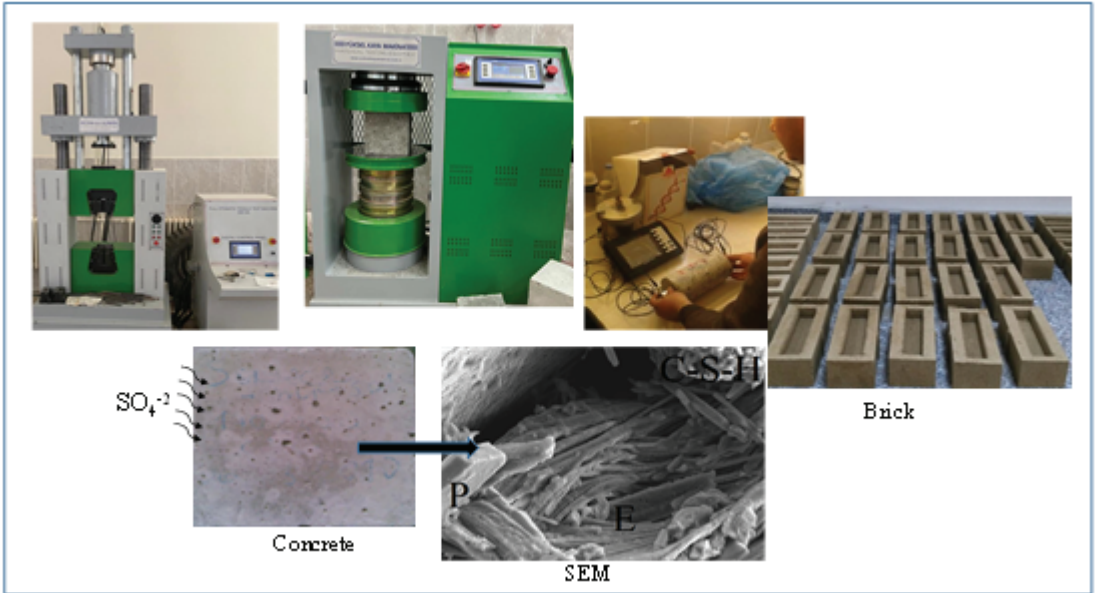


BUILDING MATERIALS AND SUSTAINABILITY OF THE ENVIRONMENT

(YAPI MALZEMELERİ VE ÇEVRENİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ)

EDITOR
Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ



**BUILDING MATERIALS AND SUSTAINABILITY OF
THE ENVIRONMENT
(YAPI MALZEMELERİ VE ÇEVRENİN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ)**

EDITOR

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

AUTHORS

Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Assoc. Prof. Dr. Kadir GÜÇLÜER

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Assist. Prof. Dr. Murat DOĞRUYOL

M.Sc (Civil Engineering). Mustafa EZİCİ

Abdurrahman ÜNSAL

Mustafa İNCEYOL



Copyright © 2022 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2022©

ISBN: 978-625-6955-49-3
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2022
Ankara / Turkey
Size = 16 x 24 cm

CONTENTS

PREFACE

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ.....1

CHAPTER 1

MECHANICAL PROPERTIES OF MINERAL ADDITIVE CONCRETE PRODUCED WITH MARBLE WASTE

Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Assoc. Dr. Kadir GÜÇLÜER

Abdurrahman ÜNSAL..... 3

CHAPTER 2

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CLAY SOIL EXCAVATED FROM BUILDİNG FOUNDATIONS IN BRICK PRODUCTION BY ADDING BROKEN GLASS

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Mustafa İNCEYOL17

CHAPTER 3

MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE APPLIED TO DIFFERENT VIBRATION AND CURING CONDITIONS

Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Assoc. Prof. Dr. Kadir GÜÇLÜER

M.Sc (Civil Engineering). Mustafa EZİCİ43

CHAPTER 4

SÜLFAT ATAKLARININ BETON TASARIMINA ETKİSİ

Assist. Prof. Dr. Murat DOĞRUYOL63

CHAPTER 5

BETONDA ALKALİ-AGREGA BOZULMALARI

Assist. Prof. Dr. Murat DOĞRUYOL83

PREFACE

Misuse of agricultural lands causes them to become barren and causes other soil problems that are difficult to recycle, making agricultural activities difficult. The areas utilized by brick-and-tile industries for their raw material requirements are the most harmful to the environment and the most challenging to restore for agriculture after usage. Given that the restricted soil is formed over thousands of years, fertilization efforts are highly expensive economically, and it is also technically difficult to speed soil formation or increase its volume, it is virtually impossible to return these lands to agricultural activity. There are numerous examples of lands that are thrown out of agriculture after being used as raw materials by brick-tile factories.

The primary and fundamental problems of engineers and architects working in the design and implementation of structures are building material issues and technologies. It has not been easy for humanity to produce advanced and diverse building materials at the level of today's modern civilization.

Unfortunately, when compared to other developed countries, our country has almost no recycling in the construction industry. However, building materials such as asphalt, concrete, aggregate, wood, excavation, and so on can be recycled or converted into raw materials, reducing their damaging consequences on both the economy and the environment. This section discusses the materials that can be recycled in the construction industry, as well as the evaluation of their waste as a raw material source.

Sincerely Yours,

December, 2022

Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

CHAPTER 1

MECHANICAL PROPERTIES OF MINERAL ADDITIVE CONCRETE PRODUCED WITH MARBLE WASTE

¹Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

²Assoc. Dr. Kadir GÜÇLÜER

³Abdurrahman ÜNSAL

¹ Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Adiyaman University, 02040, Adiyaman, Turkey, Email: gunaydin@adiyaman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7559-5684>

² Department of Construction, School of Technical Sciences, Adiyaman University, 02040, Adiyaman, Turkey, Email: kgucluer@adiyaman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7617-198X>

³ Adiyaman University, Construction and Technical Department, Adiyaman, Email: aunsal@adiyaman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4121-1982>

INTRODUCTION

Utilizing the marble industries' trash as production waste eliminates a problem from both an environmental and industrial perspective. Alternatives that may be discovered in the evaluation of marble wastes will not only supply resources to the marble operators and the nation's economy, but will also eliminate the polluting aspect of these operations to a considerable extent.

Silica fume, fly ash, and blast furnace slag are the most commonly utilized pozzolans in the manufacturing of high-strength concrete (Shi, 2001). Fly ash is a mineral-based byproduct of thermal power plants with pozzolanic properties (Malhotra & Mehta 2002; Karaşin & Doğruyol, 2014). Fly ash is a mineral additive with pozzolanic qualities that can improve the concrete's properties. Due to its pozzolanic reactivity, it can contribute to the durability of concrete's compressive strength and decrease its permeability (Yazıcı, 2005). Due of its high pozzolanic activity value, silica fume is a very useful mineral addition despite being an industrial byproduct. Silica fume grains fill gaps, reduce Ca(OH)_2 crystals, and boost cement and concrete compressive strength (Yeğınobalı, 2002, Karaşin et al.,2022). Due to this characteristic, it not only contributes to the compressive strength of concrete, but also to its durability (Atis et al., 2003). Blast furnace slag is a byproduct of iron manufacturing obtained from furnaces (Tokyay and Erdođdu, 1997). It can exhibit pozzolanic

qualities in the manufacturing of ground concrete and positively influence the durability of concrete (Emiroğlu et al., 2011).

The purpose of this study is to eliminate the industrial and environmental issues associated with the use of marble wastes and concrete crushed stone aggregate, which are industrial wastes, and fly ash-silica fume-blast furnace slag as mineral additives in the building industry.

EXPERIMENTAL STUDIES and FINDINGS

- **Used materials**

CEM I 42.5 R type Portland cement according to TS EN 197-1 (2002) was utilized as the binding material in the trials conducted as part of this investigation (Table 1). Table 2 shows the chemical characteristics of fly ash, blast furnace slag, and silica fume utilized as cement substitutes at 10%, 20%, and 30% rates.

Table 1. Physical properties of cement used

Physical Properties		Results
Specific Gravity (gr/cm ³)		3.09
	First(minutes)	125
Setting Time		
	Last (minutes)	190
Fineness	SpecificSurface (cm ² /gr)	3420

Table 2. Chemical composition of cement, mineral admixture and aggregate used

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Cement	19,29	3,88	4,25	62,63	3,42	2,58	0,34	2,86
FA	50,43	13,17	9,56	10,79	3,74	3,45	1,88	0,86
SF	94,36	0,81	0,70	0,74	1,18	0,20	0,86	0,74
BFS	40,10	7,83	0,92	39,69	4,26	2,11	1,24	0,63
Aggregate	2,15	0,69	0,27	43,31	8,74	-	-	44,93

The Adıyaman Preference Marble Emprador quarry provided the fine, medium, and coarse marble crushed stone aggregates that were utilized. Table 3 lists the physical features of the aggregates. In crushed stone aggregates, the maximum grain diameter was determined to be 22 millimeters, and aggregate granulometry was evaluated in accordance with TS 706 pr EN 12620. (Figure 1).

Table 3. Physical properties of aggregates used

Specific Gravity	Fine (0-5 mm)	2.41
	Medium (5-12 mm)	2.52
	Coarse (12-22 mm)	2.58
Water absorption (%)		5.00
Water Content (%)		0.10

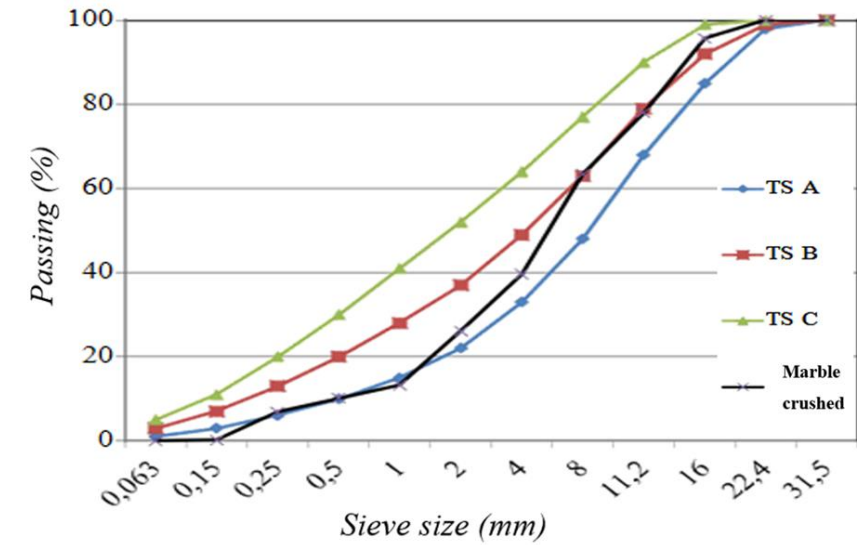


Figure 1. The aggregate used's granulometry curve

- **Method**

In the concrete mixture prepared in accordance with TS 802, 10%, 20%, and 30% FA, SF, and BFS were substituted for no admixture (control) to generate concrete. These concrete samples were set in 7x7x7 cm cube molds, and after being removed from the molds a day later, their mechanical strengths were assessed after 7, 28, and 90 days of curing.

- **Ultrasonic velocity**

The wave velocity was computed using the equation below after measuring how long it takes for the ultrasonic wave sent from one surface of the concrete samples to pass to the other surface in ultrasound measurements (Figure 2).

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3$$

V denotes the supersonic wave speed (km/sec), S the distance between the surface of the sample where the wave is sent and the surface where the wave is received (meters), and t the time (microseconds) that elapses between the concrete surface where the wave is sent and the other surface where it is received.

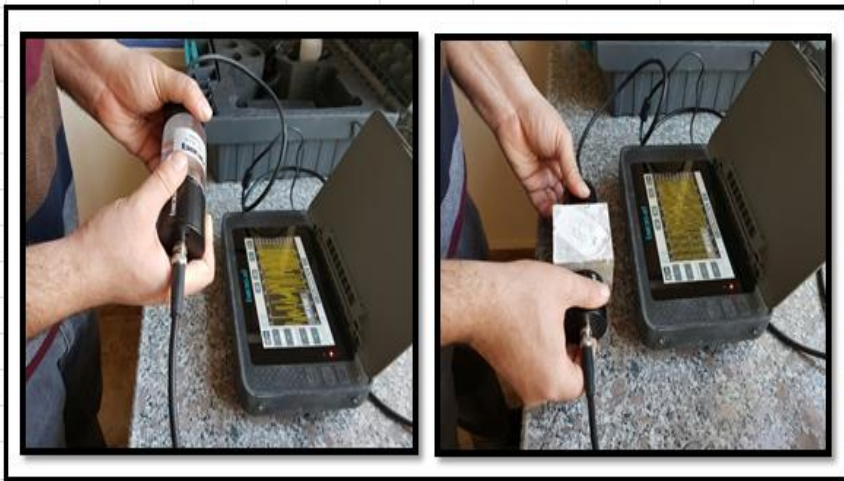


Figure 2. Ultrasound velocity measurements

On 7, 28, and 90-day concretes, respectively, ultrasound velocity (V_p) measurements on FA, SF, and BFS added concretes were found to be 4.45 km/sec, 4.36 km/sec, and 4.31 km/sec (Table 4).

Table 4. Values for measuring ultrasound velocity (Vp)

Sample No	7 Days		28 Days		90 Days	
	Value	Avg	Value	Avg	Value	Avg
Control	4,00		4,30		4,67	
	4,00	4,00	4,30	4,30	4,59	4,60
	4,00		4,30		4,53	
SF % 10	4,30		4,40		4,61	
	4,20	4,20	4,30	4,30	4,61	4,63
	4,10		4,20		4,67	
SF % 20	4,30		4,40		4,61	
	4,30	4,30	4,40	4,40	4,62	4,62
	4,30		4,40		4,62	
SF % 30	4,20		4,30		4,67	
	4,20	4,17	4,30	4,30	4,61	4,63
	4,10		4,30		4,62	
FA % 10	4,10		4,40		4,64	
	4,00	4,03	4,30	4,37	4,62	4,62
	4,00		4,40		4,59	
FA % 20	3,80		4,20		4,64	
	3,80	3,80	4,00	4,10	4,50	4,55
	3,80		4,10		4,52	
FA % 30	3,50		3,90		4,40	
	3,60	3,57	3,90	3,97	4,44	4,40
	3,60		4,10		4,35	
BFS % 10	4,32		4,46		4,65	
	4,28	4,24	4,67	4,55	4,71	4,68
	4,12		4,52		4,68	
BFS % 20	3,85		4,43		4,79	
	4,07	3,85	4,49	4,44	4,53	4,70
	3,63		4,39		4,78	
BFS % 30	3,83		4,28		4,58	
	3,66	3,74	4,38	4,34	4,61	4,61
	3,74		4,38		4,65	

Whitehurst (1951) made an assessment of concrete quality using ultrasonic transmission rates, as shown in Table 5. The ultrasonic velocity readings of the concrete samples were higher than 4.5 km/s, and it was judged that they were of "very good" concrete quality, according to Whitehurst (1951).

Table 5. Ultrasound transmission rate method evaluation of concrete quality (Whitehurst 1951)

Very Good	> 4,5 km/h
Good	3,5–4,5 km/h
Suspect	3–3,5 km/h
Weak	2–3 km/h
Very Weak	<2 km/h

- **Compressive Strength**

According to TS EN 12390, concrete samples were forced into a 200-ton pressure press at a continuous loading rate of 6 kgf/cm².sec. The greatest stress value recorded by the computer was then read. The compressive strength values are determined as f_c (MPa) from the relation $f_c = P/A$, where the reading P (N) represents the area A (mm²) to which the pressure force is applied (Figure 3). The determined concrete strength values are shown in Figure 4.



Figure 3. Concrete that has been hardened and measured for compressive strength

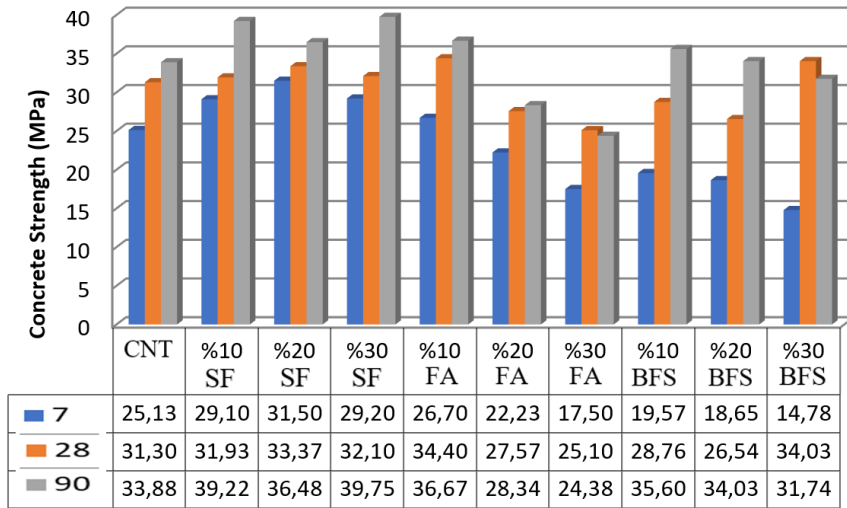


Figure 4. Concrete strength values of 7, 28 and 90 days

CONCLUSION

According to the findings obtained at the end of 7, 28 and 90 days from the samples produced from SF, FA and BFS additives substituted for concrete with marble crushed aggregate;

- In ultrasound speed values, the highest speed value is reached at 20% BFS (4.70 km/s) in 90-day concrete,
- Compressive strength values of SF, FA and BFS added concretes have reached the target strength (C25/30) in all concretes with additives,
- It has been determined that the best results in SF, FA and BFS added concretes are in the 90-days 30% SF substituted concrete with a compressive strength of 40 MPa.

