18 yol kesitinden alınan örnekler laboratuvarında test edilmiştir. Bu model, bitüm miktarına, karışımın hava boşluğu içeriğine ve agrega şekline dayanır. Model, asfalt karışımı bileşenleri ve hacimsel özellikleri kullanarak asfalt karışımı tasarım aşamasında tekerlek/yol gürültü seviyesinin tahmin edilmesini sağlar [22].

Yeni inşa edilen düşük gürültülü kaplamalar genellikle 3-9 dBA daha düşük gürültü üretir; bununla birlikte bu özellik zamanla azalır [23]. Yoldaki gürültü seviyesi değişimi yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır [24].

Sandberg yapmış olduğu bir çalışmada pürüzlü yüzeyli kaplamaların A ağırlık gürültü seviyesi olarak söylemenin ve bir genelleme yapmanın imkansız olduğunu söylemiştir. Pürüzlü yollar düşük frekanslı iken, pürüzsüz yollar daha yüksek frekansa sahiptir. Bunun sonucunda pürüzlü yüzey düşük frekanslarda gürültüyü artırırken, yüksek frekanslarda gürültüyü azaltır [21].

Ayrıca, akustik yaşlanma kaplama yüzeyi dokusundaki değişikliklerle ilişkilidir [25]. Bu nedenle, aşınmaya ve kalıcı deformasyona karşı dirençli bir kaplama yapılmalıdır.

Trafik ve iklim koşulları göz önünde bulundurulup buna uygun olarak asfalt kaplama türleri geliştirilmektedir. Yol kaplamalarının çeşitli türleri vardır ve bunların akustik özellikleri farklılık göstermektedir.

3.1. Poroz Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Poroz asfalt (geçirimli asfalt), kaba agrega oranı yüksek, ince agrega ve filler oranı az olan ve açık gradasyona sahip malzemelerden oluşan bir kaplama türüdür. Bu asfaltlar, yüksek boşluk oranına sahip oldukları için yüzeye gelen suyun

drenajı iyi bir şekilde sağlanır. Hem yüksek drenaj özelliğine sahip hem de uzun ömürlü olabilmesi için, bitümlü bağlayıcı filminin süreklilik göstermesi ve kalın olması gerekmektedir [26].

Bu kaplama diğerlerine göre, serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra yaklaşık olarak %20 gibi boşluk oranına (poroziteye) ve daha büyük çapta agregaya sahiptir. Diğer yol kaplamalarında boşluk oranı genellikle %3-5 gibidir. Kaplamanın özellikle geçirimsiz olması istenir. Geçirimli kaplamada ise amaç bunun tersidir [27].



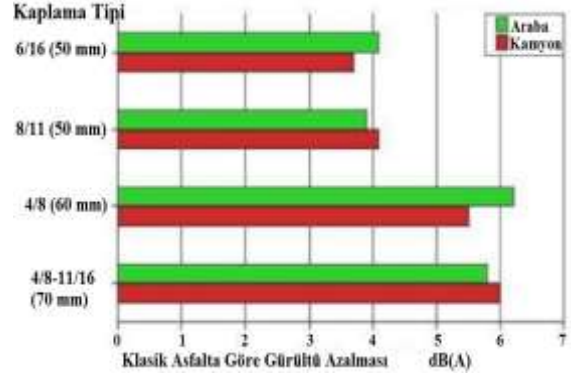
Şekil 6. Poroz asfalt kaplama [28].

Geçirimli asfaltlar, çevresi bitüm tabakası ile kaplanmış ve kaba agregası yüksek olan bir kaplama tipidir. Bu da bir ağ halinde, girişleri bulunan boşlukları meydana getirir. Bu boşluklardan sızan su, kalın bir alt tabaka üzerinden enine eğimle yandan dışarıya aktılır [12].

Poroz Asfalt kaplamalardaki yüksek boşluk oranından dolayı üzerine gelen suyu kaplama içine alır. Yol yüzeyindeki enine/boyuna eğimler sayesinde suyu kaplama yüzeyinden kolaylıkla uzaklaştırır. Kaplamadaki yüksek boşluk oranı, yolda sürtünme sonucu oluşan gürültüyü büyük oranda azaltır. Diğer asfalta göre daha az gürültüye sebebiyet verir. Gürültüyü 3 ila 6dB arasında azaltır. Bu da yaklaşık olarak %25-

%50 arasında bir azalma olduğu anlamına gelir [29].

