



**BAZALT VE KARBON LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ  
GEOPOLİMER MALZEMELERİN  
ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Şeyda HACİHASANOĞLU**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. İlker TEKİN**

**BAZALT VE KARBON LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEOPOLİMER  
MALZEMELERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Şeyda HACIHASANOĞLU**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. İlker TEKİN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK  
Şubat 2024**

Şeyda HACIHASANOĞLU tarafından hazırlanan “BAZALT VE KARBON LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEOPOLİMER MALZEMELERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İlker TEKİN

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/02/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İlker TEKİN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ (DÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Alper BİDECİ (DÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Şeyda HACIHASANOĞLU

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BAZALT VE KARBON LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEOPOLİMER MALZEMELERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şeyda HACIHASANOĞLU

Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İlker TEKİN

Şubat 2024, 86 sayfa

Bu çalışmada, bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş geopolimer hamurlar üzerinde fiziksel, mekanik ve elektromanyetik özellikler çalışılmıştır. Üretilen geopolimer hamurlarda  $D_{90}$ : 100 mikron inceliğinde puzolanik özellik gösteren iki farklı volkanik tüf ve mikronize kalsit kullanılmıştır. Geopolimer hamurların üretiminde alkali aktivatör olarak Sodyum Hidroksit (NaOH) ve sıvı halde Sodyum Silikat (Ms:1/3) ( $Na_2SiO_3$ ) kullanılmıştır. Bazalt ve karbon lifler kalsitli üretimlerde %0, %1, %2 ve %3 oranlarında, kalsitiz üretimlerde ise %0 ve %3 oranlarında planlanmıştır. Toplam 24 deney grubunda ASTM C1437'ye göre akış masası deneyi yapılmıştır. TS EN 196-1'e göre üretilmiş 40x40x160 mm boyutlarında sertleşmiş geopolimer hamurlar üzerinde 90 güne kadar, birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları, su direnci, ASTM C596-18'e göre kuruma rötresi deneyleri yapılmıştır. Geopolimer hamurların elektromanyetik özelliklerini belirlemek için 90 gün yaşında 300x300x10 mm boyutlu

geopolimer plaklar üzerinde 900 – 6000 MHz arasında her bir 100 MHz aralıklarla Faraday kafesi içinde elektromanyetik iletim ve yansıma ölçümleri yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre en yüksek basınç ve eğilme dayanımı hacimce %1 karbon lifle güçlendirilmiş beyaz tüf ve kalsit içerikli geopolimer hamurlarda sırasıyla 29 MPa ve 28 MPa olmuştur. En düşük birim hacim ağırlık değeri hacimce %3 karbon lifle güçlendirilmiş beyaz tüf ve kalsit içerikli geopolimer hamurlarda 1,67 g/cm<sup>3</sup> olarak; en yüksek birim hacim ağırlık beyaz tüf esaslı lifsiz geopolimer hamurlarda 1,85 g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. En düşük su emme beyaz tüf ve kalsit esaslı lifsiz geopolimer hamurlarda %19,91 olarak, en yüksek su emme hacimce %3 karbon lifle güçlendirilmiş beyaz tüf esaslı kalsitsiz geopolimer hamurlarda %38,48 olarak elde edilmiştir. En düşük büzülme hacimce %2 bazalt lifle güçlendirilmiş yeşil tüf ve kalsit esaslı geopolimer hamurlarda %0,1, en yüksek büzülme lifsiz beyaz tüf ve kalsit esaslı geopolimer hamurlarda %3,60 olarak elde edilmiştir. En yüksek elektromanyetik kalkanlama hacimce %3 karbon lifle güçlendirilmiş yeşil tüf esaslı geopolimer hamurlarda 63,3 dB, en düşük elektromanyetik kalkanlama hacimce %2 bazalt lifle güçlendirilmiş beyaz tüf esaslı geopolimer hamurlarda 1,01 dB olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :**Geopolimer Hamur; Karbon lif; Bazalt lif; Volkanik Tüf; Mikronize Kalsit; Elektromanyetik özellik; Büzülme; Basınç Dayanımı

**Bilim Kodu** : 91127

## **ABSTRACT**

### **Master Thesis**

# **INVESTIGATION OF THE ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF GEOPOLYMER MATERIALS REINFORCED WITH CARBON AND BASALT FIBERS**

**Şeyda HACIHASANOĞLU**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Civil Engineering Department**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. İlker TEKİN**

**February 2024, 86 pages**

In this study, physical, mechanical and electromagnetic properties of basalt and carbon fibre reinforced geopolymer pastes were investigated. Two different volcanic tuffs and micronised calcite showing pozzolanic properties at D90: 100 micron fineness were used in the produced geopolymer pastes. Sodium hydroxide (NaOH) and liquid sodium silicate (Ms:1/3) ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) were used as alkali activators in the production of geopolymer pastes. Basalt and carbon fibres were used at 0%, 1%, 2% and 3% in calcite production and 0% and 3% in calcite-free production. Flow table tests were performed on a total of 24 test groups according to ASTM C1437. Unit volume weight, flexural and compressive strengths, water resistance, drying shrinkage tests according to ASTM C596-18 were performed on 40x40x160 mm sized hardened geopolymer pastes produced according to TS EN 196-1 for up to 90 days. In addition, in order to determine the electromagnetic properties of geopolymer pastes, electromagnetic

transmission and reflection measurements were carried out in a Faraday cage at 100 MHz intervals between 900 - 6000 MHz on 300x300x10 mm sized geopolymer paste plates at 90 days of age.

According to the results of the experimental studies, the highest compressive and flexural strengths were 29 MPa and 28 MPa for white tuff and calcite-containing geopolymer doughs reinforced with 1% carbon fibre by volume, respectively. The lowest unit volume weight value was 1.67 g/cm<sup>3</sup> for white tuff and calcite-containing geopolymer doughs reinforced with 3% carbon fibre by volume and the highest unit volume weight value was 1.85 g/cm<sup>3</sup> for white tuff-based fibre-free geopolymer doughs. The lowest water absorption value was 19.91% for white tuff and calcite based fibre-free geopolymer doughs and the highest water absorption value was 38.48% for white tuff based calcite-free geopolymer doughs reinforced with 3% carbon fibre by volume. The lowest shrinkage value was 0.1% in green tuff and calcite based geopolymer doughs reinforced with 2% basalt fibre by volume and the highest shrinkage value was 3.60% in fibre-free white tuff and calcite based geopolymer doughs. The highest electromagnetic shielding value was measured as 63.3 dB in green tuff based geopolymer doughs reinforced with 3% carbon fibre by volume and the lowest electromagnetic shielding value was measured as 1.01 dB in white tuff based geopolymer doughs reinforced with 2% basalt fibre by volume.

**Key Word** : Geopolymer Pulp; Carbon fiber; Basalt fiber; Volcanic Tuff; Micronized Calcite; Electromagnetic property; Shrinkage; Compressive Strength

**Science Code** : 91127

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, danışmanım Prof. Dr. İlker TEKİN'e; beni bu dünyaya getiren sevgisini hala üzerimde hissettiğim rahmetli annem Hatun HACIHASANOĞLU'na; sonsuz desteği ile her zaman yanımda olan ablam Hilal HACIHASANOĞLU ve abim Mustafa HACIHASANOĞLU'na, hayatımın her aşamasında yanımda olan dostum Gülcan ÇEBİ'ye çalışmalarım için uygun koşulları ve desteği sağlayan Karabük Üniversitesine tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez, TUBİTAK 217M431 nolu *“Bayburt Taşı İle Üretilen Lifle Güçlendirilmiş Geopolimer Kaplama Ve Duvar Malzemelerinin Elektromanyetik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Elektromanyetik Dalga Emen-Yansıtıcı Veya İleten Yeni Kaplama Malzemesinin Geliştirilmesi (Determination of Electromagnetic Properties of Geopolymers Covering and Wall Materials Powdered By Fiber Produced With Bayburt Stone and Development of New Covering Materials Absorbing-Reflecting or Conducting Electromagnetic Wave)”* Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmiştir. Bu kapsamda Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TUBİTAK) teşekkür ederim.