REFERENCES

- Atiř, C., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., K., Demir, A. (2003). Silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4): 121-124.
- Emiroğlu, M., Koçak, Y., Subaşı, S. (2011) Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey. pp113-117.
- Malhotra, V., M., Mehta, P. K., (2002) High Performance, High Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials For Sustainable Development Inc.*, Ottawa.
- Karaşın, A., Doğruyol, M., (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
- Karasin, A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Doğruyol, M., Karasin, I. B., Czarnecki, S. (2022). The effect of basalt aggregates and mineral admixtures on the mechanical properties of concrete exposed to sulphate attacks. *Materials*, 15(4), 1581.
- Shi, C., (2001) An Overview on the Activation of Reactivity of Natural Pozzolans, *Canadian Journal of Civil Engineering*, No. 28, pp. 778-786.
- Yeğinobalı, A., (2002) Silis Dumanı ile Çimento ve Betonda Kullanımı, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ar-Ge, Y01.01.
- Tokyay, M., ve Erdoğan, K., (1997). Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, *Çimento Müstahsilleri Birliği*, TÇMB / AR-GE/Y 97.2, 34.
- TS EN 197-1 (2002), Çimentoların Bileřim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

Yazıcı, H. (2005). Yüksek hacimde c sınıfı uçucu kül içeren betonların mekanik özellikleri ve sülfürik asit dayanıklılığı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3):443-448.

CHAPTER 2

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CLAY SOIL EXCAVATED FROM BUILDING FOUNDATIONS IN BRICK PRODUCTION BY ADDING BROKEN GLASS

¹Assoc.Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

²Mustafa İNCEYOL

INTRODUCTION

Clays are relatively common at the earth's surface and regularly contain 0.002 mm hydrous phyllosilicates. The most common and well-known industrial items, such as pottery, glass, ceramics, tiles, bricks, and tile porcelain, are mostly made from clay minerals or clayey soils, which are found naturally and abundantly on the earth's surface. Furthermore, they have long been used in a variety of industrial applications such as ink, oil refining, rubber, pharmaceuticals, paper, paint, and petroleum (Akdim et al., 2017; Konta, 1995).

Much research has been conducted on clayey soils for the production of ceramics, particularly in the fields of industrial ceramic and brick applications around the world. (Boussen et al., 2016; De Bonis et al., 2017; Jordan et al., 2020; Khitab et al., 2021; Manoharan et al., 2011; Pérez-Monserrat et al., 2022; Semiz, 2017; Temga et al., 2019; Wang et al., 2016). With a strong growth rate since 1980, Turkey's ceramic and bricks sector is one of the most important economic markets (Celik, 2010). Turkey has large clay supplies that are being exploited, especially in the central and western portions of the nation, for the manufacturing of traditional pottery and bricks. (Celik, 2010; Özkan et al., 2010; Semiz, 2017; Söylemez et al., 2011). There hasn't been enough research on the quality of clay-rich materials from the Adyaman region and their potential for use in brick building, despite the fact that clay-rich raw material is the primary

material utilized by local brick producers. Clay-rich raw materials for making bricks are imported from other regions or taken from productive agricultural lands, raising the cost and rendering these lands infertile. In the Adyaman region, only by (Çelik et al., 2019) has previously been published research on the use of clay soils for brick manufacture.

MATERIAL AND METHOD

- **The geological setting and sampling criteria**

The geological unit with the greatest distribution in the study area is the Plio-Kuvaterner deposits. In this area, intense erosion has brought the Şelmo Formation to the surface in many places. Clastic sediments make up the majority of Plio-Quaternary deposits. Conglomerates are generally mixed-bedded, sandstones contain frequently cross-bedded conglomerate lenses, and fine sands and siltstones. Despite certain facies fluctuations in both the vertical and horizontal directions, the Plio-Quaternary deposits in the basin, which range in thickness from 20 to 40 meters on average, show that a regular and uninterrupted sedimentation process has been going on overall. Şelmo Formation was overlain by Plio-Quaternary units via a straightforward unconformity. The basin's streams were almost entirely buried in this young layer, which was formed by the severe splitting of Plio-Quaternary units, which have been usually located between 600 and 700 m in height. (Karadoğan and Tombul, 2013).

The potential for making bricks from waste clay soils excavated in construction foundations in the Adyaman province was investigated for the first time in this study, without causing harm to agricultural lands (Fig 1). A few engineering and firing properties of clayey soils produced by foundation excavations were also studied.



Figure 1. A View From The Sampling Locations

- **Analytical Methodologies**

During the excavation for the building foundation, clay-rich raw materials with no organic matter or plant residues were prepared. Glass particles crushed to the same dimensions were added at 10% and 20% rates to this clayey soil. The ratios of clay, silt, and sand in clayey soils were determined using wet sieving over a

62.5 μm screen. A hydrometer study based on Stokes' Law, which stipulates that each spherical particle falls at a constant speed under gravity, was used to measure the quantity of silt and clay, while the amount of sand was determined using a sieve analysis with an electric shaker. In accordance with the (ASTM D 4318-00, 2003) standard, the Casagrande technique was used to calculate important plasticity values such as the liquid limit (LL), plastic limit (PL), and plasticity index (PI). The plasticity index was calculated using the difference between the LL and PL values.

The clay-rich materials were crushed and combined with 17 percent water content after being oven-dried at 105 °C to improve particle binding and make bricks of the required size. Bricks measuring 15 cm x 7 cm x 4 cm were made to test the firing characteristics of the samples (Fig. 2).



Figure 2. Bricks produced in the dimensions of 15 cm x 7 cm x 4 cm

To remove the absorbed water, the brick samples were dried at room temperature for 24 hours before being oven-dried at 105 °C for 24 hours. Before determining the properties of fired brick samples according to the ISO 10545-3 standard, they were fired in a laboratory oven at temperatures ranging from 700 °C to 1200 °C. (in 100 °C increments).

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

- **Characterization of the samples**

In the technology of ceramic and brick manufacturing, clayey soil particle size distributions (PSD) are a definitely necessary indicator. (Andrade et al., 2011; Öser, 2020; Rowe et al., 1983; Sridharan et al., 1998). The samples under study have a wide range of particle sizes. The soil used in the experiments for making bricks contains 16.77 % sand, 43.15 % silt, and 40.08 % clay (Fig.3).

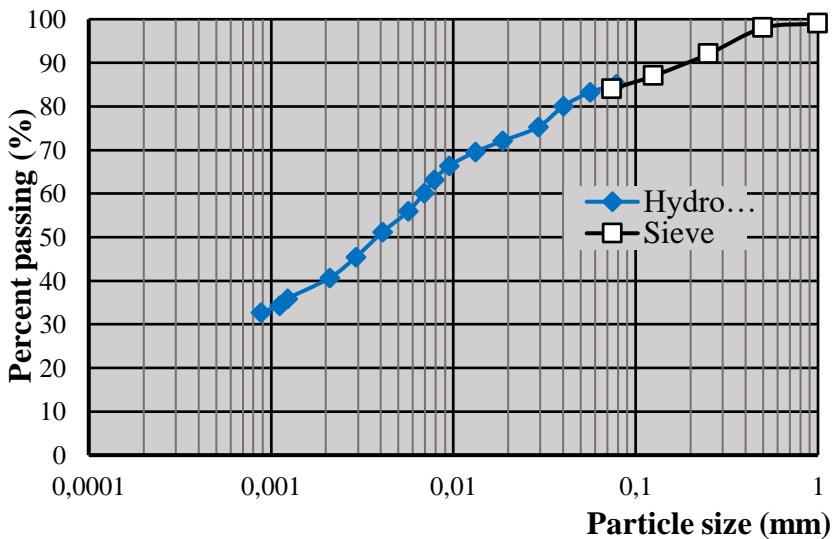


Figure 3. The Particle Size Distribution Of The Clayey Soils Used In The Experiments

The relationship between the porosity, plasticity, and permeability characteristics of the clayey soil samples used in the studies and the PSD ratios is shown by the plasticity table and the triple diagram. The PSD of these clay-rich materials is also similar to the PSD of the clay-rich Manisa (Turgutlu) and Denizli clays, which are used to make the majority of Turkey's bricks and tiles. Clay soils suitable for brick production are divided into three types: silty clay or clayey silt, loam, and sandy clays and sandy silts. All samples were classified as clayey silt with little plasticity. All samples collected from various areas of the same geological soil layer had similar ratios of clay, silt, and sand as well as similar plasticity characteristics. (Table 1, Fig. 4 and Fig. 5).

Table 1. UTM Coordinates, PSD, Consistency Limits And Color Of The Samples

Sample	UTM		PSD (mass %)			Atterberg Limits (%)			Color
			Sand	Silt	Clay	LL	PL	PI	
YSPR	377349	382347 8	16,8	43,1	40,08	42.0	27. 6	14. 4	Gray, pale yellow
ALSR	377315	382314 1	15,6	42,6	41,9	39.0	30. 0	8.7	Gray, pale yellow
CMPS	377500	382244 3	15,0	41,9	42,7	41.0	29. 2	11. 8	Gray, pale yellow

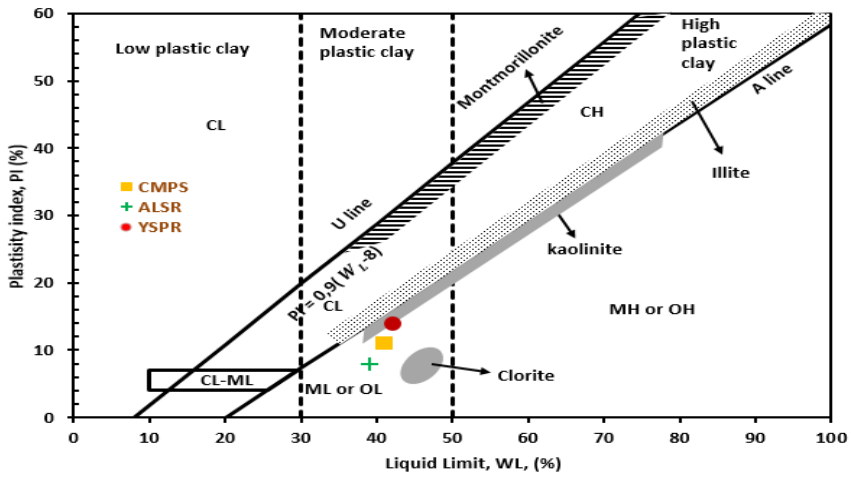


Figure 4. Plasticity Properties Of CMPS, ALSR, And YSPR Samples (Casagrande, 1948)

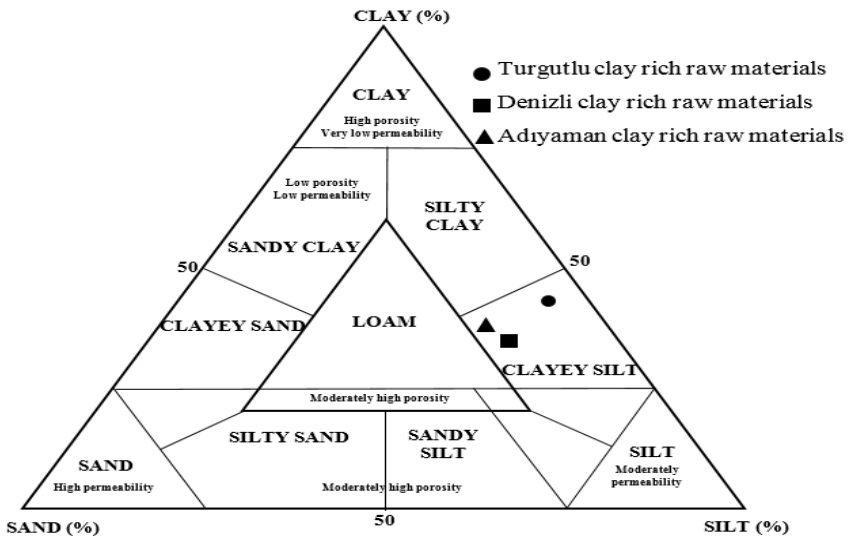


Figure 5. The Relationship Between Porosity And Permeability Of Clay, Silt And Sandy Soils

The workability of clayey soils in the manufacturing of brick and ceramics depends heavily on their plasticity properties. (Andrade et al., 2011; Baran et al., 2001; Fontes et al., 2019). Comparisons were made between the characteristics of clayey soil samples used in potential brick raw material experiments and those of clayey soil samples that have been used in brick production in Turkey for years (Semiz, 2017, 2018; Söylemez et al., 2011). The average PL value in these clay-rich materials is 28.9 %. This number suggests that the plasticity is not very high. For ceramic applications that have drying concerns, high PL values are essential. Higher plasticity is related to greater mechanical strength. (Jordan et al., 2020; Monteiro et al., 2004).

One of the key considerations in the selection and manufacturing processes for the production of clayey substances is the plasticity of the clays. (Murray, 2000). The geological formation of the soil, the mineral composition, the proportions of non-clay organic and other minerals, and the particle size distribution all affect how plastic a clayey soil is (Andrade et al., 2011; Baran et al., 2001; Hajjaji et al., 2010; Lei et al., 2019; Schmitz et al., 2004).

Particle size distribution information often explains differences in sample plasticity. (De Wang et al., 2008; Ngun et al., 2011). The plasticity and workability of the raw materials used to produce ceramics and bricks are influenced by the presence of clay. (Andrade et al., 2011; Baran et al., 2001; Diko et al., 2011). (Fig. 6).

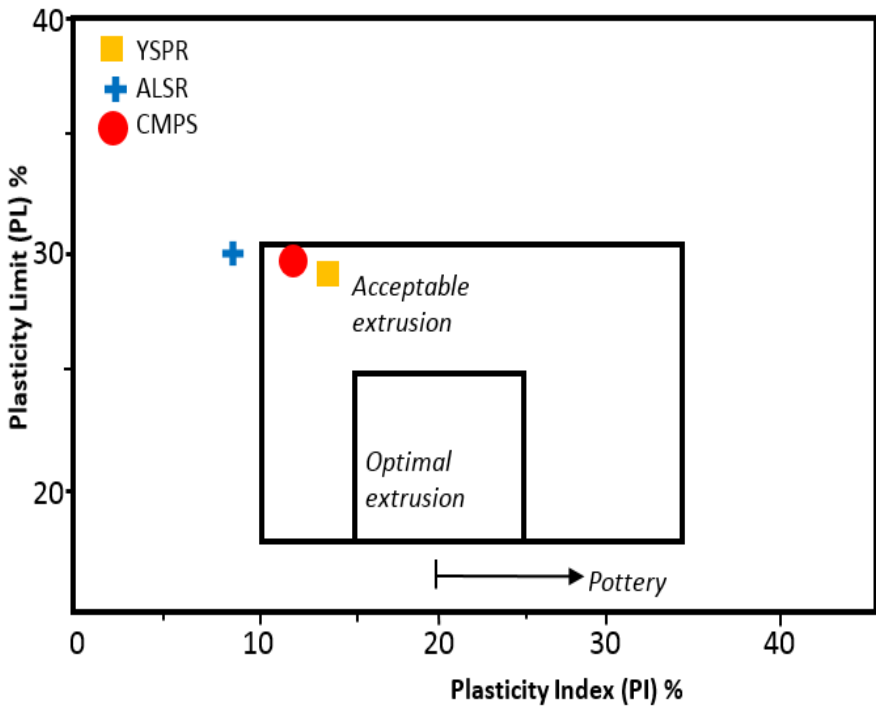


Figure 6. Positions Of The Samples Of Clayey Soil Used In The Tests On The Workability Card

Based on particle size distribution, the Winkler diagram categorizes clay soils that are suitable for making bricks and ceramics into four classes. The first group consists of common bricks, the second of vertically perforated bricks, the third of roofing tiles and masonry bricks, and the fourth of hollow products. It was discovered that these samples may be used to make masonry bricks and roofing tiles (Fig 7).

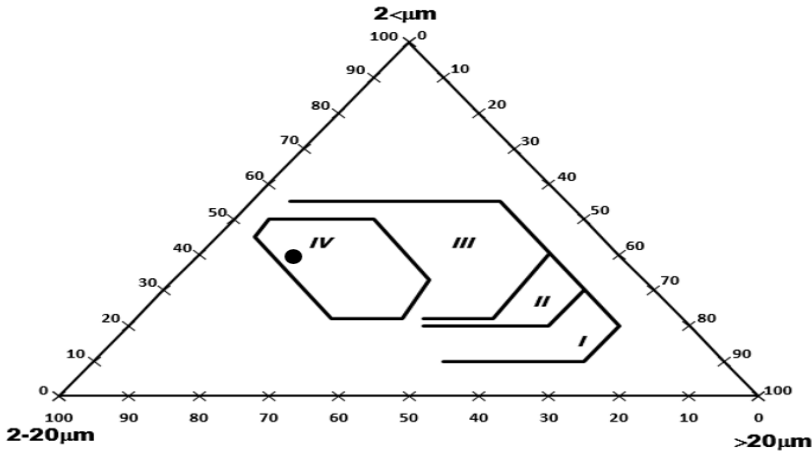


Figure 7. The suitability of clayey soils for roofing tiles and masonry bricks construction based on particle size distribution

- **Elemental content of soil samples**

Depending on the firing temperature and iron oxide content, clayey soils used to make bricks and ceramics can range in color from light brown to dark red (Semiz, 2017; Tsozué et al., 2017). Most clayey soils used to create bricks and ceramics have an iron oxide level of roughly 4%. All soil samples utilized to make bricks were gray or light yellow in color due to an abundance of fine grain (>83%) and Ca compounds. Additionally, these clay-rich materials' fired colors resemble the bricks that Adiyaman purchases from the Manisa region and other locations and uses as building materials.