Şekil 7'de dört farklı agrega boyutu kullanılarak oluşturulmuş dört farklı tip poroz asfalt kaplama üzerinde araba ve kamyonlardan kaynaklanan gürültüyü, yoğun (klasik) asfalt kaplamalarla karşılaştırılması verilmiştir. Düşeydeki ifadeler farklı tipteki poroz kaplama tabakalarının tane çaplarına göre ifadesi verilirken, yatayda yoğun asfalta göre oluşan gürültü azalma miktarı dB cinsinden gösterilmiştir [30].



Şekil 7. Dört farklı asfalt kaplama için gürültü azalımı [30].

Grafığe göre, en çok gürültü 50 mm'lik poroz asfalt yüzeyde ölçülmüştür. Arabalar en az gürültüyü 60 mm'lik yüzeyde oluşturmuş, kamyonlar ise en az gürültüyü 70 mm'lik yüzeyde oluşturmuştur. Buna dayanarak tane çapının büyümesi sonucu boşluk oranının arttığı ve böylece gürültünün de azaldığı söylenebilir [30].

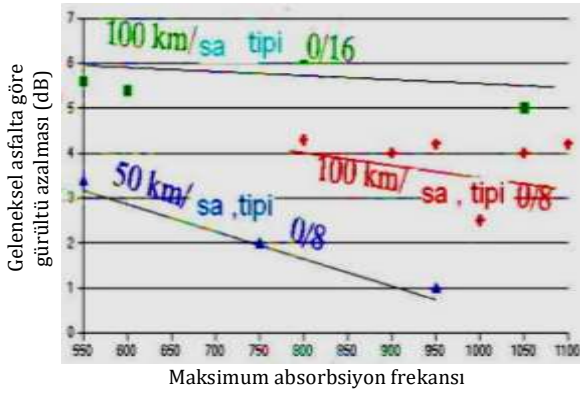
70 mm'lik poroz yüzeyin tane çapı 60 mm'liğe göre daha fazladır. Ancak arabalarda buna rağmen gürültü azalması fazla olmamıştır. Tane çapının büyümesi arabalarda sürüş konforunu da etkileyen bir büyüklük haline gelmiştir. Arabanın kamyonu göre ağırlığı çok daha az olmasına rağmen daha fazla sarsıntı ve titreşim meydana geldiği için daha az bir gürültü azalması ortaya çıkmıştır [30].

Tablo 2. Boşluklu kaplamalarda gürültü absorpsiyonunun karşılaştırılması [30].

Kaplama Tipi	Agrega Derecesi	Kalınlık (mm)	Maksimum Absorpsiyon Frekansı (Hz)	Maksimum Absorpsiyon (%)
Klasik Asfalt	0-16	-	-	-
Boşluklu	6-16	55	840	89
Boşluklu	4-8	60	810	95
Çift sıra boşluklu	4-8 (üst)	25(üst)	600	92
Boşluklu	8-11	40(alt)	900	87

Tablo 2'de verilen gürültü emisyonları İstatistiksel Geçiş Metodu'na (ISO 11819-1) göre ölçülmüştür. Tablo 2'de poroz kaplamaların trafikten kaynaklanan gürültü emisyonları üzerinde büyük bir etkisi olduğu belirtilmiştir [27]. 60 mm kalınlığındaki 4-8 mm'lik agregadan oluşan poroz tabakada en etkili sonuç elde edilmiştir. Gürültü emisyonu, üst kısmı daha ince agregadan 25mm, alt kısmı daha kalın agregadan 40mm olacak şekilde yapılmış poroz bir tabaka yüzeyinde ölçüldüğünde, düşük hızlarda çok iyi sonuçlar alınırken, aynı sonuçları yüksek hızlarda gözlemlemek mümkün olmamıştır [27].