Şeyda HACIHASANOĞLU

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| KABUL .....                                                        | ii           |
| ÖZET .....                                                         | iv           |
| ABSTRACT.....                                                      | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                                      | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....                                                  | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                               | xii          |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                            | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                               | xvi          |
| <br>                                                               |              |
| BÖLÜM 1 .....                                                      | 1            |
| GİRİŞ .....                                                        | 1            |
| <br>                                                               |              |
| BÖLÜM 2 .....                                                      | 4            |
| KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....                       | 4            |
| 2.1. SOL-JEL YÖNTEMİ.....                                          | 4            |
| 2.1.1. Hidroliz Reaksiyonu .....                                   | 5            |
| 2.1.2. Kondenzasyon Reaksiyonu.....                                | 6            |
| 2.2. GEOPOLİMERİZASYON TEKNOLOJİSİ .....                           | 6            |
| 2.2.1. Geopolimer Malzemelerin (GM) Kimyası .....                  | 7            |
| 2.2.1.1. Yüksek Oranda Kalsiyum İçeren Geopolimer Hamur (GH) ..... | 9            |
| 2.2.1.2. Düşük Kalsiyum Oranlı Geopolimer Hamur (GH).....          | 10           |
| 2.2.2. Geopolimer Malzemelerin (GM) Kullanım Alanları.....         | 12           |
| 2.3. ELEKTROMANYETİZMA (ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLER).....           | 12           |
| 2.3.1. Elektromanyetik Dalgaların Malzemelerle Etkileşimi .....    | 14           |
| 2.3.1.1. Ekranlama Etkinliği .....                                 | 15           |
| 2.4. KAPLAMA MALZEMELERİ.....                                      | 16           |
| 2.5. LİTERATÜR TARAMASI.....                                       | 18           |

|                                                                    | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| BÖLÜM 3 .....                                                      | 25           |
| MALZEME VE METOT .....                                             | 25           |
| 3.1. MALZEME .....                                                 | 25           |
| 3.1.1. Bayburt Bölgesinde Bulunan Tüfit Yapılı Kayaçlar .....      | 25           |
| 3.1.1.1. Beyaz Bayburt Tüfü (BBT) .....                            | 26           |
| 3.1.1.2. Yeşil Bayburt trası (YBT).....                            | 27           |
| 3.1.1.3. Mikronize Kalsit (MiK) .....                              | 29           |
| 3.1.1.4. Su .....                                                  | 29           |
| 3.1.1.5. Deneylerde Kullanılan Alkali-Aktivatörler .....           | 30           |
| 3.1.1.6. Deneylerde Kullanılan Lifler .....                        | 31           |
| 3.2. DENEYSEL YÖNTEMLER .....                                      | 31           |
| 3.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlığı .....                         | 32           |
| 3.2.2. Taze Hamur Deneyleri.....                                   | 35           |
| 3.2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi .....                              | 35           |
| 3.2.3. Sertleşmiş Hamur Deneyleri.....                             | 35           |
| 3.2.3.1. Eğilme ve Basınç Deneyleri.....                           | 36           |
| 3.2.3.2. Su Emme Deneyi .....                                      | 36           |
| 3.2.3.3. Büzülme Deneyi.....                                       | 37           |
| 3.2.3.4. Elektromanyetik Özelliklerin Belirlenmesi .....           | 38           |
| BÖLÜM 4 .....                                                      | 41           |
| BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                         | 41           |
| 4.1. PRİZ BAŞLANGIÇ-BİTİŞ VE YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI ..... | 41           |
| 4.2. EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI .....               | 43           |
| 4.2.1. Geopolimer Hamurların Birim Hacim Ağırlık Sonuçları .....   | 48           |
| 4.3. SU EMME DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME .....                | 50           |
| 4.4. BÜZÜLME DENEY SONUÇLARI .....                                 | 53           |
| 4.5. ELEKTROMANYETİK (EM) ÖLÇÜMLER VE DEĞERLENDİRMELERİ .....      | 56           |