Si, Al, Mg, Ca, and Fe compounds constituted the majority of bulk samples of Adiyaman clayey soils. In EDX investigations done on brick samples (CMPS samples) fired at 900 °C, the Ca

element ratio is higher than other elements and is around 37%. Al 22%, Si 17%, Fe 15%, and Mg 9% in that order, in terms of other elements, are represented. Similar to this, the Si, Al, Fe, and Mg element ratios in ALSR samples are 17%, 22%, 15%, and 9%, respectively, whereas the Ca element ratio is 37%. However, Si dominates YSPR samples with a 40% share, followed by 29% Ca, 18% Al, 7% Fe, and 6% Mg.

- **Thermal analysis and technological properties**

Three soil samples for brick materials were used to explain the firing and technological properties potential (CMPS, ALSR and YSPR). Iron oxide (Fe_2O_3) is typically to blame for the brick dough's color shift that results from firing (Fig 8).

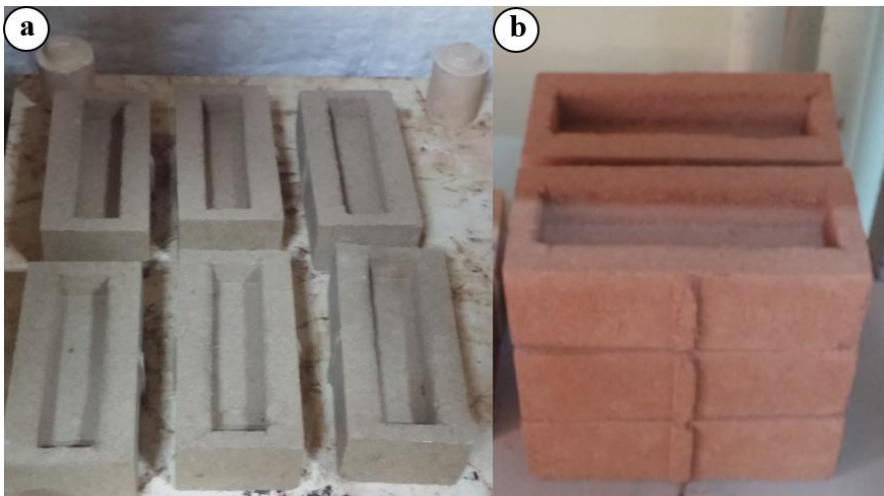


Figure 8. Color change of bricks (a) before firing and (b) after firing

Unexpected color and texture features are frequently seen in fired samples due to the iron oxide presence in clayey soils utilized in the manufacturing of brick and ceramics. (Canti et al., 2000; Fontes et al., 2019; Jordanova et al., 2019). This is why the color of clayey brick dough changed from bright yellow to dark brown when fired at temperatures greater than 700 °C.

The longitudinal wave velocities, water absorption rates, firing losses, and unconfined compressive strengths (UCS) of clayey soils are all significantly influenced by the firing temperature (700 °C–1200 °C). As the temperature of the firing increased, the longitudinal wave velocities of the brick samples fell. The samples' greater porosity may be the cause of this intriguing finding, which goes against expectations (Fig.9).

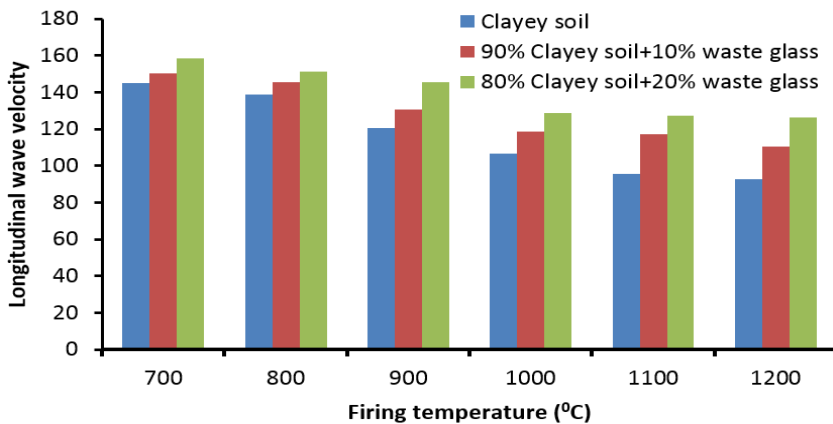


Figure 9. Variation Of Longitudinal Wave Velocity With Temperature

According to ISO13006-10545/98, bricks are divided into three categories based on their water absorptions: low water absorption

(3%), medium water absorption (between 3 and 10%), and high water absorption (> 10%).

The water absorption amount of the brick samples is at the highest level between 1000 °C -1100 °C. This can be explained by the porosity increasing as a result of some minerals evaporating. Between 700 °C and 900 °C, the water absorption values for all samples were around 21%. The essential minimum temperature for mineral transformation has been attained, as evidenced by the abrupt change in water absorption rates at 900 °C. (Fig.10).

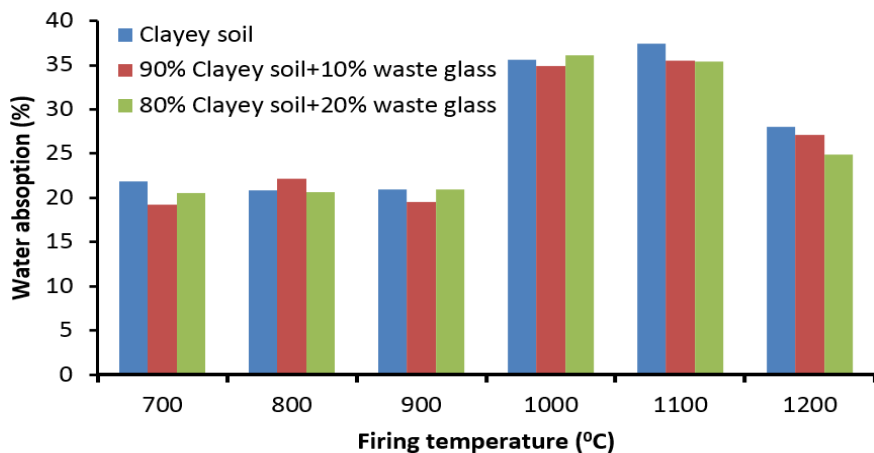


Fig. 10. Variation Of Water Absorption With Temperature

Despite the obvious relationship between firing temperatures and sample UCS values, all samples produced the maximum UCS values, ranging from 2.55 to 4.80 MPa, at temperatures between 700 °C and 1100 °C. Strength increasing with temperature can be explained by the emergence of the glassy phase. Even though it

accomplished so progressively in each sample, the compressive strength maintained up to 900 °C. When the firing temperature reached 1200 °C, the rise decreased after reaching a high between 1000 °C and 1100 °C. (Fig.11).

Maximum firing losses of possible soil samples rich in clay for making bricks ranged from 28% to 31% in the 1000 °C –1200 °C range (Fig.12). The firing loss reveals the effectiveness of the firing. The highest change trend was found above 900 °C, most likely as a result of the more prominent liquid phase structure.

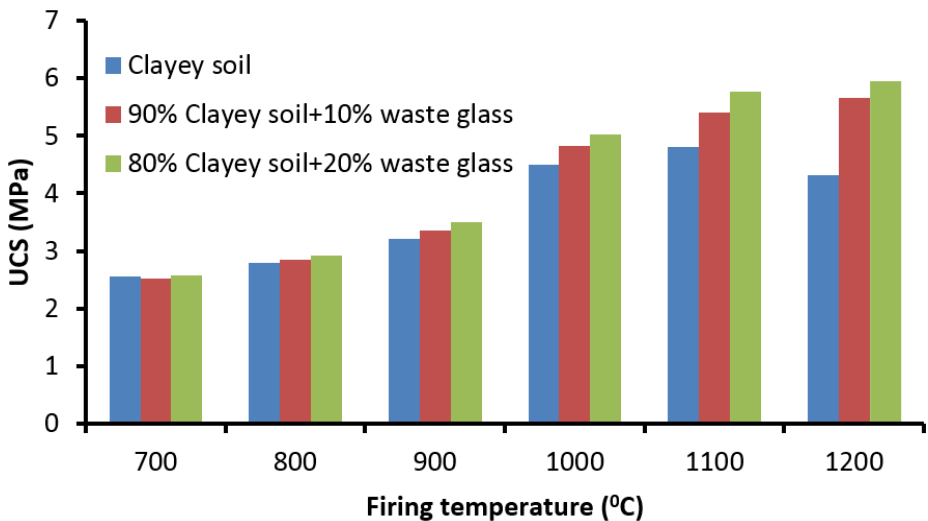


Figure 11. Variation of Unconfined Compression Strength (UCS) With Temperature

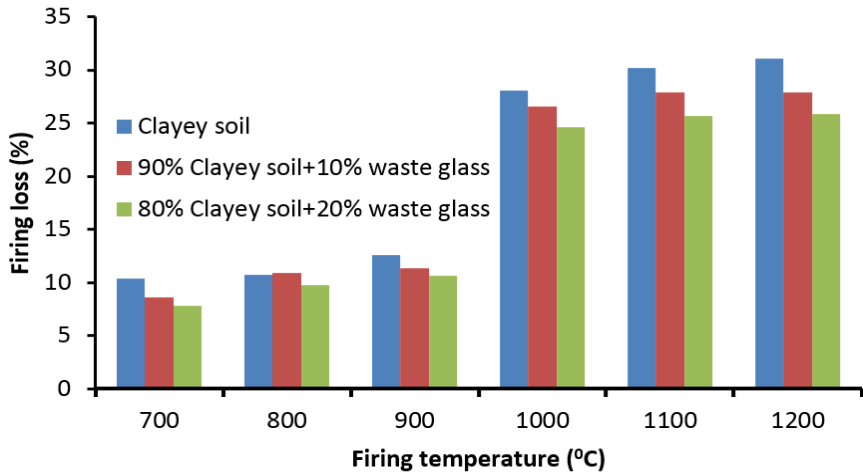


Figure 12. Variation Of Firing Loss With Temperature

All of the brick samples changed into a liquid glassy phase with fluid characteristics at 1200 °C, the higher the firing temperature (Fig. 13).



Fig. 13. Conversion Of Brick Samples To Liquid Phase At 1200 °C

RESULTS

The engineering and technological characteristics of the three soil samples (CMPS, ALSR, and YSPR) are similar.

The ratio of Ca, Al, and Si compounds is higher in EDX studies of brick samples burnt at 900 °C than the ratio of other element compounds. Fe and Mg compounds serve as a representation for the remaining substances. Clayey soil samples from CMPS, ALSR, and YSPR were categorized as clayey silt, with Ca, Al, Si, and Fe being the primary components.

According to the plasticity index, samples of clayey soil exhibit a low level of plasticity. Since the plastic limit value of these soil samples is low, there won't be any drying problems when making bricks. UCS increased gradually up to 900 °C before peaking between 1000 °C and 1100 °C. This can be interpreted to mean that the glassy phase develops at the same time as the temperature rises. The increase in UCS may have been influenced by the change in brick sample size caused by their conversion to a liquid glassy phase at a firing temperature of 1200 °C.

At firing temperatures exceeding 900 °C, considerable reductions in longitudinal wave velocities were seen together with large increases in water absorption capacity, UCS, and firing losses. These changes all point to 900 °C as the threshold temperature for mineral transformation in these soil samples.

During the creation of the liquid phase, the liquid surface tension assisted in bringing the particles closer together and decreasing porosity, while porosity rose, probably as a result of some minerals melting and losing volume. The results showed that the investigated soil samples (CMPS, ALSR, and YSPR) have the necessary qualities to produce bricks.

Acknowledgments: This study was produced from the master's thesis named “Investigation of the usability of clay soil omitted from Adıyaman settlement areas with the contribution of soda glass in brick production”.

REFERENCES

- Akdim, M., Mesrar, L., Boukili, B., & Jabrane, R. (2017). Physicochemical characterization of mixtures of the miocene marl of Fez vicinity, cellulose and pozzolan. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(8), 2747–2756.
- Andrade, F. A., Al-Qureshi, H. A., & Hotza, D. (2011). Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science*, 51(1–2), 1–7. doi: 10.1016/j.clay.2010.10.028
- ASTM D 4318-00. (2003). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. Annual Book of ASTM Standards*. American Society For Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 582–593.
- Baran, B., Ertürk, T., Sarikaya, Y., & Alemdaroğlu, T. (2001). Workability test method for metals applied to examine a workability measure (plastic limit) for clays. *Applied Clay Science*, 20(1–2), 53–63. doi: 10.1016/S0169-1317(01)00042-4
- Boussen, S., Sghaier, D., Chaabani, F., Jamoussi, B., & Bennour, A. (2016). Characteristics and industrial application of the Lower Cretaceous clay deposits (Bouhedma Formation), Southeast Tunisia: Potential use for the manufacturing of ceramic tiles and bricks. *Applied Clay Science*, 123, 210–221. doi: 10.1016/j.clay.2016.01.027
- Canti, M. G., & Linford, N. (2000). The Effects of Fire on Archaeological Soils and Sediments: Temperature and Colour Relationships. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 66(February 2014), 385–395. doi: 10.1017/s0079497x00001869
- Casagrande, A. (1948). *Plasticity chart for the classification of cohesive soils. T. Am. Soc. Civ. Eng.* 113, 901.
- Çelik, A., Kadir, S., Kapur, S., Zorlu, K., Akça, E., Akşit, İ., & Cebeci, Z. (2019). The effect of high temperature minerals and microstructure on the compressive strength of bricks. *Applied Clay Science*,

- 169(November 2018), 91–101. doi: 10.1016/j.clay.2018.11.020
- Celik, H. (2010). Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. *Applied Clay Science*, 50(2), 245–254. doi: 10.1016/j.clay.2010.08.005
- De Bonis, A., Cultrone, G., Grifa, C., Langella, A., Leone, A. P., Mercurio, M., & Morra, V. (2017). Different shades of red: The complexity of mineralogical and physico-chemical factors influencing the colour of ceramics. *Ceramics International*, 43(11), 8065–8074. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.03.127
- De Wang, Fu, B., Zhao, W., Hu, H., & Wang, Y. (2008). Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau, China. *Catena*, 72(1), 29–36. doi: 10.1016/j.catena.2007.03.019
- Diko, M. L., Ekosse, G. E., Ayonghe, S. N., & Ntasin, E. B. (2011). Physical characterization of clayey materials from tertiary volcanic cones in Limbe (Cameroon) for ceramic applications. *Applied Clay Science*, 51(3), 380–384. doi: 10.1016/j.clay.2010.11.034
- Fontes, W. C., Franco de Carvalho, J. M., Andrade, L. C. R., Segadães, A. M., & Peixoto, R. A. F. (2019). Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to “brown porcelain.” *Construction and Building Materials*, 206, 111–121. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.052
- Hajjaji, W., Hachani, M., Moussi, B., Jeridi, K., Medhioub, M., López-Galindo, A., Rocha, F., Labrincha, J. A., & Jamoussi, F. (2010). Mineralogy and plasticity in clay sediments from north-east Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 57(1–2), 41–46. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2009.07.007
- Jordan, M. M., Montero, M. A., García-Sánchez, E., & Martínez-Poveda, A. (2020). Firing behaviour of Tertiary, Cretaceous and Permo-Triassic clays from Castellon ceramic cluster (Spain). *Applied Clay Science*, 198(October 2019), 105804. doi: 10.1016/j.clay.2020.105804

- Jordanova, N., Jordanova, D., Barrón, V., Lesigyerski, D., & Kostadinova-Avramova, M. (2019). Rock-magnetic and color characteristics of archaeological samples from burnt clay from destructions and ceramics in relation to their firing temperature. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(7), 3595–3612. doi: 10.1007/s12520-019-00782-y
- Karadoğan, S., & Tonbul, S. (2013). Adıyaman havzasının jeomorfolojik özellikleri. *The Journal of Academic Social Sciences*, 182–217. doi: 10.16992/ASOS.32
- Khitab, A., Riaz, M. S., Jalil, A., Khan, R. B. N., Anwar, W., Khan, R. A., Arshad, M. T., Kirgiz, M. S., Tariq, Z., & Tayyab, S. (2021). Manufacturing of clayey bricks by synergistic use of waste brick and ceramic powders as partial replacement of clay. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(18), 1–15. doi: 10.3390/su131810214
- Konta, J. i. (1995). Clay and man: clay raw materials in the service of man. *Applied Clay Science*, *10*(4), 275–335. doi: 10.1016/0169-1317(95)00029-4
- Lei, M., Liu, J., Lin, Y., Shi, C., & Liu, C. (2019). Deformation Characteristics and Influence Factors of a Shallow Tunnel Excavated in Soft Clay with High Plasticity. *Advances in Civil Engineering*, 2019. doi: 10.1155/2019/7483628
- Manoharan, C., Sutharsan, P., Dhanapandian, S., Venkatachalapathy, R., & Asanulla, R. M. (2011). Analysis of temperature effect on ceramic brick production from alluvial deposits, Tamilnadu, India. *Applied Clay Science*, *54*(1), 20–25. doi: 10.1016/j.clay.2011.07.002
- Monteiro, S. N., & Vieira, C. M. F. (2004). Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil. *Applied Clay Science*, *27*(3–4), 229–234. doi: 10.1016/j.clay.2004.03.002
- Murray, H. H. (2000). Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: A general overview. *Applied Clay Science*, *17*(5–6),