Şekil 8'de poroz kaplamalarda seyir hızı - gürültü ilişkisi verilmiştir. Şekilden yüksek hızlarda gürültüde daha fazla azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Poroz kaplamalarda seyir hızı-gürültü ilişkisi [30].

3.2. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Taş mastik asfalt (TMA) Almanya'da geliştirilmiş bir karışım tipidir. TMA tipi karışımların ilk kullanım amacı; kışın hava koşullarının ağır olduğu bölgelerde güvenli sürüş için çivili lastiklerin asfalt kaplama üzerinde meydana getirdiği aşınmayı önlemek olmuştur.

Taş mastik asfaltlarda, kaba agrega oranı %70-80, ince agrega oranı %20-30 ve bitüm oranı %6-7'dir. Asfalt karışımında kaba agrega oranının daha fazla olması sebebiyle daha fazla boşluk oluşur ve bu boşluklar da mastik ile doldurulur. Mastik, mineral filler, bitüm ve süzülme önleyici katkıdan oluşmaktadır [31].

Taş mastik asfalt karışımlarda yüksek oranda kaba agrega olduğu için daha yüksek tekerlek izi direnci ve durabilite göstermektedir. Agrega - agrega kenetlenmesi ve zengin filler - bitüm hamuru sayesinde yüksek mukavemet ve durabilite gösterirler.



Şekil 9. Taş mastik asfalt [32].

Avrupa ülkelerinde taş mastik asfaltlar tekerlek/yol gürültüsünü azaltmak için aşınma tabakası olarak kullanılan en popüler asfalt karışımlardan biridir [26]. TMA'nın iyi bir ses absorpsiyonuna sahip olması içerisinde barındırdığı yüksek kaba agregalardan kaynaklanmaktadır. Tane boyutunun artması karışımda hava boşluğu olmasını sağlar ve bu da kaplamanın herhangi bir yüklemeye daha az ses üretmesine neden olur. Aynı zamanda TMA'ların yüzeyleri pürüzlü olduğundan gürültü seviyesini azaltırlar.

TMA kaplamalarda gürültü seviyesi ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Almanya'da yapılan bir çalışmaya göre, TMA yoğun gradasyonlu karışım yerine kullanıldığında gürültü seviyesinde 2,5dB(A) gibi önemli bir azalmanın olduğu görülmüştür. İtalya'da yapılan bir çalışmada ise, her ikisi de aynı kalınlığa sahip (15mm) TMA ve yoğun gradasyonlu sıcak asfalt karışımlar üzerinde giden 100 km/saat hızına sahip bir aracın TMA'da diğerine göre 7,0dB(A) daha az gürültü yaptığı saptanmıştır. İngiltere'de yapılan bir çalışmada ise 6mm'lik kalınlığa sahip TMA ile yoğun gradasyonlu asfalt karşılaştırılmış ve 70-90km/saat hızla giden araç ile gürültü seviyesinin 5,2dB(A)'e kadar düşürüldüğü görülmüştür [33].

Taş mastik asfalt kaplamalarının doku spektrumu tekerlek/yol gürültüsü üretimi hakkında bilgi verir. Her dokunun dalga boyu gürültüyü farklı şekilde iletir. Şekil 10'da gösterildiği gibi, 1 ila 10mm arasındaki doku dalga boyları daha düşük gürültü oluşturmaktadır [34]. Doku derinliği 10mm'nin üzerine çıktığında gürültü de artmaktadır. Yine 10mm'den daha büyük doku derinliklerinde araç içi gürültüler de artmaktadır. Doku derinliğinin 1mm'nin altında olması da olumlu etki oluşturmamaktadır.



Şekil 10. Her bir kategori için doku dalga boyu aralığı ve etkileri [34].

3.3. Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Düşük boşluk oranı ve bitüm içeriğine sahip yoğun agrega gradasyonlu bu karışım ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanılan sıcak karışım tipidir [35]. Bu kaplamalar asfalt çimentosunun, kaba agrega, ince agrega ve filler ile sıcaklık ve nem bakımından kontrol altında karıştırılması ile elde edilir [36]. Kaplamada bulunan agrega özellikleri dolgu tipi ve katkı maddelerinin kullanımı kaplamada yapısal sertliğe, deformasyon direncine, yorulma direncine, yüzey dokusuna ve işlenebilirliğe katkıda bulunur [37]. İyi derecelendirilmiş kaba agregaya ilave edilen ince agrega miktarının tayini önemlidir [38].