|                        | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------|---------------------|
| BÖLÜM 5 .....          | 68                  |
| SONUÇLAR .....         | 68                  |
| KAYNAKLAR .....        | 70                  |
| <br>                   |                     |
| EK AÇIKLAMALAR A ..... | 79                  |
| EK AÇIKLAMALAR B ..... | 84                  |
| <br>                   |                     |
| ÖZGEÇMİŞ .....         | 86                  |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Sol-Jel yönteminin şematik gösterimi [29].                                                                                                                                                                            | 5  |
| Şekil 2.2. Yüksek ve düşük kalsiyum ile alkali aktive edilmiş malzemeler [46].                                                                                                                                                   | 8  |
| Şekil 2.3. Yüksek kalsiyumlu GH'lerin yapısı [46].                                                                                                                                                                               | 9  |
| Şekil 2.4. AAM'lerin ve geopolimerlerin sınıflandırılması [49].                                                                                                                                                                  | 11 |
| Şekil 2.5. Farklı geopolimer sistemleri [50,51].                                                                                                                                                                                 | 11 |
| Şekil 2.6. Elektro manyetik spektrum [57]                                                                                                                                                                                        | 13 |
| Şekil 2.7. Elektromanyetik frekans kaynakları [62].                                                                                                                                                                              | 14 |
| Şekil 2.8. Elektromanyetik dalgaların malzeme ile etkileşimi.                                                                                                                                                                    | 15 |
| Şekil 2.9. Elektromanyetik dalga koruyucu malzemelerinin içindeki ve dışındaki davranışı.                                                                                                                                        | 16 |
| Şekil 3.1. Bayburt ilinin coğrafi konumu.                                                                                                                                                                                        | 25 |
| Şekil 3.2. Bayburt beyaz tüf.                                                                                                                                                                                                    | 26 |
| Şekil 3.3. BBT'nin mineralojik analizi (XRD analizi) [87].                                                                                                                                                                       | 27 |
| Şekil 3.4. BBT'nin mikroskobik görüntüsü (SEM analizi) [87].                                                                                                                                                                     | 27 |
| Şekil 3.5. Bayburt yeşil trası, a) Kırılmadan önce, b) Kırıldıktan sonra, c) Öğütülmüş                                                                                                                                           | 28 |
| Şekil 3.6. YBT'nin mikroskobik görüntüsü (SEM analizi) [87].                                                                                                                                                                     | 28 |
| Şekil 3.7. YBT'nin mineralojik analizi (XRD analizi) [87].                                                                                                                                                                       | 28 |
| Şekil 3.8. a) Bazalt lif ve b) Karbon lif                                                                                                                                                                                        | 31 |
| Şekil 3.9. Deney tasarım planlaması.                                                                                                                                                                                             | 32 |
| Şekil 3.10. Yayılma tablası deneyleri a) Karbon lifli b) Bazalt lifli                                                                                                                                                            | 35 |
| Şekil 3.11. Sırasıyla eğilme ve basınç dayanımı deneyi.                                                                                                                                                                          | 36 |
| Şekil 3.12. a) Suyu bırakılmış numuneler b) Su içerisinde ağırlığı bulunan numune c)DKY haline getirilen numune d) DKY ağırlığı ölçülen numune e) Etüve bırakılan numuneler f) Kuru ağırlığı bulunan numune.                     | 37 |
| Şekil 3.13. a) Dijital kaliper, b) Büzülme deneyi referans çubuğu c) Referans çubuk boy ölçümü d) GM büzülme deneyi.                                                                                                             | 38 |
| Şekil 3.14. EMF alan özellik ölçüm düzeneği                                                                                                                                                                                      | 39 |
| Şekil 3.15. Elektromanyetik özellikleri ölçmek için kullanılan ekipmanlar: a) Faraday kafesi, b) Dalga jeneratörü, spektrum analizörü (1) ve spektrum analizörü (2), c) Numune ve spektrum analizörü (2), d) spektrum analizörü. | 40 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1. Yayılma deneyi sonuçları a) BBT yayılma verileri, b) YBT yayılma verileri .....                                      | 42 |
| Şekil 4.2. BBT ile üretilmiş, Bazalt lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları. ....                    | 43 |
| Şekil 4.3. Bazalt lifli GH.....                                                                                                 | 44 |
| Şekil 4.4. BBT ile üretilmiş, Karbon lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları. ....                    | 44 |
| Şekil 4.5. YBT ile üretilmiş, Bazalt lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları. ....                    | 45 |
| Şekil 4.6. YBT ile üretilmiş, Karbon lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları. ....                    | 46 |
| Şekil 4.7. Karbon ve Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT ve YBT esaslı kalsitsiz GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları. .... | 47 |
| Şekil 4.8. Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş BBT ile üretilmiş GH'lerin BHA verileri. ....                                  | 49 |
| Şekil 4.9. Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş YBT ile üretilmiş GH'lerin BHA verileri. ....                                  | 50 |
| Şekil 4.10. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin boy değişimleri.....                                                | 53 |
| Şekil 4.11. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin boy değişimleri .....                                               | 54 |
| Şekil 4.12. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin boy değişimleri.....                                                | 55 |
| Şekil 4.13. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin boy değişimleri.....                                                | 55 |
| Şekil 4.14. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM iletim grafiği.....                                              | 56 |
| Şekil 4.15. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM yansıma grafiği.....                                             | 57 |
| Şekil 4.16. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM iletim grafiği.....                                              | 58 |
| Şekil 4.17. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM yansıma grafiği... ..                                            | 59 |
| Şekil 4.18. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda iletim verileri grafiği. ....                | 60 |
| Şekil 4.19. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda yansıma verileri grafiği. ....               | 61 |
| Şekil 4.20. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda iletim verileri grafiği. ....                | 62 |
| Şekil 4.21. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda yansıma verileri grafiği. ....               | 63 |
| Şekil 4.22. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği. ....                                  | 64 |
| Şekil 4.23. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği. ....                                  | 65 |

## **Sayfa**

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.24. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği. .... | 66 |
| Şekil 4.25. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği. .... | 67 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 GM'lerin uygulama alanları.....                                                                               | 12 |
| Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan bileşenlerin kimyasal özellikleri.....                                                 | 29 |
| Çizelge 3.2. Kullanılan karışım suyunun kimyasal özelliği [113].....                                                      | 30 |
| Çizelge 3.3. Sodyum silikatın teknik özellikleri (38 – 42 Bome).....                                                      | 30 |
| Çizelge 3.4. Bazalt ve Karbon liflerin teknik özellikleri [114,115].....                                                  | 31 |
| Çizelge 3.5. BBT, YBT ve mikronize kalsitin fiziksel özellikleri.....                                                     | 32 |
| Çizelge 3.6. NaOH ile üretilen Beyaz tuf esaslı GM'lerin karışım tasarımı. ....                                           | 34 |
| Çizelge 3.7. NaOH ile üretilen Yeşil tuf esaslı GM'lerin karışım tasarımı. ....                                           | 34 |
| Çizelge 4.1. NaOH+Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ile aktive edilmiş GH'lerin kıvam ve priz süresi deney sonuçları. .... | 41 |
| Çizelge 4.2. BBT ile üretilen NaOH aktivatörlü GH'lerin su emme deney sonuçları. ....                                     | 51 |
| Çizelge 4.3. YBT ile üretilen NaOH aktivatörlü GH'lerin su emme deney sonuçları ....                                      | 52 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| $\text{Al}_2\text{O}_3$   | : alümin oksit                    |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$  | : kalsiyum hidroksit (portlandit) |
| $\text{CaCO}_3$           | : kalsiyum karbonat               |
| $\text{CaO}$              | : sönmemiş kireç                  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$   | : demir oksit                     |
| $\text{MgCO}_3$           | : magnezyum karbonat              |
| $\text{MgO}$              | : magnezyum oksit                 |
| $\text{KOH}$              | : potasyum hidroksit              |
| $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ | : sodyum silikat                  |
| $\text{Na}_2\text{SiO}_4$ | : sodyum sülfat                   |
| $\text{Na}_2\text{CO}_3$  | : sodyum karbonat                 |
| $\text{MgSO}_4$           | : magnezyum sülfat                |
| $\text{NaOH}$             | : sodyum hidroksit                |
| $\text{HCl}$              | : hidroklorik asit                |
| $\text{SiO}_2$            | : silisyum dioksit                |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$   | : alüminyum oksit                 |
| $\text{CO}_2$             | : karbondioksit                   |
| C-A-S-H                   | : kalsiyum-alümina-silikat-hidrat |
| C-S-H                     | : kalsiyum-silikat-hidrat         |
| N-A-S-H                   | : sodyum-alümina-silikat-hidrat   |
| N-S-H                     | : sodyum-silikat-hidrat           |
| M                         | : molar                           |
| %                         | : yüzde                           |
| cm                        | : santimetre                      |
| m                         | : metre                           |
| Ç/T                       | : çözelti/toz                     |

|     |                      |
|-----|----------------------|
| Sa  | : saat               |
| dk  | : dakika             |
| kg  | : kilogram           |
| °C  | : santigrat derece   |
| s/b | : su/bağlayıcı       |
| keV | : electron           |
| meV | : megaelektronvolt   |
| Hz  | : frekans            |
| pH  | : power of hydrogen  |
| Ppm | : milyonda bir birim |
| Lt  | : litre              |

## KISALTMALAR

|      |                                                               |
|------|---------------------------------------------------------------|
| AB   | : Avrupa Birliği                                              |
| ASTM | : Amerika Standart Test Metodu                                |
| BT   | : Bayburt Tüf                                                 |
| BBT  | : Beyaz Bayburt Taşı                                          |
| SBT  | : Sarı Bayburt Taşı                                           |
| YBT  | : Yeşil Bayburt Taşı                                          |
| GGBS | : Granül Yüksek Fırın Cürufu                                  |
| MiK  | : Mikronize Kalsit                                            |
| NS   | : Nano Silis                                                  |
| MT   | : Mermer Tozu                                                 |
| MK   | : Metakaolin                                                  |
| MTA  | : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü                       |
| PÇ   | : Portland Çimento                                            |
| SEM  | : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu) |
| TS   | : Türk Standardı                                              |
| UK   | : Uçucu Kül                                                   |
| vd   | : Ve Diğerleri                                                |
| YFC  | : Yüksek Fırın Cürufu                                         |
| XRD  | : X ışını difraksiyonu                                        |
| ZT   | : Zeolitik Tüf                                                |
| EMF  | : Elektromanyetik frekans                                     |
| GO   | : Geometrik optik modelinde                                   |
| FO   | : Fiziksel Optik                                              |
| GH   | : Geopolimer Hamur                                            |
| GM   | : Geopolimer Malzeme                                          |