207–221. doi: 10.1016/S0169-1317(00)00016-8

- Ngun, B. K., Mohamad, H., Sulaiman, S. K., Okada, K., & Ahmad, Z. A. (2011). Some ceramic properties of clays from central Cambodia. *Applied Clay Science*, 53(1), 33–41. doi: 10.1016/j.clay.2011.04.017
- Öser, C. (2020). Determining the plasticity properties of high plastic clays: a new empirical approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(11). doi: 10.1007/s12517-020-05412-9
- Özkan, I., Çolak, M., & Oyman, R. E. (2010). Characterization of waste clay from the Sardes (Salihli) placer gold mine and its utilization in floor-tile manufacture. *Applied Clay Science*, 49(4), 420–425. doi: 10.1016/j.clay.2009.08.021
- Pérez-Monserrat, E. M., Causarano, M. A., Maritan, L., Chavarria, A., Brogiolo, G. Pietro, & Cultrone, G. (2022). Roman brick production technologies in Padua (Northern Italy) along the Late Antiquity and Medieval Times: Durable bricks on high humid environs. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 12–20. doi: 10.1016/j.culher.2022.01.007
- Rowe, R. K., Lo, K. Y., & Kack, G. J. (1983). Method of Estimating Surface Settlement Above Tunnels Constructed in Soft Ground. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(1), 11–22. doi: 10.1139/t83-002
- Schmitz, R. M., Schroeder, C., & Charlier, R. (2004). Chemo-mechanical interactions in clay: A correlation between clay mineralogy and Atterberg limits. *Applied Clay Science*, 26(1-4 SPEC. ISS.), 351–358. doi: 10.1016/j.clay.2003.12.015
- Semiz, B. (2017). Characteristics of clay-rich raw materials for ceramic applications in Denizli region (Western Anatolia). *Applied Clay Science*, 137, 83–93. doi: 10.1016/j.clay.2016.12.014
- Semiz, B. (2018). Characteristics of clays from Pamukkale (Denizli) region, and their usability in ceramic sector. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1237–1244. doi: 10.5505/pajes.2017.77853
- Söylemez, M., Demir, A., & Onar, A. (2011). pişme sıcaklığının tuğlanın bazı

- fiziksel özelliklerine etkisi THE EFFECTS OF BURNING TEMPERATURE ON SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MASONRY. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 71–80.
- Sridharan, A., & Prakash, K. (1998). Characteristic water contents of a fine-grained soil-water system. *Geotechnique*, 48(3), 337–346. doi: 10.1680/geot.1998.48.3.337
- Temga, J. P., Mache, J. R., Madi, A. B., Nguetnkam, J. P., & Bitom, D. L. (2019). Ceramics applications of clay in Lake Chad Basin, Central Africa. *Applied Clay Science*, 171(November 2018), 118–132. doi: 10.1016/j.clay.2019.02.003
- Tsozué, D., Nzeugang, A. N., Mache, J. R., Loweh, S., & Fagel, N. (2017). Mineralogical, physico-chemical and technological characterization of clays from Maroua (Far-North, Cameroon) for use in ceramic bricks production. *Journal of Building Engineering*, 11(March), 17–24. doi: 10.1016/j.job.2017.03.008
- Wang, J., Liu, F. Y., Wang, P., & Cai, Y. Q. (2016). Particle size effects on coarse soil-geogrid interface response in cyclic and post-cyclic direct shear tests. *Geotextiles and Geomembranes*. doi: 10.1016/j.geotexmem.2016.06.011

CHAPTER 3

MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE APPLIED TO DIFFERENT VIBRATION AND CURING CONDITIONS

¹M.Sc (Civil Engineering). Mustafa EZİCİ

²Prof. Dr. Osman Günaydın

³Assoc. Prof. Dr. Kadir Güçlüer

¹Adıyaman University Construction and Technical Department, Adıyaman, ezici_mustafa@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6037-9022>

² Adıyaman University Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Adıyaman, osmangunaydin@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7559-5684>

³Adıyaman University Vocational School of Technical Sciences Department of Construction, Adıyaman, kgucluer@adiyaman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7617-198X>

INTRODUCTION

Ready-mixed concrete undergoes physical and mechanical changes depending on external and internal conditions during the stages of transportation, placement and application. The transport time and shape of the concrete, air temperature are some parameters that affect the properties of the concrete. Errors during the placement of concrete may have a negative effect on the physical and mechanical properties of the concrete. Incomplete and incorrect operations in the placement and maintenance of concrete may cause major problems in the reinforced concrete structure.

In studies on concrete, although the standard compressive strength is the most important feature of concrete as a material feature, it can be said that it is related to compressive strength in many other properties. 28-day standard compressive strength values are used to determine the concrete class according to TS 500, February (2000). It has been observed that the main source of many problems in the buildings is due to the low quality of the concrete and the problems caused by earthquakes and similar effects (Eren 1999). The reason why the concrete is based on the 28-day compressive strength of the concrete is that it achieves approximately 70% of the highest strength that the concrete can reach over time in the first 28 days. Concrete must show no less strength than the targeted strength for days 7, 28 or later (Erdoğan 2004). Bottomhough the same aggregate and the same cement are

used and no change is made in the composition and production methods, the strengths of the concrete can be different from each other and can vary over a wide range. It is seen that concrete compressive strength is affected by the conditions such as water/cement ratio, type and proportions of aggregate, concrete pouring and curing conditions, cement type and ratio, test application, etc. (Türkel 2006, Karaşin et. al 2022).

Effective and standard-compliant concrete casting positively affects the compressive strength of concrete. Pressure test results of concrete samples without vibration are significantly less. In particular, the decrease in the compressive strength of concrete with low precipitation value reaches 35%. (Yılmaz and Canpolat 2002). Curing, compaction, temperature and precipitation conditions affect the concrete compressive strength, as well as the unit mass of the concrete. It has been observed that the compaction conditions contribute approximately 15% to the concrete compressive strength, and that an effective compaction method in concrete casting is indispensable to obtain voidless and high strength concrete (Akyüz 2013). When we examined the effects of the cure on the curtain concrete samples, the compressive strength of the cured sample was higher than the non-cured sample. The most important factors affecting the strength in field concrete exposed to atmospheric conditions are vibration and curing. Failure to apply both can reduce concrete strength by up to 70% (Güler 2014).

Curing conditions affect the relationship between core sample and standard cylinder sample compressive strengths. It was observed that there was a 20% difference between the compressive strength of the samples produced and stored in the standard curing environment and the compressive strength of the samples cured in the external environment. This 20% strength loss shows that concrete curing, which is not sufficiently done today, should be carried out with appropriate methods (Filiz 2006).

In this study, the mechanical properties of the concrete poured and maintained in accordance with the standards and the mechanical properties of the concrete not poured and maintained in accordance with the standards were compared by conducting destructive and non-destructive experiments.

EXPERIMENTAL STUDIES AND FINDINGS

Materials Used

- **Concrete**

In this study, concrete class C 30/37 concrete produced in ready-mixed concrete plant was used. CEM I 42.5 R, aggregate type natural stream material was selected as the cement type. The amount of materials used in 1 m³ concrete is given in Table 1.

Table 1. 1 m³ Quantities Of Materials Used In Concrete

Material Used	Quantity (kg)
Cement CEM I 42.5 R	320
Water	160
Fine Aggregate	850
Coarse Aggregate	1150
Total	2480 kg/m³

- **Concrete Form**

In the study, 4 pieces of 40x40x250 cm (plywood) reinforced concrete form were installed (Figure 1). The form surface was formed in a way that would not leak the concrete water and the surfaces to come to the concrete were lubricated. The concrete form used is reinforced to withstand 8000 12000 revolutions per minute.



Figure 1. Concrete Forms Established For The Study

Method

In this study, 4 concrete columns of 40x40x250 cm were poured. In the concrete casting process of the columns; casting in one stage and without vibrator in K1 column casting, casting in two equal stages and in vibrator construction site conditions in K2 column casting, casting in three equal stages and in vibrator construction site conditions in K3 column casting, casting in 5 equal stages and in accordance with vibrator standards in K4 column casting (Table 2 and Figure 2).

Table 2. Concrete Casting And Maintenance Diagram Applied To Columns

Columns	Casting Stage	Vibration Application	Maintenance Procedure
K1	Single-Stage Cast	Vibrator	Cure-Free
K2	Two Stages of Casting	Vibrator Under Construction Conditions	Cured Under Construction Conditions
K3	Three Stages of Casting	Vibrator Under Construction Conditions	Cured Under Construction Conditions
K4	Five Stages of Casting	Standard Compliant Vibrator	Standard Compliant Cured

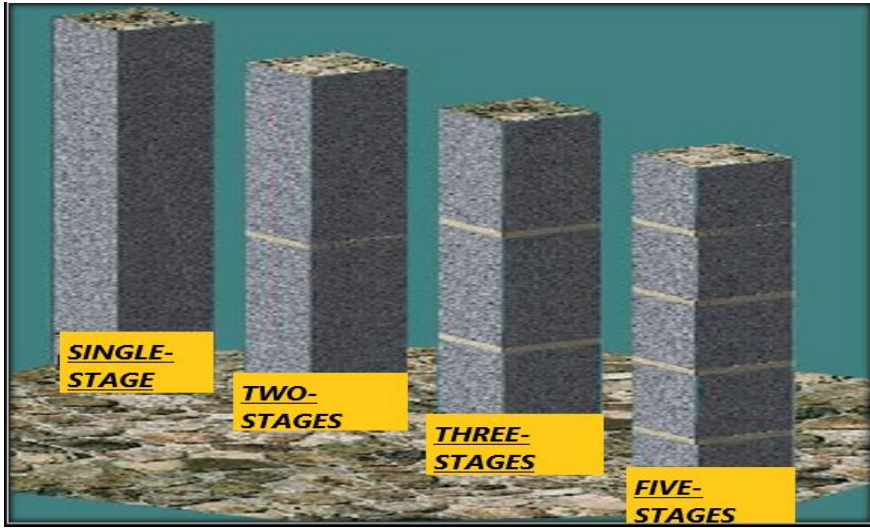


Figure 2. Concrete Casting Plan Applied To Columns

Column concrete was kept in the construction site for 5 months and at the end of this period, the columns were taken to Adıyaman marble factory for cutting. The columns were cut from the lower, middle and upper regions with the este machine. $4 \times 3 = 12$ rectangular prism concrete samples measuring 40x40x25 cm were removed from the columns (Figure 3).



Figure 3. Concrete Samples Cut To 40x40x25 cm Dimensions

Samples were taken in line with concrete casting with coring machine. A total of 48 (12x4) cores, 10x25 cm in size, were taken from each sample as 4 cores (Figure 4 5).



Figure 4. Coring Process

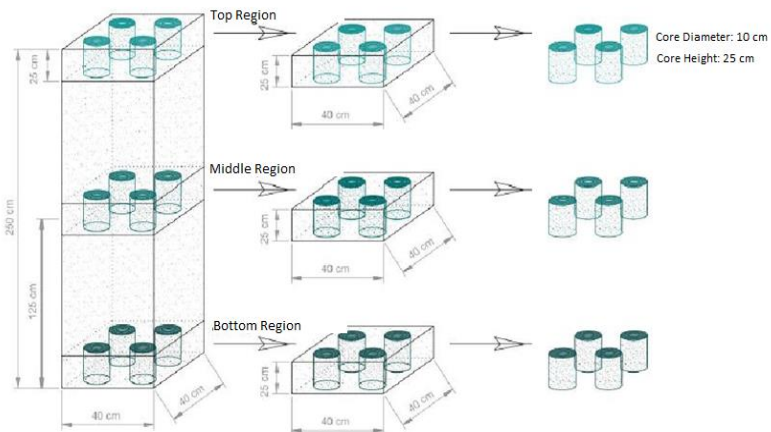


Figure 5. Coring Process From Columns

The cores with a diameter of 10 cm taken from prismatic samples were measured with a delicacy of $2\frac{1}{2}$, and the lower and upper surfaces were cut parallel to each other with the stone marble head cutting machine of the Adiyaman Marble factory (Figure 6).



Figure 6. Heading Cutting by Measuring Coring Samples in Adiyaman Marble Factory

- **Ultrasonic Speed**

Before proceeding to the test phase, the calibration of the ultrasound device was verified with the calibration rod (Figure 7). The receiver and transmitter heads connected to the test tool cables were placed on both sides of the core whose strength was to be determined so that there was no gap on the concrete surface. The electrical signal generated by the tester transmits to the crystal of the transmitter head, where the signals are converted into sound waves. The transmitter head conveys to the receiver head a sound wave passing through the test concrete element, wherein the sound wave is converted into electrical current and this current is monitored from the cathode ray tube of the test instrument (Figure 7). The time taken for the sound wave to pass from the transmitter to the receiver is measured by the test instrument with an accuracy of $1\mu\text{s}$.

The speed at which the sound passes through the concrete is calculated in km/h by dividing the passage length between the receiver and the transmitter by the passage time.



Figure 7. Calibration of Ultrasound Device and Ultrasound Test Applied to Samples

In line with the purpose of the study, the ultrasound velocity, averages and standard deviations of 10x20 cm 4x3x4 =48 cylindrical core samples taken from the upper, middle and lower regions of each column are given in Table 3.

Table 3. Ultrasound Speed, Averages and Standard Deviations of the Coring

Column No	Region	Coring No	Speed km/s	Average	Std. sapma	Column No	Region	Coring No	Speed km/s	Average	Std. sapma
K1	Top	1.1.1	3,10	2,93	±0,341	K3	Top	3.1.1	2,45	2,84	±0,472
		1.1.2	2,43					3.1.2	3,21		
		1.1.3	3,17					3.1.3	2,41		
		1.1.4	3,04					3.1.4	3,28		
	Middle	1.4.1	3,12	3,21	±0,108		Middle	3.4.1	4,00	3,15	±0,643
		1.4.2	3,33					3.4.2	3,03		
		1.4.3	3,11					3.4.3	3,10		
		1.4.4	3,26					3.4.4	2,45		
	Bottom	1.8.1	4,11	3,37	±0,960		Bottom	3.8.1	3,29	3,59	±0,375
		1.8.2	2,54					3.8.2	3,38		
		1.8.3	4,28					3.8.3	3,57		
		1.8.4	2,53					3.8.4	4,13		
K2	Top	2.1.1	2,42	2,93	±0,365	K4	Top	4.1.1	3,60	3,07	±0,459
		2.1.2	3,16					4.1.2	2,48		
		2.1.3	2,92					4.1.3	3,14		
		2.1.4	3,23					4.1.4	3,05		
	Middle	2.4.1	3,14	3,18	±0,078		Middle	4.4.1	3,21	3,33	±0,422
		2.4.2	3,27					4.4.2	3,03		
		2.4.3	3,10					4.4.3	3,96		

Column No	Region	Coring No	Speed km/s	Average	Std. sapma	Column No	Region	Coring No	Speed km/s	Average	Std. sapma
		2.4.4	3,22	3,47	±0,256			4.4.4	3,15	3,34	±0,333
	Bottom	2.8.1	3,26				4.8.1	2,92			
		2.8.2	3,38					4.8.2	3,26		
		2.8.3	3,39						4.8.3		
		2.8.4	3,84					4.8.4			

When the average ultrasound velocities of the columns were examined, they appeared in the lowest upper region and the highest lower region in each column. When the general average ultrasound velocities between the columns were examined, the lowest ultrasound velocity was found in the K1 column and the highest ultrasound velocity was found in the K4 column. The average ultrasound velocity of the K1 column showed a 2% velocity loss compared to the average ultrasound velocity of the K4 column, and the average ultrasound velocity in the middle region of the K1 column showed a 4% velocity loss compared to the average ultrasound velocity in the middle region of the K4 column.

In general, it was observed that the ultrasound velocity increased with vibrator and curing application, but the average ultrasound velocity in the lower region of the K4 column showed a 7%

velocity loss compared to the average ultrasound velocity in the lower region of the K3 column. It was thought that the reason for this situation was that the lower region of the K4 column was exposed to vibration more than the lower region of the K3 column.

- **Compressive Strength**

48 core samples were loaded with a 200-ton pressure press at a constant loading rate of 6 MPa/s. The highest stress values affecting the core samples were read on the computer (Figure 8). The readings are calculated from the relation $f_c = P/A$ as P (N), the area where the pressure force is applied A (mm²) and the compressive strength values as f_c (MPa).



Figure 8. Pressure Test Applied to Core Samples

For the purpose of the study, the compressive strengths, averages and standard deviations of 10x20 cm sized 4x3x4=48 cylindrical core samples taken from the upper, middle and lower regions of each column are given in Table 4.