Aşınma tabakaları daha çok trafik yüklerine maruz kaldıkları için daha yoğun bir asfalt tabaka yapılmalıdır. Bunun için de yoğun gradasyon, bağlayıcıda yeterli boşluk bırakmamaktadır. Bundan dolayı gradasyonu

açmak gerekir, bu işlemi de ilave filler katarak gerçekleştirmek mümkün olur [39].

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların akustik özelliklerinin belirlenmesi hem düşük gürültülü yolların hem de otoyolların inşasında önemlidir [40].

Yollardaki gürültü seviyesini azaltmak için ses emme verimliliği daha yüksek olan malzemeler seçilebilir. Bu durum çoğu sesin belirli bir malzeme tarafından emildiğini ve gözlemciye göre daha az sesin geri yansıdığını gösterir, böylece ses emici malzeme etrafında gürültü seviyesi önemli ölçüde azaltılmış olur [41].

Laboratuvar ortamlarında yapılan çalışmalarda yollarda kullanılan mazlemenin sesi emme kabiliyetini belirlemenin ve ölçmenin iki etkili yolu olduğu belirlenmiştir. Bunlardan ilki, sadece çok özel çalışmalar için ayrılmış bir yankılanma odası kullanmaktır. Diğeri ise, bir empedans tüpü deneyi yapmaktır. Karışımların ses özelliklerini analiz etmek için yapılan empedans tüpü deneyinde nominal maksimum agrega boyutunun (NMAB) asfalt bağlayıcı tipleri ve hava boşluğu yüzdelерinin gürültüyü azaltma üzerindeki etkileri incelenmiştir. NMAB, agrega gradasyonunda mazlemenin %10'undan fazlasını tutmak için ilk elekten daha büyük bir elek boyutu olarak ölçülür [40].

Avrupa ülkeleri taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarının gürültü seviyelerinin karşılaştırılmasında yapılan çalışmalardan bazıları Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir [42].

Tablo 3. Farklı kaplama yüzey türlerinde gürültü

Ülke (Bildirilen Yıl)	Yüzey Tipleri	Genel Sonuçlar
Britanya Kolumbiyası, Kanada (1999)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	Üç yıllık hizmetin ardından poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3,5 ila 4,0 dB(A) daha sessiz.
İtalya (1990)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3 dB(A) daha sessiz.
Almanya (1990)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 4 ila 5 dB(A) kadar daha sessiz.
İtalya (1998)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt gürültü seviyesinde yoğun gradasyonlu asfalta göre 110 km/s'de 7,0 dB(A) kadar azalma olduğu görülmüştür
Almanya (1991 ve 1998)	Yoğun Gradasyonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 2,5 ve 2,0 dB (A) daha sessiz

Tablo 4. Farklı Kaplamalı Yüzey Tiplerinin Ortalama Gürültü Seviyelerinin karşılaştırılması

Kaplama Yüzey Tipi	dB (A)
Açık Gradasyonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	-4
Taş Mastik Asfalt Kaplama	-2
Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplama	0(referans)

Tablo 4'te kaplamaların ses seviyelerindeki azalmalar gösterilmektedir. Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar referans alınmıştır. Taş mastik asfaltın ses seviyesinde 2 dB (A) azalma görülmektedir. Açık gradasyonlu aşınma tabakasında (poroz asfalt) 4 dB (A) azalma görülmektedir.

Yolcu trafiği fazla olan karayollarında, kauçuk modifiye asfalt kullanılan daha büyük nominal maksimum agrega boyutuna (NMAB) sahip asfalt karışımlar daha yüksek gürültüyü azaltma performansı göstermektedir. Ağır kamyon trafiğine sahip otoyollarda ise daha küçük NMAB ve SBS modifikasyonları gürültüyü azaltmak için önerilmektedir [40].