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Betonun ana bileşeni olan çimento kil ve doğal kalker taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcı bir malzemedir. Çimento endüstrisi antropojenik sera gazları emisyonlarının %8'inden çimento sektörünün sorumlu olduğu bilinmektedir [1]. İnşaat sektörü başta olmak üzere, ocak ve atölye işletmeciliği ile yapılan doğal taş üretimlerinde teknolojiye bağlı olarak yaklaşık %70'e kadar atık ürün oluşabilmektedir. Depo sahalarına toplanan atıklar, rüzgâr ve yağmur erozyonu ile taşınan partiküller tarım arazilerini kirlletmekte, içme sularını tahrip etmekte ve tozlaşma sonucunda doğa kirliliği oluşturmaktadır.

Bayburt metamorfik, sedimenter ve volkanik taş oluşumlarının yer aldığı, doğal taş açısından zengin bir ilimizdir. Sarı, yeşil ve beyaz renklerde farklı türlerde tüfler bulunmaktadır. Kimyasal yapıları benzerlik gösteren bu taşların sarı tuf kils, yeşil tuf tras yapılı ve beyaz tuf zeolitik karakterdedir [2]. Beyaz tuf (BT) genellikle dış cephe kaplama taşı olarak, sarı tuf dış cephe kaplama ve süs malzemesi olarak, yeşil tuf ise çimento minör/ana bileşen ve kaplama taşı olarak kullanılmaktadır. MTA verilerine göre yaklaşık olarak 180 milyon m<sup>3</sup> tuf rezervi vardır [2].

Volkanik esaslı kayaların puzolanik özellikleri bu taşların atıklarının çimento sektöründe kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ancak zeolitik tüflerin bazı özellikleri çimentoda kullanıma yeterince uygun olmamakta [3] ve bundan dolayı bu bileşenlerin yeni malzeme üretimlerine dönüşümleri araştırılmalıdır. İçeriğinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve CaO bulunan yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), zeolitler gibi amorf yapılı endüstriyel atıkların alkali aktive edilerek bağlayıcılık özelliği kazandırılması sonucu çimentoya alternatif bağlayıcı yöntemi geliştirilmiştir. Puzolanik malzemelerin aktivasyon enerjisini artırarak elde edilen alkali-aktive edilmiş bileşikler hızlı

reaksiyonlarla dayanımlı kalsiyum içerikli alüminyum silikat hidrat jelleri oluşturur ve bunlara günümüzde geopolimer yapılar denilmektedir [4,5].

Geopolimer malzemeler (GM), ilk olarak 1940'lı yıllarda Purdon tarafından keşfedilmiştir [6]. 1950 yılında ise Glukhovsky tarafından geliştirilmiş ve farkındalığı artırılmıştır [7]. GM, çeşitli katı alüminosilikat kaynakları (öncüler) ve bu öncülerini aktive eden alkali çözelti arasındaki reaksiyon sonucu zamanla dayanım kazanan polimer esaslı malzemelerdir. GM üretmek için birçok yaygın katı alüminosilikat kaynağı kullanılabilir, örneğin GGBS [8], Metakaolin (MK) [9], UK [10] ve Zeolitik tuf [11,12] gibi. Alkali aktivatörler tek tek veya birlikte kullanılabilen sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ), potasyum hidroksit ( $\text{KOH}$ ), sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve kalsiyum hidroksit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) [13,14].

Yalnızca bağlayıcı olarak çimento ile üretilen beton ve hamurlara göre, alkali aktive edilmiş bağlayıcılar kıyaslandığında daha yüksek erken dayanım, düşük hidratasyon ısı, düşük porozite, yüksek durabilite, yüksek matris agrega ara yüzeyi ve daha iyi geçirimsizlik gibi avantajları sahip olmaktadır [15]. Alkali aktivasyon düşük sıcaklarda gerçekleşmektedir. GM yüksek mekanik özellikleri, yangına dayanıklılık ve düşük enerji tüketimi gibi avantajları ile çevresel açıdan sürdürülebilir unsurlar oluşturma potansiyeline sahip üstün özellikli malzemelerdir. Bunlarla birlikte, yapılan araştırmalar sonucunda GM'lerin gevrek davranış gösterdiği ve yükleme koşullarında OPC harcı veya betona göre çatlamaya karşı daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır [16,17]. Yapılan araştırmalarda gevrekliği azaltmak için lif takviyesinin olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir. GM karışımlarında liflerin kullanılması eğilme ve basınç dayanımlarını artırmaktadır. Fakat kullanılan lif oranlarının optimize edilmesi gerekmektedir, çünkü fazla kullanılması dayanım ve dayanıklılığı düşürebilmektedir [18].

Günümüzde teknolojik aygıtlar, özellikle mobil telefonlar, televizyon, kablosuz internet (Wi-Fi) bulunduğu ortamlarda yüksek oranda elektromanyetik (EM) kirlilik oluşturmaktadır. Ayrıca aynı ortamda birden fazla cihazın oluşturduğu EM dalganın girişimi sonucunda cihaz performanslarında olumsuzluklar da oluşabilmektedir. EM

radasyunun insan üzerinde biyolojik olarak iki temel etkisi bulunmaktadır: 1) Kısa sürede hissedilir durumlar: stres, uykusuzluk, cilt problemleri, hafıza kaybı, migren, kilo alımı, 2) Uzun sürede hissedilen durumlar: beyin tümörü, Parkinson, lösemi, kanser, Alzheimer ve doğurganlıkta azalma olmaktadır [19]. EM radyasyonun zararlı etkilerinin olmadığı bir ortamın olmadığı düşünülmektedir. Fakat radyasyona maruz kalmayı en aza indirebilmek için çalışmalar sürmektedir; bunlardan biri de EM kalkanlama yapabilen kompozit kaplama malzemeleri üzerindeki çalışmalardır.

Bu çalışmada elektromanyetik özellikleri iyileştirilmiş karo yer ve duvar kaplama malzemelerinin üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, alüminosilikat kaynağı olarak zeolitik yapılı Beyaz Bayburt tüfü (BBT), tras yapılı Yeşil Bayburt trası (YBT) ve dayanım artırma amacıyla kalsiyum kaynağı olarak mikronize kalsit (MiK), aktivatör olarak NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> çözeltileri birlikte kullanılmıştır. Üretilen geopolimer hamurlar farklı oranlarda karbon ve bazalt liflerle güçlendirildikten sonra fiziksel, mekanik ve elektromanyetik özellikleri araştırılmıştır.

Bu kapsamda çalışmanın araştırma sorusu “***Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş geopolimer malzemelerde elektromanyetik özellikler iyileştirilebilir mi?***”, hipotez “***BBT ve YBT esaslı kalsitli ve kalsitsiz geopolimer malzemeler bazalt veya karbon lifle güçlendirildiğinde yüksek seviyede elektromanyetik kalkanlama yapabilir***” olarak olmuştur.