Table 4. Strengths and Averages of Coring Found as a Result of Compress Test

Column No	Region	Coring No	Compres	Average	Std. sapma	Column No	Region	Coring No	Compres	Average (MPa)	Std. sapma
K1	Top	1.1.1	23,35	23,61	±2,848	K3	Top	3.1.1	20,89	22,75	±2,064
		1.1.2	22,94					3.1.2	24,22		
		1.1.3	27,50					3.1.3	21,07		
		1.1.4	20,66					3.1.4	24,84		
	Middle	1.4.1	25,74	24,11	±1,143		Middle	3.4.1	22,65	25,12	±1,891
		1.4.2	23,32					3.4.2	26,04		
		1.4.3	23,32					3.4.3	27,03		
		1.4.4	24,05					3.4.4	24,78		
	Bottom	1.8.1	21,95	25,13	±3,781		Bottom	3.8.1	28,23	27,81	±2,702
		1.8.2	24,87					3.8.2	31,47		
		1.8.3	30,51					3.8.3	25,89		
		1.8.4	23,19					3.8.4	25,66		
K2	Top	2.1.1	23,63	23,65	±3,379	K4	Top	4.1.1	25,30	23,63	±1,316
		2.1.2	19,08					4.1.2	22,84		
		2.1.3	27,15					4.1.3	22,35		
		2.1.4	24,72					4.1.4	24,02		
	Middle	2.4.1	26,74	Middle	4.4.1		27,95	26,71	±1,828		

Column No	Region	Coring No	Compres	Average	Std. sapma	Column No	Region	Coring No	Compres	Average (MPa)	Std. sapma
		2.4.2	22,94	25,35	±3,207			4.4.2	23,99	26,72	±1,291
		2.4.3	29,22					4.4.3	27,56		
		2.4.4	22,50					4.4.4	27,32		
Bottom		2.8.1	26,30	25,44	±1,610		Bottom	4.8.1	27,64	26,72	±1,291
		2.8.2	23,03					4.8.2	25,21		
		2.8.3	26,24					4.8.3	26,08		
		2.8.4	26,20					4.8.4	27,94		

RESULTS

In this study, the mechanical properties of concrete, which applied different vibration and curing conditions, were investigated; The lowest strength values were observed in the K1 column and the highest strength values were observed in the K4 column. The average strength loss of the K1 column compared to the K4 column was measured as 5%. The average strength in the middle section of the K1 column showed a 10% strength loss compared to the average strength in the middle section of the K4 column. The average strength loss of the K2 column compared to the K4 column was measured as 3%. The average strength of the K2 column in the middle section showed a 5% strength loss compared to the average strength in the middle section of the K4 column. The average strength loss of the K3 column compared to

the K4 column was measured as 2%. The average strength of the K2 column in the middle section showed a 6% strength loss compared to the average strength in the middle section of the K4 column. The average strength in the middle region of the K2 column was higher than the average strength in the middle section of the K3 column. It was thought that the reason for this situation was due to the fact that the area exposed to the vibrator operation coincided with the midpoint of the K2 column. The average strength in the lower region of the K4 column showed a 4% strength loss compared to the average strength in the lower region of the K3 column. It was thought that the reason for this situation was that the lower region of the K4 column was exposed to vibration vibration more than the lower region of the K3 column.

In general, it was observed that in-situ compressive strengths increased with vibrator and curing application. However, it was observed that the strength decreased as a result of weathering in the region exposed to excessive vibration. The average regional ultrasound velocities of the columns obtained from the measurements made with ultrasound velocity, which is one of the non-destructive methods used in the estimation of concrete strength, were evaluated and some results were obtained. When the general average ultrasound velocity averages among the columns are examined; The lowest ultrasound velocity was detected in the K1 column, and the highest ultrasound velocity was found in the K4 column. In general, it was observed that

ultrasound speed increased with vibrator and curing application. However, the average ultrasound velocity in the lower region of the K4 column showed 7% velocity loss compared to the average ultrasound velocity in the lower region of the K3 column. It was thought that the reason for this situation was that the lower region of the K4 column was exposed to vibration vibration more. When the regional average of the strength of the core samples taken from the columns and the ultrasound regional averages were examined, the connection between the concrete strength and the ultrasound velocity showed a linear increase with the vibrator application and the maintenance of the concrete.

When the relationship between coring strengths and standard 28-day strengths is examined; According to the official test results of cube samples taken from ready-mixed concrete, the average 28-day cube strength is 41.2 MPa, and its value in terms of 28-day cylinder strength is 32.96 MPa. By accepting the 28-day cylinder strength of the concrete as 100%, the % change relationship between the 28-day cylinder strength of the poured column concrete and the regional in situ core strength was investigated. According to the standard 28-day cylinder strength, the lowest strength loss was seen in the K4 column. The strength loss was 26.33% in the K1 column, 24.72% in the K2 column, 23.45% in the K3 column, and 22.08% in the K4 column. Strength losses decreased with vibration and maintenance factors. The average %

values of the strength of the columns according to the 28-day standard cylinder strength were in the range of 65-85.

As a result of the study, regional differences in coring strength are not only due to the pouring and maintenance of the concrete. In-situ compressive strengths may differ depending on coring operations, core evaluation tests, concrete age, presence of reinforcement in concrete, temperature changes and similar external factors.

In summary, in order to create livable areas by preventing loss of life and property, it is imperative to comply with the standards at all stages, from the production of concrete to the pouring and maintenance of concrete.

REFERENCES

- Akyüz, E., (2013). The Effect of Curing, Compres, Temperature and Precipitation Conditions on Concrete Compressive Strength, Master's Thesis, G.U Institute of Science, Gumushane.
- Erdogan, T., (2004). Concrete Materials with Questions and Answers, Turkish Ready Mixed Concrete Association Publications, Istanbul.
- Eren, I., (1999). Causes of Earthquake Damages and Suggestions, ISKI Publications, Istanbul.
- Güler, M., (2014). The Effect of Concrete Casting Conditions on Ready-Mixed Concrete Compressive Strength in Curtains, Master's Thesis, ESOGU Institute of Science, Eskisehir.
- Filiz, M.H., (2006). Determination of the Relationship Between Concrete Core Strengths and Standard Cylinder Strengths Based on Curing Conditions, Master's Thesis, K.T.Ü Institute of Natural and Applied Sciences, Trabzon.
- TS 500, February (2000). Design and Construction Rules of Reinforced Concrete Structures, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 1247, (1984). Concrete Construction, Casting and Maintenance Rules (under normal weather conditions), Turkish Standards Institute, Ankara.
- Karasin, A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Doğruyol, M., Karasin, I. B., & Czarnecki, S. (2022). The effect of basalt aggregates and mineral admixtures on the mechanical properties of concrete exposed to sulphate attacks. *Materials*, 15(4), 1581.
- Turkel, A., (2006). The Effect of Sample Size on the Compressive Strength of Concrete, Master's Thesis, Istanbul Technical Institute, Istanbul.
- Yılmaz, K. and Canpolat, F., (2002). The ImpMiddlence of Effective Vibration in Concrete Quality, Osmangazi University Eng. Mim. Fak. Journal; 16:1 10.

CHAPTER 4

SÜLFAT ATAKLARININ BETON TASARIMINA ETKİSİ

Dr.Öğr.Üyesi Murat DOĞRUYOL

GİRİŞ

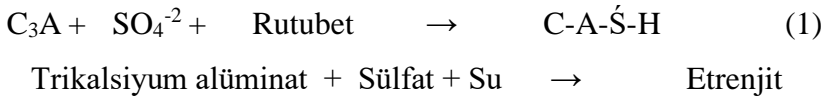
Beton, ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Avrupa hazır beton üretim birliği 2019 verilerine göre Avrupa Birliği'nde kişi başı beton üretimi $0,60 \text{ m}^3$ iken Türkiye'de $0,8 \text{ m}^3$ 'tür (ERMCO, 2019).

Bu denli rağbet gören yapı malzemesi olmasından ötürü betonun iyi tasarlanması, dayanım ve dayanıklılık performansının iyi olması gerekmektedir. Betonun dayanıklılığı yani hizmet ömrü büyük ölçüde çevresel faktörlerin etkisindedir. Ortamda bulunan kimyasallar beton içeresine nüfus edip bozulmalar meydana getirerek betonun dayanım ve dayanıklılığına olumsuz etki oluşturur. Betonun hizmet ömrünü etkileyen kimyasal etkilerin içinde en yaygın görüleni sülfat ataklarıdır (Erdoğan, 2002; Topçu, 2006; Baradan vd., 2010; Baradan ve Aydın, 2013).

Betondaki sülfat etkisi, hidrate Portland çimentosu ile betona nüfuz eden sülfat iyonlarının sertleşmiş bağlayıcı fazlar arasında genişleyen reaksiyon olarak tanımlanır. Genişleme genellikle etrenjit ve oluşan yüksek sülfat konsantrasyonları da alçı kaynaklıdır (Santhanam vd.,2003). Sülfatın etkisinin şiddetini, betonun geçirimsizliği, betonda kullanılan çimentonun cinsi etkilemektedir. Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento (SDÇ) ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkılarda kullanılabilir (Monteiro ve Kurtis, 2003; Neville, 2004).

Betona etki eden sülfat kaynağı iç veya dış kaynaklı olabilir. Dış sülfat kaynakları, çevrede doğal olarak oluşan, endüstriyel süreçlerin veya çeşitli insan faaliyetlerinin ürünü olan sülfatlardır (örneğin, gübreler genellikle sülfatları toprağa ve yeraltı suyuna bırakır). Beton üretiminde kullanılan çimentonun klinkeri de iç sülfat kaynağı olabilir (Xu vd., 1998; Rendon vd., 2012).

Genellikle toprakta, yer altı suyunda, yağmur suyunda, atık sularda ve deniz suyunda bulunan sülfat iyonları ana sülfat kaynağıdır. Çimento klinkerine öğütülme işleminde ani prizi önlemek için %5 ila %10 arasında selit olarak adlandırılan $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) eklenmektedir. Sülfat iyonları Portland çimentosunda Ca ve Al ile nüfuz edebilir ve etrenjit $\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ (C-A-Ş-H) ve alçıtaşı (CaCO_3) gibi genişleme ürünleri oluşturmak için reaksiyona girebilirler. Etrenjit oluşumu kristalleşme iç basınç artmasına neden olacaktır. Bu durum genişleme ile betonun çatlamasına neden olur ve daha fazla agresif iyonların betona girmesine ve beton performansını düşürmesine neden olur (Santhanam ve ark.2003). Sülfat saldırıları çimento klinkeri ile reaksiyonu ve etrenjit oluşumu denklem 1'deki gibidir.

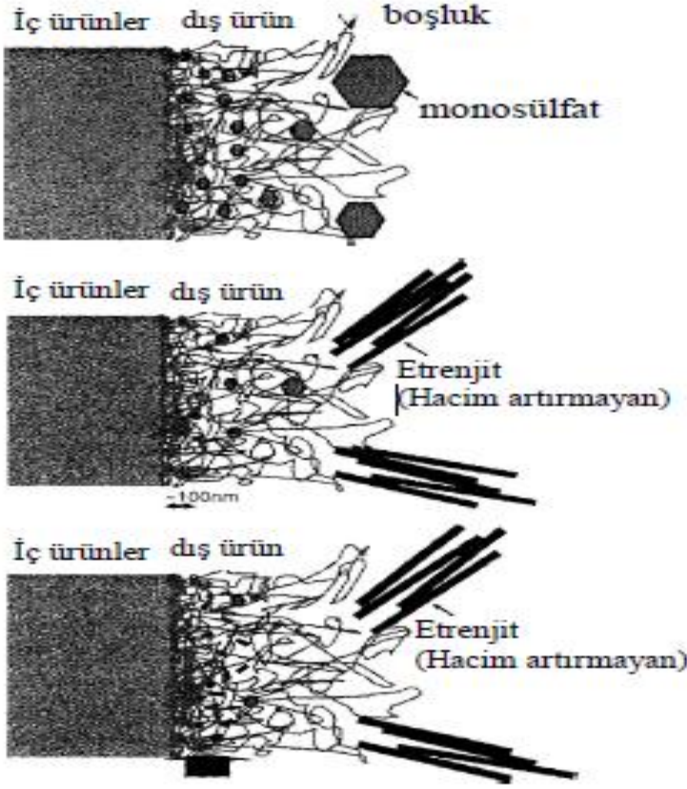


Betonarmenin mekanik özelliklerinin zamanla değişimi, fiziksel, kimyasal ve çevresel saldırıların bir sonucudur. Betonarmeyi etkileyen en sık ortam saldırıları arasında sülfat saldırısı yıkıcı

genişleme ile kendini gösterir ve çimento hamurunun kimyasal bozulmasına neden olur. Sülfatlar toprakta, özellikle kilde ve yeraltı sularında doğal olarak meydana gelebilir. Betonarme yapıların temelleri, köprü ayakları, kanalizasyon yapıları ve baraj yapıları sülfat etkisine maruz elemanlardır. Bol miktarda sülfat içeren alkali topraklar, uygun koşullarda betona zarar verebilir.

- **İç kaynaklı sülfat etkisi**

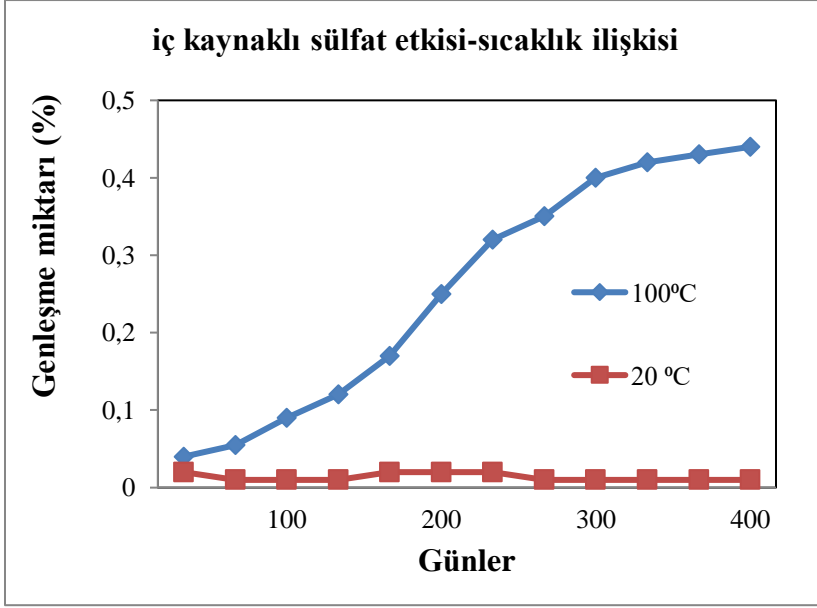
Sülfat iyonlarının uygun ortam şartlarında sertleşmiş beton içerisinde etrenjit kristalleri oluşturmaya iç kaynaklı sülfat etkisi denilmektedir. Çimento klinkerinde yer alan trikalsiyum alüminat (C_3A), beton agregası, karışım suyu ve kimyasal katkılardan gelen sülfat iyonları iç kaynaklı sülfat bozulmaların ana nedenleridir. Agreganın sülfatlı toprağa bulaşması veya arıtma suyu ile yıkanması iç sülfat etkisiyle oluşan betonda hacim artışına neden olan etrenjit kristalleri meydana getirebilir. Etrenjit, betonda hacimsel genişlemeye buna bağlı olarak iç basınç etkisiyle çatlak oluşumu ile beton performansını düşürmektedir (Şekil 1) (Casanova vd., 1997; Skalny vd., 2002; Collepardi, 2003; Ustabaş, 2008).



Şekil 1. Etrenjit oluşumunun şematik gösterimi

Betonun hidrasyonu sırasında sülfat (SO_3^{2-}) ve alüminat (Al_2O_3)'lar beton priz aldıktan sonra uygun çevre şartları altında kimyasal reaksiyonlara girerek etrenjit (birincil) oluşturabilirler (Batic vd., 2000; Skalny vd., 2002; Collepardi, 2003). Sülfat iyonları, betona çimento klinkerinden katılan Selit (C_3A ve CA) ve az kısmı da Ferit (C_4AF) alüminatları ile reaksiyona girerek tüketilir. Sertleşmiş betonun mikro yapısal incelemelerinde, aşırı miktardaki sülfat iyonlarının suyun etkisiyle yavaşça çözünerek yeni etrenjit (ikincil) kristallerini oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ancak iç sülfat etkisine maruz genleşmelerin yüksek ısıya maruz

kalmaması durumunda hacim artışı oluşturmadığı tespit edilmiştir (Batic vd., 2000; Collepari, 2003). Sıcaklık etkisi ve iç sülfat etkisi ile oluşan genişleme miktarları Şekil 2’de gösterilmiştir (Yang ve Lawrence, 1999).