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda hava boşluk yüzdelerinin artmasıyla gürültü azaltma performansının arttığı görülmüştür. Saha ölçüm sonuçlarına göre, trafik hızı sınırlarının uygun şekilde kontrol edilmesinin ve kauçuk modifiye asfalt kullanılmasının, kaplamadaki gürültüyü azaltmada etkili olabileceği görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, karayollarında gürültü konusu irdelenmiş, gürültünün nedenleri irdelenmiş ve yaygın kullanılan kaplamalardaki akustik özellikler değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkündür.

- Poroz asfalt kaplamalar içerdikleri yüksek boşluk oranından dolayı yolda sürtünmeden kaynaklı oluşan gürültü problemini azaltmada etkilidir. Gürültüdeki azalma 3 ile 6dB arasında yani %25-%50 arasındadır.
- Taş mastik asfalt kaplamalar %70-%80 oranında kaba agrega içeriğinden dolayı boşluk oranının fazla olduğunu ve daha iyi bir ses absorpsiyonuna sahip olduğunu göstermiştir. TMA, yoğun gradasyonlu asfalt yerine kullanıldığında gürültü seviyesi önemli derecede azalabilmektedir. TMA'ların maliyeti biraz daha yüksek olmasına rağmen gösterdiği performans ve bakım onarım faaliyetleri düşünüldüğünde avantaj sağlamaktadır.

- Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda hava boşluk yüzdelerinin artması sonucu gürültü seviyesinde azalmaktadır. Bunun yanı sıra kauçuk, polimer gibi katkı uygulamalarıyla da gürültü azaltılabilmektedir.
- Günümüzde önemli bir sorun olarak görülen gürültü konusunun gelecekte daha da önem kazanacağı düşünülmektedir. Karayollarında oluşan gürültü toplam gürültünün çoğunu oluşturmaktadır. Alınabilecek tedbirlerle kaplamalardan kaynaklanan gürültü seviyesinde azalmalar sağlanabilir.

5. Kaynakça

- [1] TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Gürültü Eylem Planı 2019-2020.
- [2] Bıçakçı T. (2011).“Trafikten kaynaklanan çevresel gürültü haritaları ve Çukurova Üniversitesi kampüsü örneği.” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bil.Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 135, Adana.
- [3] Çalış, M. (2007).“Karayolu gürültüsü ve gürültü perdelerinin ekonomik analizi.” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, 118, İstanbul.
- [4] www.cnnturk.com/yasam/gurultu-kirliligi-sagligi-tehdit-ediyor?page=1 (12.03.2020).
- [5] www.delinetciler.net/showthread.php?t=158566 (13.03. 2020).
- [6] MAM (2015, 2016), “TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,” Elazığ İli stratejik gürültü haritalarının hazırlanması raporu.
- [7] https://www.pce-instruments.com/f/turkey/desibelmetre-trafik-guerueltuesue-6.pdf (18.03.2020).
- [8] Aktürk, N., Toprak, R., Asiloğulları, E. (2003). Hızlı Raylı Ulaşım Sistem Kaynaklı Çevresel Gürültü, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cit: 18, No: 3, Ankara, s: 15-25.
- [9] www.cevrekirliligi.net/gurultu-kirliligi-kaynaklari/ (15.03.2020).
- [10] Alexandra, A. (1975).Road Traffic Noise, New York-Wiley, ABD.
- [11] Erdogan, S., Dogan, M., Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T., Melike, U. L. U., Ömer, S. İ. S. E. (2007). Afyonkarahisar il merkezi karayolu trafik gürültü haritasının hazırlanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 151-164.