## BÖLÜM 2

### KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın temel amacı farklı liflerle güçlendirilmiş tuf esaslı geopolimer hamurların (GH) fiziksel, mekanik ve elektromanyetik özelliklerin belirlenmesidir. Bu kapsamda kuramsal temeller üretim teknikleri (sol-jel yöntem, geopolimerizasyon), donatılandırma ve elektromanyetik özellikler üzerine kurgulanmıştır.

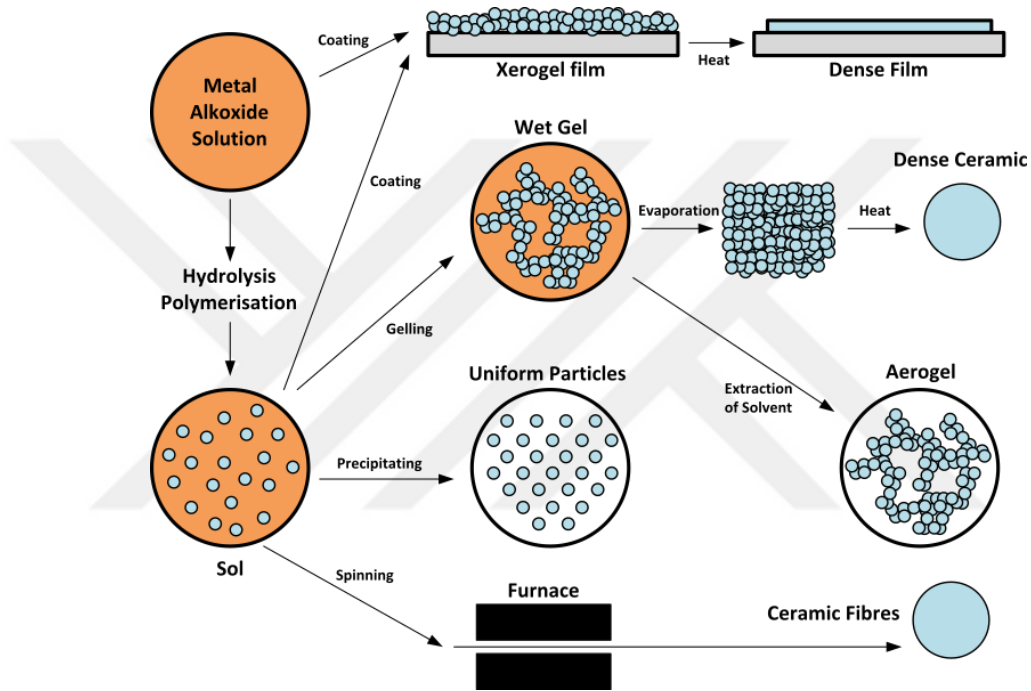
#### 2.1. SOL-JEL YÖNTEMİ

Sol-jel yöntemi 1846 yılında Ebelman tarafından, tetra-etoksi-silanın atmosferdeki serbest nem ile hidrolizi sonucunda jele dönüşümü olarak tanımlanmıştır. Sol-jel prosesi, bir sol ya da jeli orta basamak olarak kullanarak diğer metotlardan daha düşük sıcaklıklarda çözeltiden katı bir malzemenin hazırlanması olarak tanımlanmaktadır. Böylece sol-jel yöntemi yüksek homojenliğe ve saflığa, uniform kristal morfolojisinde iyi tanımlanmış nanopartiküllerin sentezine olanak sağlar [20,21].

Yeterli büyüklükteki parçacıkların çözücü içerisindeki disperizasyon karışımına “sol” [22], sıvı ile katının birbirine karıştığı ağ yapısı ve sıvı içeren katıya jel denir [23]. Sol-jel yönteminde yapılan bir çok çalışmada başlangıç maddesi olarak daha çok  $M(OR)_n$  formundaki alkoksitler (M: metal, n: değerlik, R: alkali grupları) kullanılmaktadır ve bu alkoksitlerin çoğu organik çözücüde çözülürler [24]. Bu yöntem etanol ve benzeri gibi uygun bir çözücü içerisinde ortamı katalizörlü ya da katalizörsüz tetra n-butil titanat gibi bir metal-organik ön başlatıcının hidroliz ve kondensasyonunu içerir [25]. Katı malzemelerin sentezlenmesi genel olarak yaş kimya reaksiyonlarını içerir. Fakat sol-jel kimyası, hidroliz ve kondensasyon reaksiyonlarıyla oksit ağdaki moleküler ön başlatıcıların transformasyonuna dayanmaktadır [26].

Alkol-su çözelti içerisinde bulunan alkoksit grupları, asidik veya bazik katalizör olması durumunda, hidroliz ile yavaş bir şekilde uzaklaştırılır. Daha sonra -M-O-M-

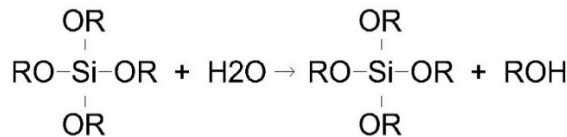
bağlarını yapılandıracak hidroksil grupları ile yer değiştirir. Polimer ağlar bir araya gelerek tüm çözelti hacmini kaplaması ile jelleşme gerçekleşir. Jel gelişimi ile doğru orantılı olarak viskozite ve elastisite modülü artmaktadır. Devamında jel, buharlaştırılarak xerogeli oluşur ya da süper akışkan ekstraksiyonu ile kurutularak aerogel elde edilebilir [27]. Sol- jel yöntemi ile istenilen sertlik, optik transparanlık, kimyasal dayanıklılık, gözeneklilik ve kimyasal direnç vb. özelliklere sahip malzemeler üretilmektedir [28].



Şekil 2.1. Sol-Jel yönteminin şematik gösterimi [29].

### 2.1.1. Hidroliz Reaksiyonu

Hidroliz reaksiyonu Sol-jel yönteminin ilk reaksiyonudur. Bu işlemde en çok tercih edilen ön başlatıcılar metal alkoksitlerdir ve iyi derecede su ile reaksiyon vermektedir. Sudaki hidroksil iyonu Eşitlik 2.1 de gösterildiği gibi metala bağlanır ve buna hidroliz reaksiyonu denir.



(2.1)

### 2.1.2. Kondenzasyon Reaksiyonu

Hidrolize bileşikler kendi aralarında reaksiyona girerek kondensasyon (yoğunlaşma) reaksiyonu gerçekleştirir. Bu reaksiyon su ve alkol kondensasyonu olmak üzere iki çeşittir. Kondensasyon reaksiyonlarından sonra silikon (Si-O-Si) bağları oluşur [30]. Bu oluşum geopolimerizasyon teknolojisinin temelini oluşturmaktadır.

### 2.2. GEOPOLİMERİZASYON TEKNOLOJİSİ

Geopolimerizasyon yönteminde bağlayıcılık özelliği ‘Öncü’ adı verilen puzolanlar ile ‘aktivatör’ adı verilen alkali çözeltisinin kimyasal tepkimeye girmesi sonucu meydana gelmektedir. Portland çimentosuna alternatif olan bu yöntem endüstriyel atıklardan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve uçucu kül ile yapılmaktadır [31,32]. Ayrıca doğal zeolit tras ve metakaolin de geopolimer araştırmalarında kullanılmaktadır.