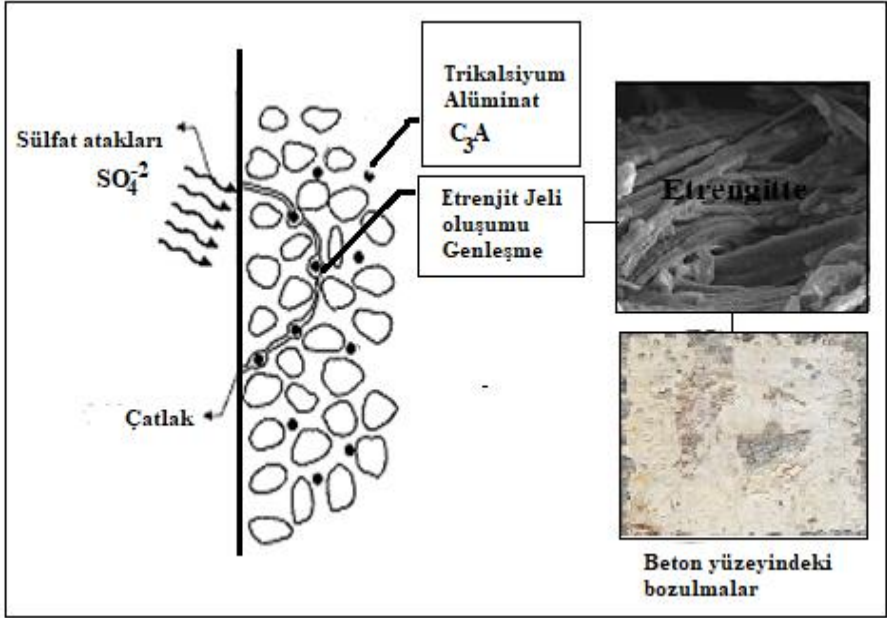


Şekil 2: 20 °C de ve 12 saat boyunca 100 °C’de kür gören betonların genişleme miktarları

12 saat boyunca 100°C’de kür gören beton harçlarda 9 gün içerisinde hacimsel artış yaratan etrenjit oluşumunun başladığı ve bir yıl kadar sürdüğü tespit edilmiştir. Normal sıcaklık şartlarında kür edilen numunelerde ise hacimsel artış gözlemlenmemektedir (Yang ve Lawrence, 1999).

- **Dış kaynaklı sülfat etkisi**

Dışarıdan difüzyon ile sertleşmiş betona nüfus eden sülfat iyonları çimentodaki C_3A bileşeni ile kimyasal reaksiyona girmesi ile hacimsel genişleme oluşturan etrenjit ürünlerini oluşturması şeklinde tanımlanmaktadır. Etrenjit oluşumu betonda hacim artışına bağlı olarak çatlamaya neden olabilir ve betonun hizmet ömrünü düşürebilir (Karaşin ve Doğruyol, 2014). Dış kaynaklı sülfat etkisi oluşum şeması Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3: Betonda sülfat etkisi

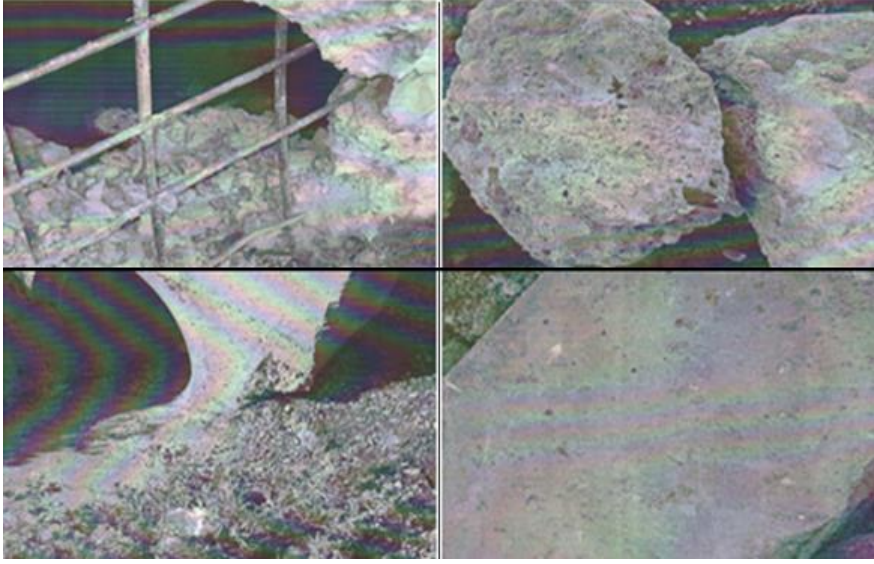
En yaygın sülfat kaynağı yeraltı suyudur. Göl, nehir gibi yerüstü suları da betonu bozacak miktarda sülfat içerebilir. Ayrıca endüstriyel atık sularında, gübre kullanılan tarım toprakları betonda sülfat kaynaklı bozulmalara neden olabilir (Skalny vd.,

2002). Siirt ilinin çeşitli bölgelerinden alınan toprak numunelerinin sülfat parametrelerinin TS 12457–4 standartlarına göre karşılaştırılması Tablo 1.'de verilmiştir (Karaşin ve Doğruyol, 2014).

Tablo 1: Bazı toprak numunelerin sülfat (SO_4^{-2}) içeriği

Analiz Noktalar	Edilen	Parametreler	TS 12457–4 Standartları
		(mg/l)	(mg/l)
		Sülfat	Sülfat
			(Max 15)
Tillo–1		10.1	Uygun
Yeni mah.		9.8	Uygun
9051 Çakmak mah.		10.5	Uygun
8653 Çakmak mah.		13.8	Kritik
Şeyh Zeynep		12.3	Uygun
9313/1 mah.	Çakmak	15.1	Uygun değil
STP 3		10.4	Uygun
STP 15		10.2	Uygun
STP 30		15.4	Uygun değil
SBH 2		13.8	Kritik

Sülfata maruz betonun karakteristik görünümü, genellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm yüzeye yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmeler şeklindedir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülmektedir. Sülfat etkisine maruz kalmış beton ve betonarme yapılarda oluşan bozulmalar Şekil 4.'te gösterilmiştir (Karaşin ve Doğruyol, 2014).



Şekil 4: Sülfat etkisine maruz beton yapılar

- **Sülfat etkisinde beton tasarımı**

Türk Standartları ve Amerikan Standartlarına göre toprak ve yer altı suyunda sülfat parametreleri ve beton tasarımının nasıl olması hakkında bilgiler yer almaktadır;

Türkiye standardı TS EN206-1'e göre toprakta 2000-3000 mg/kg SO_4^{-2} veya yeraltı suyunda 200-600 mg/l SO_4^{-2} bulunmasını "az zararlı kimyasal etki durumu" olarak tarif edilmektedir, bu tür etkiye maruz kalacak beton elemanların çimento dozajı en az 300 kg/m³, su/çimento oranı en fazla 0,55 olacak şekilde en düşük C30 beton sınıfı tasarlanmasını önermektedir. Toprakta 3000-12000 mg/kg SO_4^{-2} veya yeraltı suyunda 600-3000 mg/l SO_4^{-2} bulunmasını "orta dayanımlı kimyasal etki durumu" olarak tarif edilmektedir. C₃A oranı %8'den az çimento sınıfı, çimento dozajı

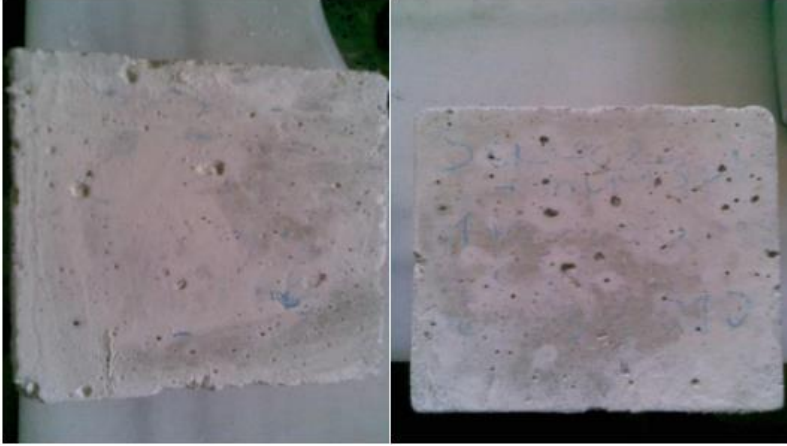
en az 320 kg/m³, su/çimento oranı en fazla 0,50 olacak şekilde en düşük C30 beton sınıfı olarak tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Toprakta 12000-24000 mg/kg SO₄⁻² veya yeraltı suyunda 3000-6000 mg/l SO₄⁻² bulunmasını “ çok zararlı kimyasal etki durumu” olarak tarif edilmektedir. C₃A oranı %5’den az olan çimento sınıfı ve çimento dozajı en az 360 kg/m³, su/çimento oranı en fazla 0,45 ve en düşük C35 beton sınıfı olarak tasarlanması şeklinde tarif edilmiştir.

Amerikan Beton Enstitüsü ACI 318 standartlarına göre, toprakta %0,1-0,2 SO₄⁻² veya yer altı suyunda 150-1500 mg/l SO₄⁻² bulunmasını “orta şiddetteki sülfat etkisi” olarak tarif edilmektedir. Bu tür etkiye maruz kalacak beton elemanların C₃A oranı %8’den az olan ASTM Tip II çimento sınıfı, su/çimento oranının en fazla 0,50 şeklinde tasarlanması tarif edilmektedir. Toprakta %0,2-2 SO₄⁻² veya yer altı suyunda 1500-10000 mg/l SO₄⁻² bulunmasını “şiddetli sülfat etkisi” olarak tarif edilmektedir. Bu tür etkiye maruz kalacak beton elemanların C₃A oranı %5’den az olan ASTM Tip V bir çimento kullanımını ve su/çimento oranı en fazla 0,45 şeklinde tasarlanması tarif edilmiştir. Toprakta >%2 SO₄⁻² veya yer altı suyunda >10000 mg/l SO₄⁻² bulunmasını “çok şiddetli sülfat etkisi” olarak tarif edilmekte olup beton elemanın C₃A oranı %5’den az olan bir çimento ile mineral katkı kullanılmasını ve su/çimento oranı en fazla 0,5 şeklinde tasarlanması tarif edilmiştir.

Sülfat etkisine maruz beton yapıların standartların ön gördüğü koşullar dışında sülfat direncinin artması için portland çimento ve beton tasarımı ile ilgili bilimsel çalışmalar da mevcuttur. Portland çimentolarının ve katkılı çimentoların sülfat direncine ilişkin araştırmada ise farklı özelliklerde dört Portland çimentosu ve uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren mineral katkılı çimentolar kullanılmıştır. Bağlayıcıların performansları, harç prizmalarının genleşmesi (ASTM C 1012) ve harç küplerinin mukavemet gelişimi kullanılarak 3 ila 12 arasında değişen farklı pH seviyelerinde tutulan sülfat çözeltilerinde değerlendirildiğinde çıkan sonuçların, çimentolu malzemelerin sülfat direncinin bileşimine ve ortamın pH'ına bağlı olduğunu göstermektedir. Düşük C₃A ve düşük C₃S içeren portland çimentosu tüm sülfat çözeltilerinde iyi performans göstermiştir. Silis dumanı ve uçucu kül (özellikle %40 ikamede) içeren puzolanlı çimentolar, Portland çimentolarının herhangi birinden daha üstün performans göstermiştir (Mehta, 1983; Santhanam, 2002).

ASTM C1012'ye göre daldırma yöntemi ile sülfat etkisini araştırmak için göre 50 g/l'lik sodyum sülfat çözeltisi kullanılmalıdır. Ancak, yapılan çalışmalarda söz konusu çözeltinin, sülfat direncini anlamada yetersiz kaldığı bu yüzden sülfatın yıpratıcı özelliğini ortaya çıkarabilmek için 150 g/l'lik sodyum sülfat çözeltisi uygun görülmüştür. Daldırma yönteminin kullanıldığı çalışmada su/çimento oranı 0,56 olan 300 doz

Portland çimentosu kullanılarak tasarlanan betonların 150 g/l'lik sodyum sülfat çözeltisinde 12 ay süre bekletilmiştir. Beton basınç dayanımının düştüğü, beton yüzeyinde beyaz lekeler ve bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5). Ancak puzolanik özelliğe sahip uçucu kül ve silis dumanı gibi mineral katkıları çimento yerine ikame edildiğinde hidrasyon ürünü olan kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyona girerek C-S-H jeli oluşturarak beton bünyesindeki boşlukları tıkamaktadır, bu nedenle zamana bağlı olarak beton dayanımı ve sülfat direnci artmaktadır. Bu nedenle mineral katkıları ile hazırlanan tasarımların sülfat ataklarına karşı dayanım kayıpları daha az olmuştur (Karasin vd., 2022).



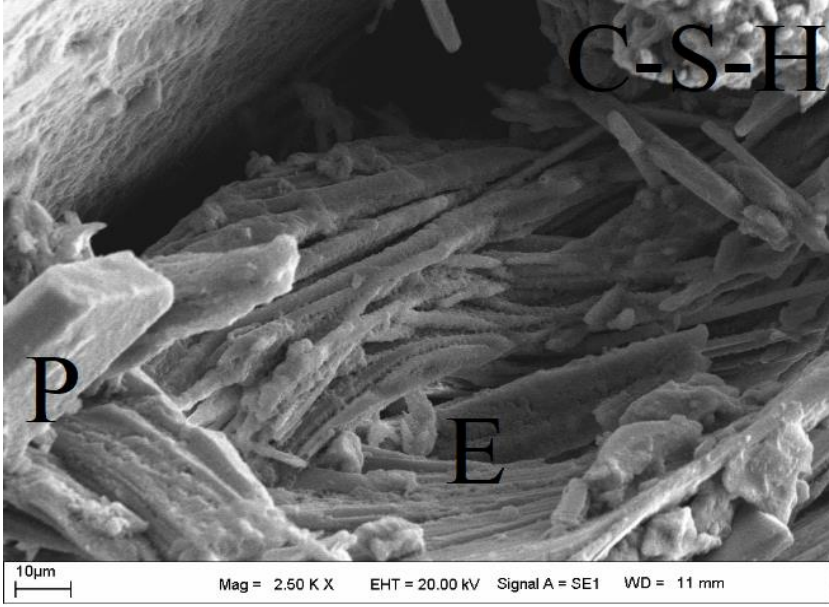
Şekil 5: Sülfat ataklarına maruz betonun yüzey görüntüsü

- **Sülfat etkisinin test yöntemleri**

Sülfat saldırısını değerlendirmek için mevcut ASTM test yöntemlerinin güvenilirliği ASTM C1012 ve ASTM C452 uzun süredir sorgulanmaktadır. ASTM standartları tarafından

önerildiği gibi, test numunelerinin sürekli olarak daldırılması, saha durumunun geçerli bir temsili değildir, çünkü çevredeki sülfat çözeltisine alkalilerin betona sızması nedeniyle saldıran çözeltinin pH'ı, nötrden (7) temele (12) hızla değişir. Ayrıca sürekli daldırma sırasında çözeltideki sülfat konsantrasyonu azalır. Bu, saha davranışını tahmin etmek için laboratuvar deneylerinin kullanılmasında bir tutarsızlığa yol açabilir. Genel olarak, sürekli daldırmaya maruz bırakılan laboratuvar numuneleri, saldırıya karşılık gelen alan maruz kalma numunelerine göre daha uzun süre dayanabilir. Bunun nedeni, arazi numunelerinin, hemen hemen sabit konsantrasyondaki bir sülfat çözeltisinin saldırısına ek olarak, ıslanma ve kuruma gibi atmosferik etkilere maruz kalmasıdır (Brown, 1981; Mehta, 1983).

Beton hidrasyon ürünlerinin miktarının tespiti sülfat etkisini tayin etmekte kullanılabilir. Elektron manyetik mikroskop (SEM), enerji dağıtım- X ışını (EDX), X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak sülfat etkisi ile oluşan etrenjit miktarı, dayanım artıran C-S-H ürünleri tespit edilebilir (Bonen ve Cohen, 1992; Diamond ve Lee, 1999; Karaşin vd., 2022). SEM ile betonun hidrasyon ürünleri kalsiyum hidroksit, portlandit (C-H) çok gen kristal olarak, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) bulutsu bir yapı olarak, hidrasyon yan ürünü olan etrenjit (C-A-Ş-H) ise iğnemi yapı şeklinde görüntülenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Hidratasyon ürünleri SEM görüntüsü E: etrenjit (C-A-Ş-H) P: portlandit (C-H), kalsiyum silikat hidrat (C-S-H)

SONUÇ

Sülfat atakları aşırı miktarda etrenjit oluşumu ile betonun genişlemesine sebep olmaktadır. C_3A düşük çimentolar sülfat etkisine maruz betonda aşırı miktardaki etrenjit oluşumunu engellemesi genişlemenin en aza indirilmesi için geliştirilmiştir.

Yüksek oranda kimyasal etkiye maruz kalan beton eleman zaman içerisinde bozularak dökülür ve hizmet ömrü azalır. Bu yüzden uygulama alanının sülfat gibi kimyasal parametreleri beton tasarımında belirleyici olmaktadır. Dış kaynaklı sülfat etkisine direnci yüksek beton tasarımı için; Puzolanlı, Portland ($C_3A < \%5$ olan) veya sülfata dayanıklı (SDÇ) çimento sınıfı içermesi,

su/imento oranı düşük tutulması, mineral katkı kullanılması ve yüksek dayanıma sahip olması gereklidir. Dış kaynaklı sülfat etkisinin sonradan anlaşılması durumunda betona derhal bohalama yöntemi uygulanarak kimyasal etki ile teması kesilmesi faydalı olacaktır.