- [12] www.haliccevre.com/images/gurultu/11.pdf (18.03.2020).
- [13] Ding, Y., Wang, H. (2017). "FEM-BEM analysis of tyre-pavement noise on porous asphalt surfaces with different textures," *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 1-8.
- [14] Herrington, P., Reilly, S., Cook, S. (2005). "Porous asphalt durability test. Transfund New Zealand research," Report No.265, Transfund, New Zealand.
- [15] Bay, F., Güney, A. (1998). Lastik Yol Gürültüsü, 4. Akustik ve Gürültü Kongresi, Kasım, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.
- [16] Bennert, T., Hanson, D. Maher, A., and Vitillo, N. (2005). "Influence of pavement surface type on tire/pavement generated noise." *Journal of Testing and Evaluation*, 33(2), 94-100.
- [17] Bernhard, R. J. Wayson and R. L. (2005). "An introduction to tire/pavement noise." Institute for Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University. Report SQDH 2005-1.
- [18] Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., and Nakatsuji, T. (1996). "Improvement in the effect of drainage asphalt road surface on noise reduction," *Applied Acoustics*, 47(3), 189-204.
- [19] Sousa, J. B., Way, G. B., and Zhu, H. (2004). "Asphalt-rubber noise data Compilation (Synthesis of Current Practices)".
- [20] Sandberg, U., and Ejsmont, J. A. (2002). "Tyre/Road noise reference book", Informex, SE-59040 Kisa, Sweden.
- [21] İmamoğlu, C.T. (2012). Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamalara Trafik Gürültüsünü Sönümlemedeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Kleizienė, R., Šernas, O., Vaitkus, A., & Simanavičienė, R. (2019). Asphalt pavement acoustic performance model. *Sustainability*, 11(10), 2938.
- [23] Aksnes, J. (2009). Environmentally Friendly Pavements; Norwegian Public Roads Administration: Oslo, Norway.
- [24] Son, S., Al-Qadi, I.L., Zehr, T. (2016). 4.75mm SMA performance and cost-effectiveness for asphalt thin overlays. *Int. J. Pavement Eng.*, 17, 799-809. [CrossRef].
- [25] Vaitkus, A., Andriejauskas, T., Vorobjovas, V., Šernas, O., Skrodenis, D. (2018). Acoustical aging of low noise pavements expressed by different measuring techniques. *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, Zagreb, Croatia.
- [26] <https://www.antbilgi.com/poroz-asfalt-nedir/> (10.04.2020).
- [27] Öztürk, D. (2008). Türkiye'de Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] <https://www.senhesapla.com/blog/en-guncel-asfalt-fiyatları-asfalt-maliyeti/> (21.05.2020).
- [29] Özay, O., Öztürk, E., A. (2013). Modifiye Edilmiş Poroz Asfalt Karışımların Performansı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28,3, 577-586.
- [30] Civelek, U. (2011). Poroz Asfalt, Bitirme Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Tasarımı Öğretmenliği Bölümü, Isparta.
- [31] <https://www.essagrup.com/tr/asfalt-tipleri/> (25.05.2020).
- [32] http://www.jaijobner.com/products_details.php?a_id=123 (05.06.2020).
- [33] Temren, Z. (2009). Taş Mastik Asfalt Dizaynı, Üretimi ve Uygulamaları. Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği, Ankara, 35 s.
- [34] Vázquez, V. F., Terán, F., Luong, J., & Paje, S. E. (2019). Functional performance of stone mastic asphalt pavements in Spain: Acoustic assessment. *Coatings*, 9(2), 123.
- [35] Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği, <http://www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=27> (02.04.2020).
- [36] Uluçaylı, M. (2002). Asfalt El Kitabı. İstanbul: İSFALT.
- [37] Greer, G. (2006). Stone mastic asphalt-a review of its noise reducing and early life skid resistance properties. In *Proceedings of ACOUSTICS*, 319-323.
- [38] Tunç, A. (2004). Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
- [39] Umar, F., Açar, E. (1999). Yol Üstyapısı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [40] Guo, Z., Yi, J., Xie, S., Chu, J., Feng, D. (2018). Study on the Influential Factors of Noise Characteristics in Dense-Graded Asphalt

Mixtures and Field Asphalt Pavements.
Shock and Vibration, 2018.

- [41] Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T.W., Durairaj, R., Hamid, H.S., H.B. (2017). A review: characteristics of noise absorption material, Journal of Physics: Conference Series, vol. 908.
- [42] https://www.vaasphalt.org/wp-content/uploads/2012/07/Asphalt_Pave_Mitigate_757265452_162006152353.pdf
(14.06.2020).