Zeolitler, kristal yapıda olup alkali ve toprak alkali elementler içeren alüminyum silikatlardır.  $\text{SiO}_4$  ve  $\text{AlO}_4$  tetrahedrallerin oluşturdukları zincirli yapılara sahiptirler. Bu zincirler birbirlerine potasyum, sodyum, baryum ve kalsiyum iyonlarıyla bağlı ortası boşluklu yapılardır. Zeolitlerde bulunan boşluklar kanala benzer ve bu özellik, zeolitleri diğer absorbanlardan ayırmaktadır. Bulunan bu boşluk boyutları, zeolit içeriğindeki katyon ve kristal yapılarına göre değişmektedir [33].

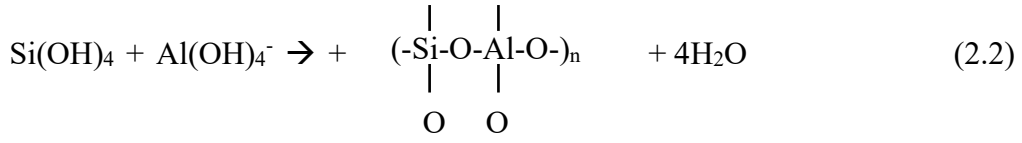
Yarı veya tam puzolanik özelliğe sahip malzemelerin bağlayıcılık özelliğini artırmada kullanılan alkaliler genellikle sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ), sodyum meta silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve potasyum hidroksit ( $\text{KOH}$ ) çözeltileridir [34,35,36].  $\text{KOH}$ ’ın alkali oranı  $\text{NaOH}$ ’dan yüksek olmasına rağmen  $\text{NaOH}$ ’ın Si ve Al atomlarını çözmedeki etkisinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında potasyum içerikli alkaliler daha pahalı olmasından dolayı diğerlerine göre daha az tercih edilmektedir [37]. Literatürde farklı aktivatör kombinasyonları denenmiş ve  $\text{NaOH}$ - $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  karışımının tek başına  $\text{NaOH}$  kullanılmasından daha olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Alkali hidroksitler, alüminosilikat yapıları çözerken  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  bağlayıcılık görevi yapmaktadır [38].

GH'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen parametrelerden biri kullanılan aktivatör oranıdır. Aktivatör oranı optimumken malzemenin dayanımı artar, optimum altında/üstünde olduğunda dayanımlar azalmaktadır. Optimum değerinin üzerinde aktivatör kullanılması durumunda serbest OH iyonları dayanımı azaltmaktadır. Zaman ve uygulanan kür mekanik mukavemetleri önemli oranda etkilemektedir [39]. Purdon granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcılık özelliğini NaOH ile aktive ederek artırmıştır. Bu çalışmada aktivasyonun sürecinin iki aşamalı olarak geliştiği belirlenmiştir [6]. İlk aşamada silika, alüminyum ve kalsiyum hidroksitler çözünmekte; ikinci aşamada alkali çözeltisinin etkisiyle silika ve alümin hidratlar oluşmaktadır. Purdon alkali hidroksitlerin katalizörlük yaptığını, Glukhovsky bazik ortamda kalsiyumsuz veya az kalsiyumlu alümina silikatlar ile alkali aktivasyon işlemini incelemiştir ve elde ettiği bağlayıcılara toprak bağlayıcısı ismini vermiştir [40]. İlk defa Fransız bilim adamı Joseph Davidovits 1978 yılında metakaolin kullanarak alümina silikatların alkali hidroksit ve silikat ile reaksiyonunu incelemesi ile "Geopolimer" kavramı ortaya çıkmıştır [41]. İlk etapta bu tip malzemelerin kullanım amacı Avrupa'da yaşanan birkaç yangın felaketinin ardından organik ısı ile sertleşen polimerler, yangına dayanıklı bir alternatif olarak geliştirilmiş ve ahşap yapıları koruma amaçlı birçok alanda termal koruyucu malzeme üretilmiştir [42].

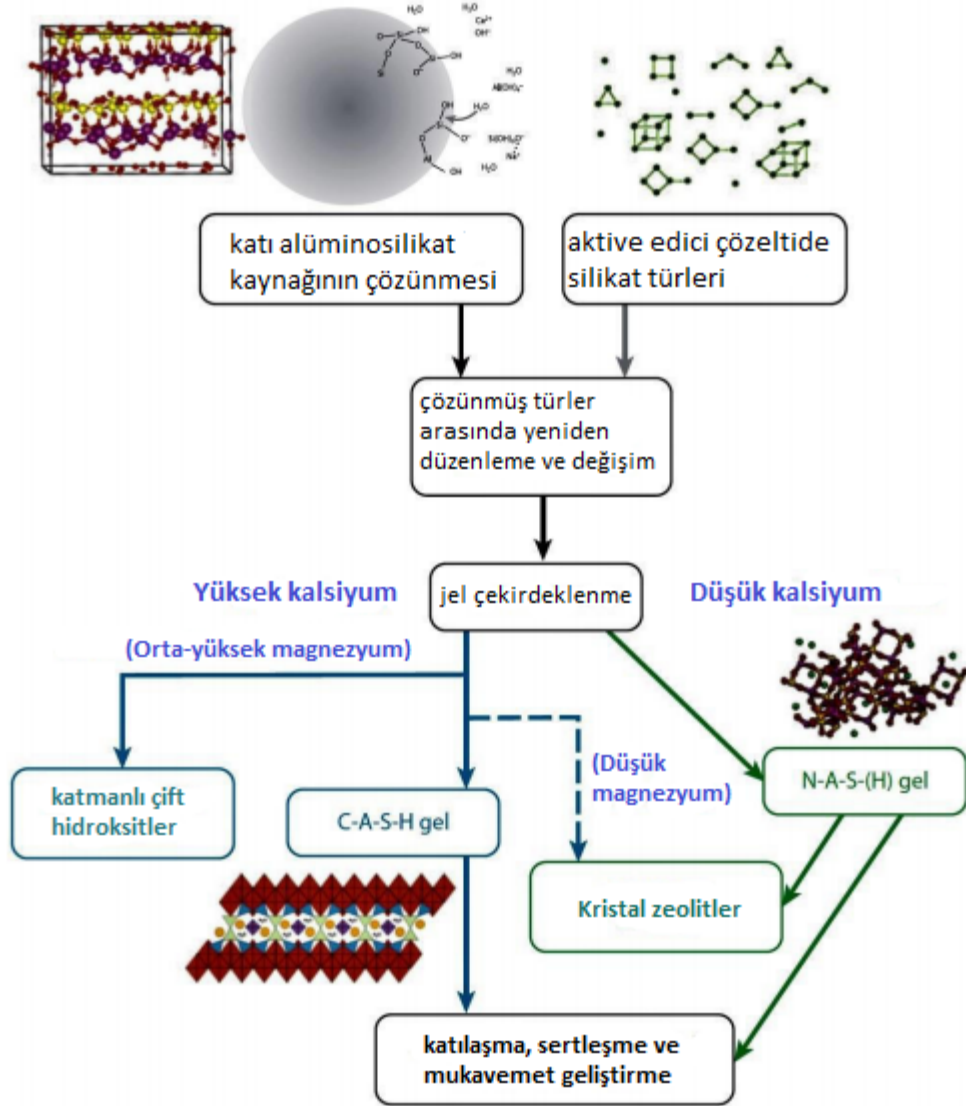
### 2.2.1. Geopolimer Malzemelerin (GM) Kimyası

GM'ler çoğunlukla sıvı form ve katı alümina silikatlar ile güçlü bir reaksiyon sonucu üretilmektedirler. Alkali aktivasyonda polimerleşme, sol-jel metodun bir parçası olarak öncü katı malzemelerde bulunan Si-O-Si bağlarının kopması ve Al atomlarının yapıya nüfuz etmesi ile başlar. Diğer bir deyişle, aşındırıcı alkali ortamlarda, Alüminosilikatlar ile  $[\text{SiO}_4]$  ve  $[\text{AlO}_4]$  oksijen atomlarını paylaşarak polimerize olur. Oluşan polimerin genel formül  $\text{Mn}[-(\text{Si-O})_z-\text{Al-O}]_n$ . Burada M alkali katyonlar anlamına gelir. Na, K ve Ca n gibi bir çözüm polikondensasyon derecesidir ve z 1, 2, 3 olabilir [43,44,45]. Eşitlik 2.2'de geopolimerizasyon sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar gösterilmektedir.