Kullanılan imentodan, agregadan, karışım suyundan gelen iç kaynaklı kimyasal etkilerde sıcaklık artışının beton bozulmasına neden olacağından bu tür betonarme elemanların ısı kaynağı ile doğrudan ilişkisinin kesilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI 318: American Concrete Institute, Building Code Requirements for Reinforced Concrete
- ASTM C 1012-04: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution. Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.01. ASTM International, West Conshohocken (2004)
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H. (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul,
- Baradan, B. ve Aydın, S. (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 265-288.
- Brown P.W. (1981). An evaluation of sulfate resistance of cements in a controlled environment, Cement Concrete Res. 11.,719-727.
- Bonen D.ve Cohen M.D. (1992). Magnesium sulfate attack on portland cement paste : Microstructural analysis, Cem.Cocr. Res. 22., 169-180.
- Doğruyol, M. ve Karaşin, H. (2011). Sülfatın beton ve betonarme elemanlara olumsuz etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2(2), 79-85.
- Diamond, S. ve Lee, R.J. (1999). Microstructural Alterations Associated With Sulfate Attack in Permeable Concretes, American Ceramic Society , 123-174.
- Erdoğan, Y.E. (2002). Beton; M.E.T.U. Press: Ankara, Turkey,
- ERMCO (2019). Avrupa hazır beton istatistikleri, Ready-mixed concrete industry statistic, , (Issue August).
- Karasin A. Ve Doğruyol M.(2010). Sülfat Etkisi Optimum Puzolanik Katkı Kullanımı, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0157, 6, (1), 348-357.
- Karaşin, A.ve Doğruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. Advances in Materials Science and Engineering, 2014.

- Karasin, A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Doğruyol, M., Karasin, I. B. ve Czarnecki, S. (2022). The effect of basalt aggregates and mineral admixtures on the mechanical properties of concrete exposed to sulphate attacks. *Materials*, 15(4), 1581.
- Mehta, P. K. (1983). Mechanism of sulfate attack on portland cement concrete—Another look. *Cement and Concrete Research*, 13(3), 401-406.
- Monteiro, P.J.M. ve Kurtis, K.E., (2003). —Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, p. 987-993.
- Neville, A., (2004) The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1275–1296.
- Rendon, L. E., Rendon, M. ve Ramirez, N. (2012). The Effect on Concrete Resistivity of Sulfate Content in Water. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 1488.
- Santhanam, M., Cohen, M. D. ve Olek, J. (2003). Mechanism of sulfate attack: a fresh look: Part 2. Proposed mechanisms. *Cement and concrete research*, 33(3), 341-346.
- Skalny, J. Marchand, J. ve Odler, I. (2002). *Sulfate Attack on Concrete*, Spon Press, New York.
- Topçu, İ.B. (2006). *Yapı Malzemeleri ve Beton*, Şahvar Offset, Eskişehir.
- TS EN206-1, Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara, 2002
- Ustabaş, İ. (2008). Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton Ve Harçların Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Xu, A., Shayan, A. ve Baburamani, P. (1998). Test methods for sulfate resistance of concrete and mechanism of sulfate attack-state of the art review (No. 5).

Yang, R. ve Lawrence, C.D. 1999. Delayed Ettringite Formation in Heat-Cured Portland Cement Mortars, *Cement and Concrete Research*, 29, 17-25.

CHAPTER 5

BETONDA ALKALİ-AGREGA BOZULMALARI

Dr.Öğr.Üyesi Murat DOĞRUYOL

GİRİŞ

Beton; su, çimento, agrega gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların kullanıldığı kompozit yapı malzemesidir. Beton hacminin yaklaşık %70'ini agrega oluşturmaktadır. Beton agregası olarak yaygın olarak kalker, dolomit, kireçtaşı ve sınırlı şekilde bazalt kullanılmaktadır (Erdoğan, 2002; Baradan, 2004).

Betondan istenilen özellik dayanım ve dayanıklılık performansdır. Beton agregası beton performansını etkileyen önemli bir etkiye sahiptir. İnce agrega betonda boşlukları doldurarak dayanıklılığı artırırken, iri agrega mekanik özelliklerine bağlı olarak beton dayanımına doğrudan etki yaratmaktadır. Ancak betonu oluşturan agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirli şartnameleri sağlaması yeterli değildir. Ayrıca beton agregasının petrografik yapısının da dayanım ve dayanıklılık üzerinde etkisi vardır (Erdoğan, 2002; Katayama, 2000).

Betonu oluşturan andezit, dasit, riyolit, bazaltik andezit, çört, opal, tridimit, kristobalit, dolomit, kalsedon ve kuvars gibi kayalar ile çimentoyu oluşturan alkali (Na_2O ve K_2O) bileşenlerin ortamdaki rutubetin etkisi ile oluşturduğu reaksiyon sonucu beton için tehlikeli ürünler meydana gelebilir. Bu ürünler alkali-agrega kaynaklıdır ve hacimsel genişlemeler derin çatlak ve yarılmalar meydana getirebilirler (Katayama, 2010).

Betonda alkali-agrega ilk olarak 1940'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde tespit edilmiş olup günümüzde halen alkali-agrega kaynaklı bozulmalar meydana gelmektedir (Ferraris, 1995).

Alkali agregata reaksiyonunu tespit etmek için ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubukları test yöntemi uygulanan yöntemlerden biridir. Ayrıca elektron manyetik mikroskop (SEM) ile mikro yapısı gözlemlenmesi, enerji dağıtım- X ışını (EDX) ile beton numunelerde oluşan elementel değişimler ASR'yi anlamak için kullanılabilir yöntemlerdir.

Alkali-agregata bozulmaları alkali silika reaksiyonu (ASR) ve alkali karbonat reaksiyonu (ACR) olarak iki şekilde oluşmaktadır.

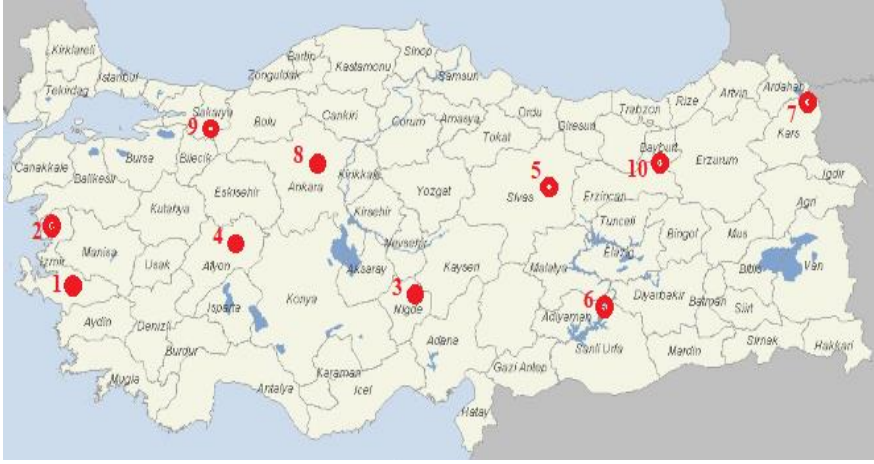
- **Betonda alkali-silika reaksiyonu (ASR)**

Alkali silika reaksiyonu (ASR), beton agregasındaki reaktif SiO_2 ile çimento içeriğinde alkali (Na_2O ve K_2O) bileşenlerin rutubetin etkisi ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan bir tür bozulma şeklidir (Andiç, 2007). Betonda ASR etkisinde ilk bozulmalar, bir çok betonarme yapının derin çatlakların ve beton yüzeyinde tehlikeli beyaz birikintilerin olması üzerine 1940'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde üzerine Stanton tarafından tespit edilmiştir (Şekil 1) (Ferraris, 1995).



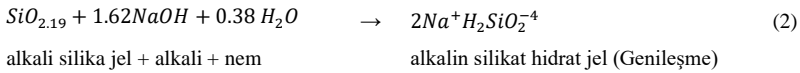
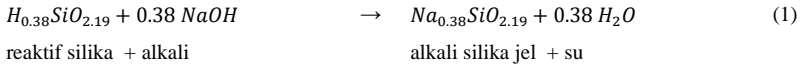
Şekil 1: Stanton ile ASR'ye maruz beton çatlakları (1940).

Türkiye'de ise, betonda ASR ile ilgili ilk çalışmalar 1975 yılında yapılmıştır (Koçaçıtak, 1975), ilk hasar ise 1995 yılında İzmir çevresindeki bazı köprü ayaklarında ve kütle betonlarında yaygın çatlakların oluşması ile fark edilmiştir (Ramyar, 2013). Ege bölgesindeki Gediz nehri ve ona bağlı Nif çayı yataklarındaki ince ve iri agregaların %3 reaktif camsı riyolit içeriğinden dolayı ASR'ye neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalar ASR bozulmalarının İzmir ve çevresi ile sınırlı olmadığı ortaya çıkarmıştır. Aliğa (2) (Çopuroğlu vd., 2007), Niğde (3) (Korkanç ve Tuğrul, 2004), Afyon (4), Sivas (5) (Erik ve Mutlutürk, 2004), Fırat havzası (6) (Aşık vd., 2004), Deriner Çoruh havzası (7) (Sağlık vd., 2003), Ankara (8) (Bektaş vd., 2008) ve Sakarya (9) (Yıldırım vd., 2011) gibi lokasyonlardaki bazı agregaların ASR'ye reaktif olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'de reaktif kayaların lokasyonları Şekil 2'de verilmiştir.



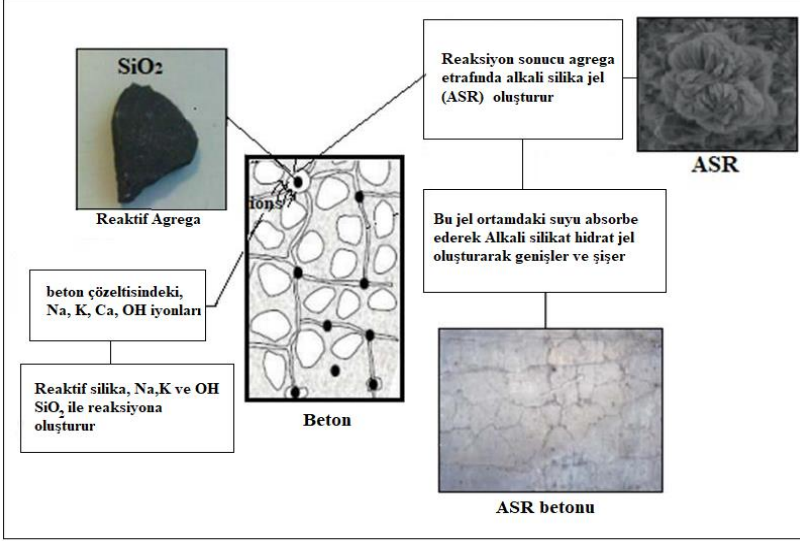
Şekil 2: Türkiye’de reaktif kayaçların bulunduğu yerler

ASR'nin neden olduğu reaksiyonlar iki aşamada gerçekleşir (Ramyar, 2013).



Reaktif SiO_2 ile çimento içeriğinde yer alan Na_2OH ve KO_2 gibi alkali bileşenler reaktif agrega içerisinde reaksiyona girerek alkali silika jeli oluşturur. Bu jel ortamdaki su ve rutubet ile olgunlaşır alkali silika hidrat jel oluşturarak agrega içerisinde patlayarak hacimsel genişleme ve çatlak meydana getirir. Rutubetin olmadığı kuru ortamlarda ASR’ye bağlı bozulmalar görülmeyebilir. Bu yüzden beton baraj yapıları, köprü ayakları ASR oluşumunun en

sık görüldüğü yapı elemanlarıdır. ASR'nin reaksiyon şeması Şekil 3' te gösterilmiştir.



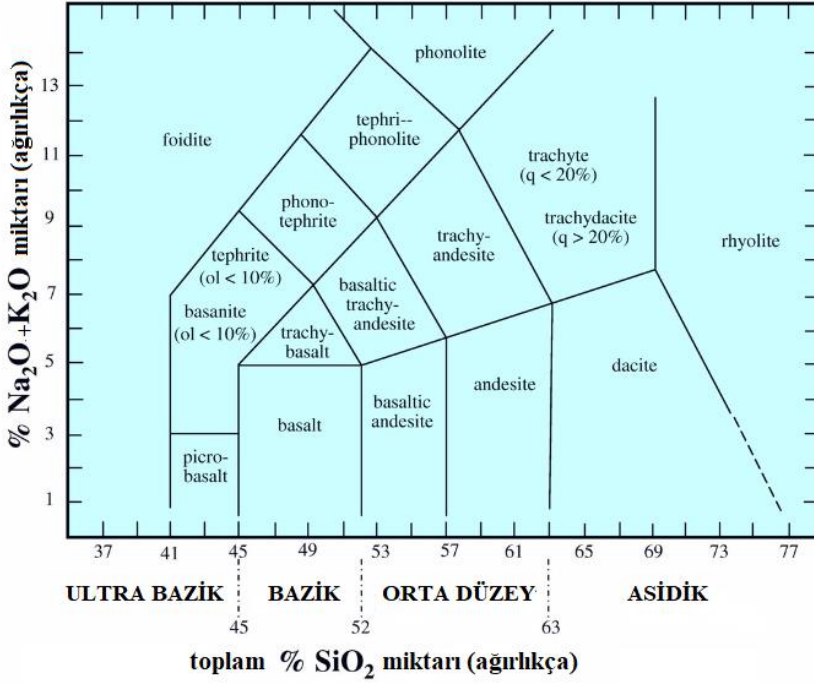
Şekil 3: ASR oluşum şeması

• Reaktif agregalar

Betonu oluşturan agreganın kimyasal yapısı dayanıklılık açısından önemlidir. Andezit, dasit, riyolit, çört, opal, tridimit, kristobalit, ve bazaltik andezit, ASR genişlemesine neden olan reaktif kayalardır. Öte yandan dolomit, kireçtaşı, kalsedon, kuvars gibi kayaların ASR değil ACR'nin genişlemesine neden olduğunu bilinmektedir (Bérubé vd., 2004).

Kayaçların Petrografik sınıflandırılması, agregaların kimyasal yerini belirlemek, reaktif potansiyelini değerlendirmek için bir ön testtir (Katayama, 2010). Agregaların morfolojik özellikleri,

parçacıkları ve dokuları, betonun dayanıklılığında önemli bir role sahiptir. Yapılan çalışmalarda ASR'ye en reaktif kayaç andezit olduğu, dasit ve riyolitin kayaçların ASR şiddetinin daha az olduğu tespit edilmiştir (Katayamaya, 2002). Kayaçların petrografik sınıflandırılması Şekil 4' te verilmiştir (Le Maitre, 1989).



Şekil 4: Kayaçların sınıflandırılması

Buna göre SiO_2 miktarı ağırlıkça $\%45-52$ olan toplam alkali miktarı ($\text{Na}_2\text{O} + \text{KO}_2$) $\%5$ 'den az olan kayaçların bazik karakteristiktir. Yapılan araştırmalarda bazik karakteristikte kayaçların ASR'ye reaktif olmadığı tespit edilmiştir (Katayama, 2000).

Kayaçların kimyasal özelliklerinin yanısıra fiziksel yapısının ASR reaktivitesini de etkilediği bilinmektedir. Kaba agreganın ASR'ye ince agregadan daha reaktif olduğu ve agrega parçacıklarının gözenekliliğinin ASR genleşme oranını arttırdığı belirlenmiştir (Mohammadi vd., 2020).

- **Çimentonun alkalitesi**

Çimento alkali içeriği Na_2O miktarına göre sınıflandırılmıştır. Na_2O miktarı % 0,50' den düşük olan çimentolar düşük alkali % 1,04'den fazla olanların ise yüksek alkali içeriğine sahip çimentolar olarak tanımlanmıştır. ASR'ye karşı oldukça reaktif kayaçların ve düşük alkali çimentoların kullanıldığı yerlerde, ASR etkisinin azaldığı tespit edilmiştir (Erdoğan, 2002).

Çimento çok sayıda alkali içeriğine sahiptir. Ancak sodyum Na^+ ve potasyum K^+ iyonları ASR beton hasarına önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu yüzden çimentonun alkali içeriğini hesaplamada KO_2 miktarıda önemlidir. Buna göre çimentonun toplam alkali içeriği denklem 3'te gösterilmiştir (Baradan vd., 2002).

$$Na_2O + 0,658K_2O < \%0,6 \quad (3)$$

Reaktif kayaçların ASR oluşumunu azaltmak için çimentodaki toplam agrega miktarı denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır çimentodaki toplam alkali içeriği %0,6'dan az olması gerekmektedir.