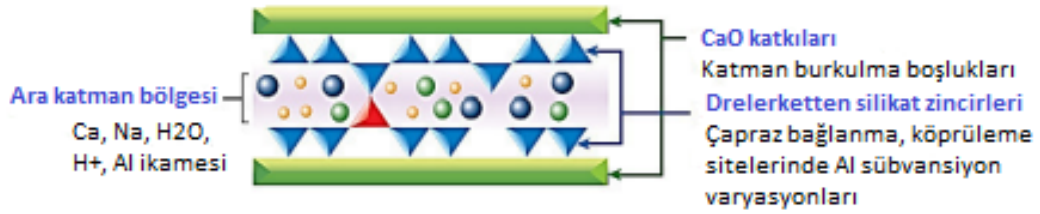
Şekil 2.2’de alkali aktivasyon adımları şematik olarak gösterilmekte ve Ca içeriğine göre düşük/yüksek alümina silikatlar için bu reaksiyon iki grupta kategorize edilmektedir. İlk olarak,  $\text{Al}_3^+$  ve  $\text{Si}_4^+$  alkali çözelti içerisinde çözünür. Daha sonra bu iyonlar alkali ortamda yeniden bağ yapısı oluştururlar ve son olarak, genellikle Al-O-Si polimerleri üreten poli-yoğuşma adı verilen sertleşme adımı başlar.



Şekil 2.2. Yüksek ve düşük kalsiyum ile alkali aktive edilmiş malzemeler [46].

### 2.2.1.1. Yüksek Oranda Kalsiyum İçeren Geopolimer Hamur (GH)

Yüksek kalsiyumlu GH üretiminde kullanılan cüruf, yüksek Ca içeren alüminosilikat tozudur. Cürufun alkali aktivasyonunun ürünü, ikame edilmiş bir C-S-H jelidir. Bazı durumlarda Al ve Si bağ düzeni tobermorite benzeri bir yapıdır. Ca/Si oranı esas olarak aktivatörün özelliklerine bağlıdır, yani bu oran alkali silikat aktivasyonuna kıyasla NaOH aktivasyonunda daha yüksektir. Oluşan C-S-H jeli, Portland çimentosu hidrasyonunda gerçekleştiği gibi silikat zincir katmanları içerir. Aşağıda verilen Şekil 2.3'te gösterildiği gibi katmanlar arasında katyonlar ve hidrasyon suyu bulunmaktadır. Bazı bir ortamda alüminosilikat oksitlerin reaksiyonu sonucu Si-O-Al-O polimerik yapılı bağlar kurması ile yüksek kalsiyumlu GH'lar oluşmaktadır [47].



Şekil 2.3. Yüksek kalsiyumlu GH'lerin yapısı [46].

Çözünmeyi etkileyen parametrelerden birisi alkali metal katyonudur.  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  katyonlarını aynı elektriksel yüke sahip olsa bile iyonik çaplarının farkı olmasından dolayı etkileri farklı olmaktadır. İyonik çapının küçük olması, katyonların reaksiyon etkileşimlerini artırmaktadır.  $\text{Na}^+$  katyonunun iyonik çapı  $\text{K}^+$  un çapından daha küçüktür. Bundan dolayı  $\text{Na}^+$  kullanılması sebebiyle minerallerin çözünmesi daha hızlı gerçekleşmektedir [47].

Uzun zincirli Al-O-Si oligomerleri üretebilmek için yüksek derişimli silikat, özellikle sodyum silikat kullanılması gerekmektedir. Her uzunlukta olabilen silikatlar, derişik alkali çözeltilerindeki reaksiyonu sonucu Al-O-Si kompleksleri oluşabilmektedir. Ancak geopolimerizasyon başlatıcılarının oluşması her silikatta aynı değildir. Örneğin  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  gibi küçük yüklere sahip silikat monomerleri için, daha uzun zincirli silikat oligomerleri gerekmektedir. Sodyum silikat çözeltisi, geopolimerizasyonu başlatmak

için gerekli silisyum içeriğine sahip olduğundan dolayı Al ve Si içeren tüm karışımlara eklenebilmektedir [47].

#### 2.2.1.2. Düşük Kalsiyum Oranlı Geopolimer Hamur (GH)

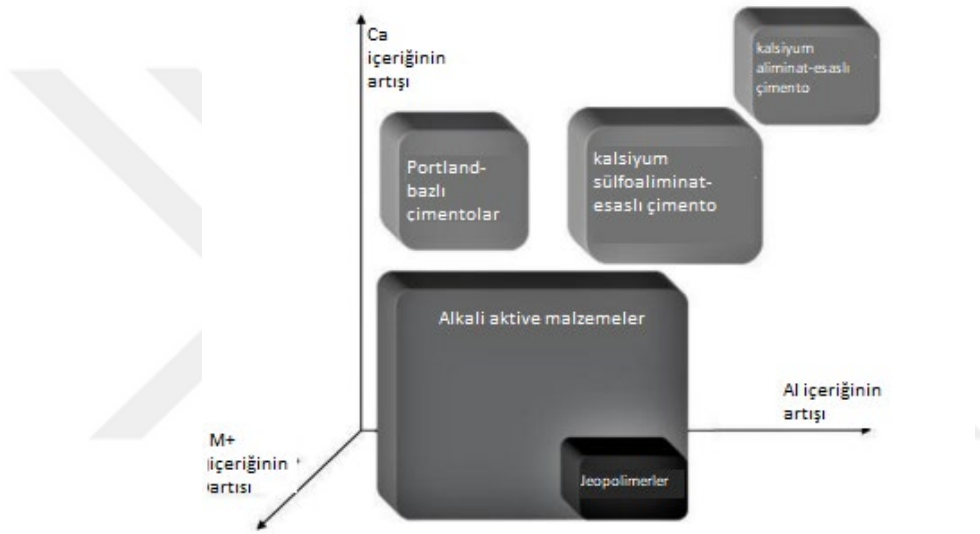
Düşük kalsiyumlu GH üretmek için metakaolin ve düşük kalsiyumlu uçucu kül kullanılır. Bu malzemelerin alkali aktivasyonu genel formülü  $M_n \{-(SiO_2)_z-AlO\}_n \cdot wH_2O$  şeklindedir ve burada M potasyum veya sodyum gibi katyon anlamına gelir. Na, Mg, Ca ve n polikondensasyon derecesini gösterir, w alümina silikatın hidrasyonunun bir fonksiyonu olarak değişir, z ise 1, 2, 3 veya daha yüksek değer olabilir. Bu grubun yapısı zeolit yapısına benzer.  $SiO_4$  ve  $AlO_4$ , oksijen atomu köprülerine bağlanır ve Al atomlarının varlığı nedeniyle negatif yükü dengelemek için Na veya diğer katyonlar vardır [48]. Düşük kalsiyum oranlı GH konusu yeni bir araştırma alanı olduğundan dolayı çalışmalar azdır. Glukhovsky, puzolanik malzemelerin aktivasyon reaksiyonları için üç aşmaktan oluşan mekanizmalar önermiştir [48];