ASR reaksiyonunun değerlendirilmesi

- **Hızlandırılmış harç çubuğu testi ASTM C 1260**

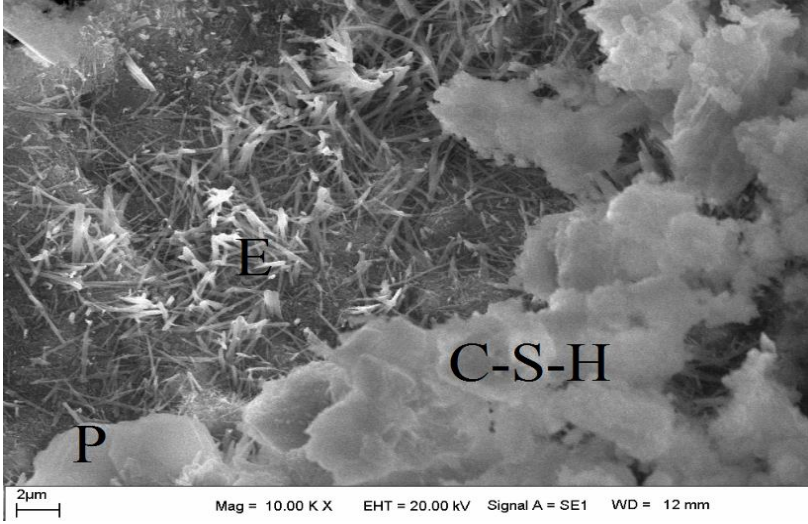
Hızlandırılmış harç çubuğu testi ASTM C 1260, Güney Afrika'da Oberholser ve Davies tarafından 1986 yılında bulundu. 1989 yılında onaylandı ve 2007 yılında ASTM C1260 olarak revize edildi.

ASTM C 1260' ye göre Su/Bağlayıcı = 0,47 olan numuneler 25x25x285 mm kalıplara bırakılmalıdır. Dökülen harç örnekleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak ilk boyları belirlenmelidir. Harç numuneler 80 °C NaOH (900 ml.saf suya 40gr sodyum hidroksit) çözeltisinde NaOH banyosuna 3, 7 ve 14 günlük maruz kaldıktan boyları tekrar ölçülmelidir.

ASTM C 1260' ye göre harç çubuklarında ortalama uzama oranı $< \%0,10$ alkali silika reaktifliği yönünden tehlikesiz agrega, $\%0,10 < \text{ortalama uzama} < \%0,20$ potansiyel tehlike arz eden agregalar, ortalama uzama oranı $> \%0,20$ tehlikeli agrega grubu olarak kabul edilmektedir.

- **SEM- EDX analizi**

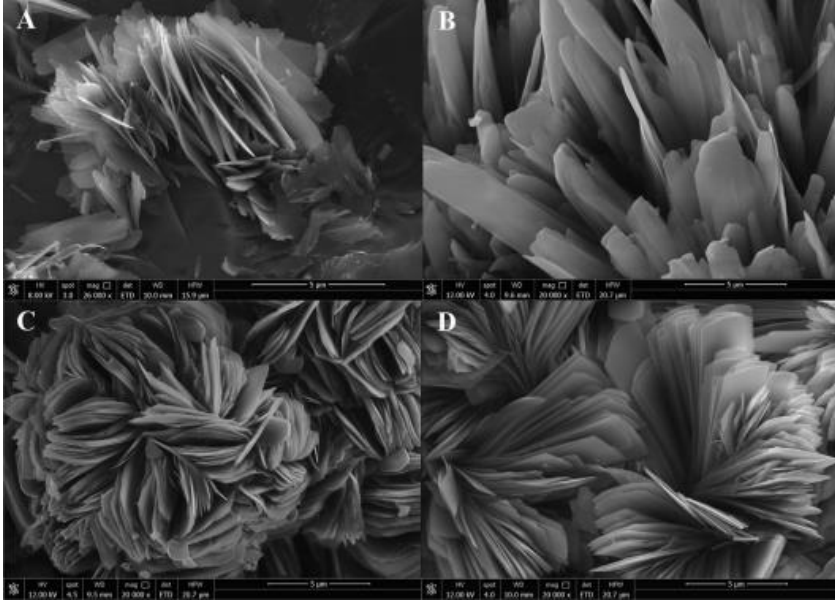
SEM ile betonun hidratasyon ürünleri kalsiyum hidroksit, portlandit (C-H) çok gen kristal olarak, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) bulutsu bir yapı olarak, hidratasyon yan ürünü olan etrenjit (C-A-S-H) ise iğnemsu yapı şeklinde görünmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: Beton hidratasyon ürünlerin SEM görüntüsü, P: Portlandit (CH), E: etrenjit ($C_6A\dot{S}_3H_{32}$), C-S-H : kalsium silikat hidrat jel ($C_3S_2H_3$)

Alkali –silika jeli agrega içinde hacim artışı yarattığı için elektron manyetik mikroskop gözlemlerinde agregadaki çatlak oluşumları ASR varlığı hakkında fikir verebilir.

Agreganın etrafında herhangi bir kısıtlama olmadan gelişebilen ASR ürünü uygun ortamı yakaladığı Şekil 5b ve Şekil 5d’de daha uzun trombositler şeklinde oluşmuştur. ASR agregadaki çatlak içerisinde gülümsü yapıya benzer bir görüntüye sahiptir (Şekil 6) (Leeman vd., 2020).



Şekil 6: ASR ürünü SEM görüntüsü

EDX analizi ile hidrasyon ürünleri sonrası betondaki elementel değişimler ASR oluşumu hakkında fikir verebilir. Hidrasyon ürünleri içerisinde yeterli miktarda kalsiyum (Ca^{2+}) mevcut olduğunda genişleme meydana gelir ve portlandit şeklindedir. Kalsiyum açısından zengin jellerin oluşumu, genişlemeye neden olmaktadır. Ayrıca kalsiyum oluşan jelin vizkositesini artırır ve büyümesine neden olur. Buna karşılık, diğer çalışmalarda, CaO ilavesinin uçucu kül veya silis dumanı içeren betonlarda genleşmeyi azalttığını göstermiştir (Gaboriaud vd., 1999; Leeman vd., 2011).

Sodyum (Na^+), potasyum (K^+) yoğunluğundaki azalmanın hacimsel genleşmeyi azalttığı tespit edilmiştir (Urhan 1987).

Alüminyum (Al) adsorpsiyonu ile zeolit bariyer oluşumu agregalardan reaktif silika yüzeyi silika çözünme hızının düşürülmesini, ASR jelinin şişmesini azaltmaktadır, gözenek yapısını yoğunlaştırarak betonun geçirimliliğini azaltmaktadır (Iler, 1973; Hong ve Glasser, 2002; Huenger, 2007; Chappex ve Scrivener, 2013).

ASR ürünlerinde Mg, Al ve Fe elementleri düşük oranda bulunur $Ca/Si < 0,4$ dir. Çimento hamurunda alkali (Na, K) içeriği azaldıkça genellikle Ca artar. Bu tür ürünler ile dolu çatlak bölgesinde agrega türüne göre değişik Ca/Si oranını artırır. Farklı agrega parçalarında ASR kristallerin oluşumunda bazı farklılıklar vardır. Beton agregalarında oluşan amorf ASR ürünlerinin yaklaşık oranları $(Na + K) / Si = 0,26-0,40$, $Ca / Si = 0,07-0,33$, $Na/K = 0,62-1,41$ arasında değişmektedir (Leeman vd., 2011).

- **Alkali-karbonat reaksiyonu (ACR)**

Betonda alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) ilk olarak 1957'de Kanada Ontario'da, Swensson tarafından gözlemlenmiş ve araştırılmıştır. Alkali- karbonat (ACR) terimi ilk olarak 1964 yılında Swenson ve Gillot tarafından kullanılmıştır ancak günümüzde, ACR'nin mekanizması ve zararları halen tam olarak anlaşılmiş değildir. Tetsuya Katayama 1986 yılında Kanada Ontario Cornwall'dan beton örneği alarak betonlardaki bozulmanın ACR değil, ASR'nin bir tür vakası olduğunu belirtmiştir.

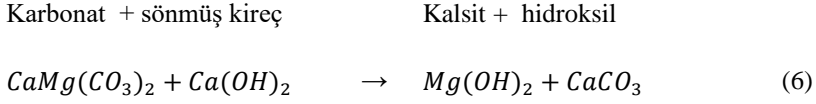
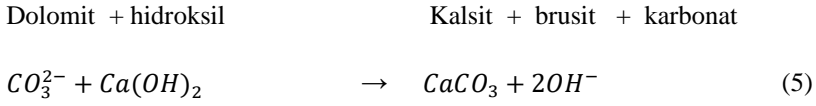
Bir tür kireçtaşı olan dolomit agregadan yapılmış betonda genleşme gibi sorunların kaynağı çatlama olmuştur. Geleneksel olarak, bu bozulma agrega olarak kil mineralli dolomitik kayalar kullanıldığında veya dolomitin kriptokristalin kuvars ile reaksiyonunun bir sonucu olarak oluşan reaksiyon sorunları alkali-karbonat (ACR) ile ilişkilendirilmiştir.

Dolomitik kireçtaşları ile inşa edilmiş Fransa'daki Bimont Barajı ve Tennessee'de Chickamauga Santrali Barajı gibi birkaç barajda ACR bozulmalarına rastlanmıştır (Garcia vd., 2020).

Günümüzde kabul gören alkali-karbonat (ACR) reaksiyonu mekanizması dolomit veya magnezyum içeren kireçtaşları reaksiyon sonucu magnezyum hidroksite dönüşürler. Dedolomitasyon adı verilen bu olay, harita şeklinde çatlaklara ve betonun tamamen parçalanmasına yol açabilir. Dolomitin esas maddesi $MgCO_3$ su etkisiyle $Mg(OH)_2$ 'e dönüşmekte, $Mg(OH)_2$ ise suda çözünerek suyun taşın içine sızmasını sağlamaktadır. Taşın iç kısımlarında jeolojik devirlerden kalma kil damarları varsa bunlar su ile temas edip şişmekte ve agregaları patlatmaktadır. Alkali-karbonat jeli miktarca az olup genleşmeye daha ziyade dolomitin boşalması ile suya maruz kalıp şişen kil bileşenleri neden olmaktadır (Zarif vd., 2003; Çakır, 2007; Baradan vd., 2010; Goralczyk, 2012; Garcia vd., 2020).

Alkali karbonat reaksiyonu denklem 4 ve denklem 5'teki gibidir,





Alkali karbonatlar betonda portland çimentosunun portlandit (Ca(OH)_2) ile birleşerek yeniden alkali üretirler denklem (6).

ACR'nin reaktivitesi tıpkı ASR gibi yüksek alkali miktarına bağlı olduğu, dedolomitizasyon ile ilgili en önemli nokta ASR olmadığı sürece bu reaksiyonun gelişmeye neden olmamasıdır. Dedolomitizasyon sonucunda brusit ile dolu çatlaklar oluşur. Fakat dedolomitizasyon kaynaklı iç genişleme kuvvetlerinin oluşturduğu çatlak, ASR ile kıyaslandığında ihmal edilebilir seviyede olduğu söylenebilir (Katayama, 2004).

SONUÇ

Beton agregası uygun gradasyon ve mekanik değerlere sahip olmasının yanı sıra agreganın petrografik özellikleri önemlidir. Andezit, dasit, riyolit, bazaltik andezit gibi reaktif silika ($\text{SiO}_2 > \%52$) bulunduran agregalar ile yüksek oranda magnezyum karbonat (MgCO_3) içeriğine sahip dolomit, dolomitik özellik gösteren kireçtaşı çimento ve ortamdaki alkaliler (Na_2O , K_2O) ile rutubetin etkisi ile alkali-agrega reaksiyonu oluşturmaktadır. Alkali-agrega reaksiyonu sonucu oluşan jelimsi yapı önemli

ölçüde çatlak oluşturarak betonda dayanım ve dayanıklılığı düşürmektedir.

Betonun hizmet ömrünün azalması sadece ekonomik olarak değerlendirmek yanlış olur. Betonu oluşturan malzemelerin verimsiz kullanılması çevresel-ekolojik problemleri ortaya çıkarmasından ötürü durumu farklı boyutlara taşımaktadır.

Kayaç türü beton agregası belirlemede önemli bir kriterdir. Her cins kayaç beton agregası olarak kullanılmayacağı gibi agreganın petrografik yapısının belirlenmesi betonun ileriki yaşlarda bozulmasının önüne geçerek hizmet ömrünü artıracaktır. Böylelikle hem ekonomik hem de çevresel deformasyonların önüne geçilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Andiç-Çakır, Ö. Investigation of Test Methods on Alkali Aggregate Reaction. Ph.D. Thesis, Ege University Institute of Science, Izmir, Turkey, 2007.
- ASTM C 1260, “Standart Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)”, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA
- Aşık, İ. Şen, H. Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E. Beton 2004, İstanbul, 2004. “Alkali Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi”
- Baradan, B. (2004). Yapı Malzemesi II. D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No. 207, 221.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H. (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul,
- Batic, O.R. Milanesi, C.A. Maiza, P.J. ve Marfil, S.A. (2000). Secondary Ettringite Formation in Concrete Subjected to Different Curing Contition, Cement and Concrete Research, 30, 1407-1412.
- Bektaş, F. Topal, T. Göncüoğlu, M.C. ve Turanlı, L. 2008. “Evaluation of the Alkali Reactivity of Cherts from Turkey”, Construction and Building Materials, (22), pp. 1183-1190.
- Bérubé, M. A., Tremblay, C., Fournier, B., Thomas, M. D., ve Stokes, D. B. (2004). Influence of lithium-based products proposed for counteracting ASR on the chemistry of pore solution and cement hydrates. Cement and Concrete Research, 34(9), 1645-1660.
- Berube, M.A., Fournier, B. ve Durand, B., (editors): Alkali Aggregate Reaction in Concrete , Proc. 11th International Conference, Quebec, Canada, pp. 365-374.
- Chappex T. ve Scrivener K.L., The effect of aluminum in solution on the dissolution of amorphous silica and its relation to cementitious systems, J. Am. Ceram. Soc. 96 (2013) 592–597.

- Casanova, I. Aguado, A. ve Agullo, L. (1997). Aggregate Expansivity Due to Sulfide Oxidation-II Physico-Chemical modeling of Sulfate Attack, *Cement and Concrete Research*, 27, 1627-1632.
- Çopuroğlu, O. Andiç-Çakır, Ö.ve Broekmans, M.A.T.M. Kühnel, R. 2007. “Mineralogy, Geochemistry and Expansion Testing of an Alkali-Reactive Basalt from Western Anatolia, Turkey”, In: I. Fernandes et al (editors), *Proceedings of 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, Porto, Portugal.
- Erdoğan, Y.E. (2002). *Beton*; M.E.T.U. Press: Ankara, Turkey,.
- Erik, D. Ve Mutlutürk, M. 2004. “Alkali-Silica Reactivity Features of Gravel-Sand Aggregates in Koç River (Hafik-Sivas)”, *ROCKMEC 2004 – VIIth Regional Rock Mechanics Symposium*, Sivas, Turkey.
- Ferraris, C.F. (1995), *Alkali-Silica Reaction and High Performance Concrete*, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899,.
- Gaboriaud F., Nonat A., Chaumont D. ve Craievich A. (1999). Aggregation and gel formation in basic silico-calco-alkaline solutions studied: a SAXS, SANS, and ELS study, *J. Phys. Chem. B* 103 5775–5781
- Huenger J. (2007). The contribution of quartz and the role of aluminum for understanding the AAR with greywacke, *Cem. Concr. Res.* 37 1193–1205.
- Kambiz, R. Alkali-silica reaction in concrete a review. In *Proceedings of the 2013 Ready Concrete Congress*, İstanbul, Turkey, 21–23 February 2013; pp. 289–311
- Katayama, T. 2000. “Alkali Aggregate Reaction in the Vicinity of Izmir, Western Turkey”, In: Berube, M.A., Fournier, B., Durand, B., (editors): *Alkali Aggregate Reaction in Concrete* , Proc. 11th International Conference, Quebec, Canada, pp. 365-374.
- Katayama, T. (2010) The so-called alkali-carbonate reaction (ACR)—Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR. *Cem. Concr. Res.*, 40, 643–675.

- Karaşin, A. ve Doğruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
- Korkanç, M. ve Tuğrul, A. 2004. “Evaluation of Selected Basalts from Niğde, Turkey, as Source of Concrete Aggregate”, *Engineering Geology*, (75), pp. 291-307.
- Leemann A., Le Saout G., Winnefeld F., Rentsch D. ve Lothenbach B., Alkali-silica reaction: the influence of calcium on silica dissolution and the formation of reaction products, *J. Am. Ceram. Soc.* 94 (4), 2011,1243-1249.
- Le Maitre, R. W. (1989). *A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms* 193 pp. Blackwell, Oxford.
- Mohammadi, A., Ghiasvand, E. ve Nili, M. (2020). Relation between mechanical properties of concrete and alkali-silica reaction (ASR); a review. *Construction and Building Materials*, 258, 119567. 37.
- Sağlık, A. Kocabeyler, M.F. Orkun, Y. Halıcı, M. ve Tunç, E. 2003.“Deriner Barajı ve HES İnşaatı Kütle Betonunda Kullanılması Planlanan Agregalarda Alkali-Silika Reaksiyonu Riski ve Önlenmesine Yönelik Yürütülen Çalışmalar”, 5. Ulusal Beton Kongresi, 205-224.
- Iler R.K. (1973). Effect of adsorbed alumina on the solubility of amorphous silica in water, *J. Colloid Interface Sci.* 43 (2) 399-408.
- Yıldırım, K. Sümer, M. ve Uysal, M. (2011).“Uçucu Külün Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisinin Araştırılması”, 8. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir, 99-107.
- Zarif, H.İ., Tuğrul, A. ve Dursun, G., (2003).İstanbul’daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 16, S. 2, SS. 61-70.



ISBN: 978-625-6955-49-3