1. Tahribat-koagülasyon
2. Koagülasyon (topaklaşma)-yoğunlaşma
3. Yoğunlaşma-kristalleşme

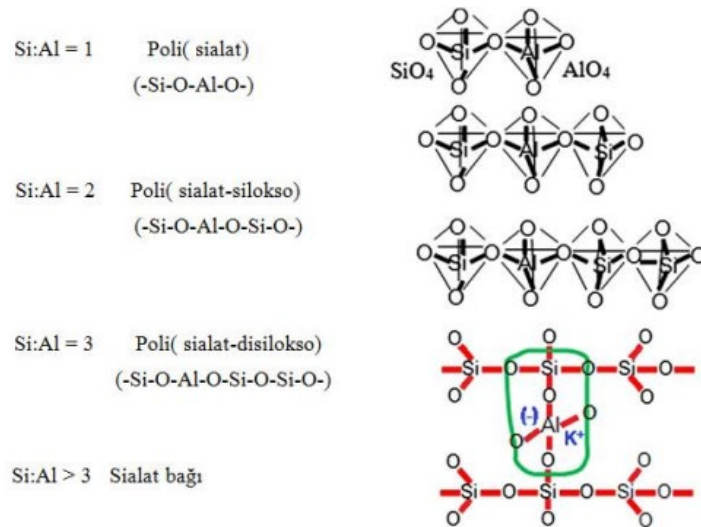
Davidovits'e (1994) göre tüm alkali aktive malzemeler polimerik yapıya sahiptir ve geopolimerler de gruba dahildir [7]. Devamında Bernal ve Provis yaptıkları çalışmalar sonucunda alkali aktive malzemelerin çok çeşitli olduğunu ve düşük kalsiyumlu üretilen grubun geopolimer olduğunu söylemektedirler [48]. Çözeltinin Ca, Al ve alkalitesine göre gruplar Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

GM ile alkali aktive malzeme kimyasal olarak birbirlerinden farklı olmasına rağmen, çoğu çalışma ve araştırmalarda aynı kavram olarak verilmektedir. AAM, polimer yapıya sahip değildir ve "geopolimer" olarak adlandırılması doğru olmayacaktır. AAM, NASH ve KASH gibi C-S-H türevi malzemelerdir. Geçmiş çalışmaların genelinde bu iki kavram aynı bilindiğinden dolayı bu çalışmada kaynak olarak her ikisi de bulundurulmaktadır. Geopolimerizasyon oluşum basamakları aşağıdaki gibidir.

1. Alkali aktivasyon (reaktif yüksek alkali içerisinde alümina silikatlar çözünmektedir)
2. Silikatların depolimerizasyonu (çözünmüş iyonlar kendi aralarında reaksiyonu)
3. Oligosialatların jel formasyonu
4. Polikondansasyon (su çıkışı ve yoğunlaşma)
5. Ağ yapısı oluşturma
6. Geopolimerlerin katılaşması (Su çıkışına bağlı olarak katı hal olmaktadır)



Şekil 2.4. AAM'lerin ve geopolimerlerin sınıflandırılması [49]



Şekil 2.5. Farklı geopolimer sistemleri [50,51].

Puzolanik malzemeler içeriğinde yüksek oranlarda alümina ve silika bulundurlar. Bu malzemeler öncü olarak çözelti içerisinde çözülür ve geopolimerizasyon sürecini başlatır ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeline benzeyen yapı oluşturarak tamamlar [47]. Alümina silikatlar alkali aktivatörle reaksiyona girerek üç boyutlu alümina silikat veya tetrahedral polimerize silikat oluşur. Devamında birbirlerine kovalent bağlı Si-O-Al ve Si-O-Si ürünleri kendi aralarında reaksiyona girerek polimer yapılar genişler. SiO<sub>4</sub> ve AlO<sub>4</sub> tetrahedrallerinin oksijen atomlarını paylaşması ile oluşan sialat yapısı Şekil 2.5'te verilmektedir [52,53].

### 2.2.2. Geopolimer Malzemelerin (GM) Kullanım Alanları

GM'lerin birçok avantajı olması nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir. İlk olarak Fransa'daki çeşitli yangınlardan sonra gelişen organik geopolimerler, yangına dayanıklı malzeme, dekoratif eser, seramik, refrakter malzeme, döküm sanayi, altyapı için kompozitler, uçak iç mekanları, biyoteknolojide (medikal uygulamalarda kullanılan malzemeler), otomobil, reçine ürünler, sanat-dekorasyon ürünler, kültürel miras, radyoaktif ve toksik atık çeperi, döküm sanayi, altyapı malzeme, tamir ve güçlendirme, hamur ve beton ve elektromanyetik malzeme gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir [54]. Aşağıdaki Çizelge 2.1'de GM'lerin uygulama alanları verilmektedir.

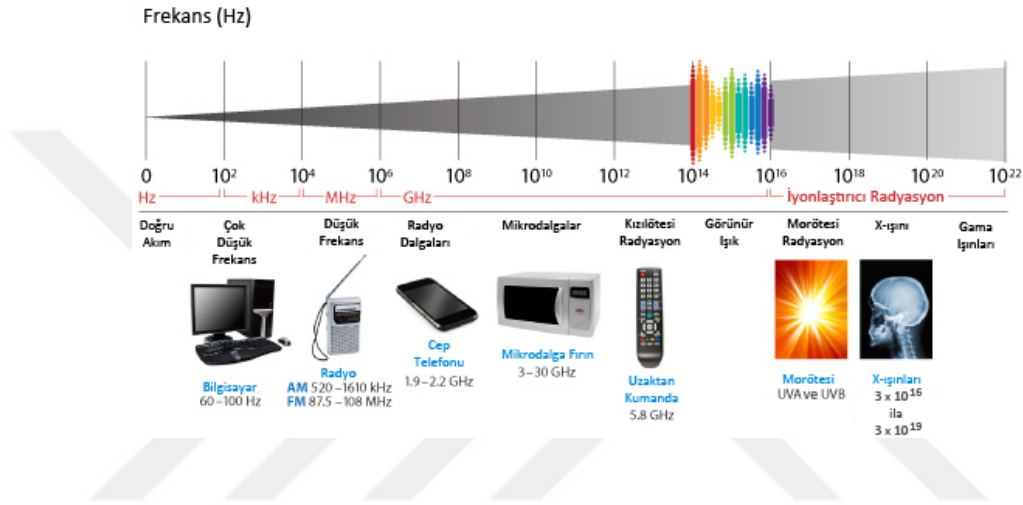
Çizelge 2.1 GM'lerin uygulama alanları

| Si/Al oranı | Uygulama Alanı                                                            |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1           | Seramik, yangın barınakları, tuğla                                        |
| 2           | Hamur, beton, radyoaktif ve toksik atık kapsülleme                        |
| 3           | Isıya dayanıklı kompozitler, döküm ekipmanları, lifli kompozit malzemeler |
| >3          | Sızdırmaz malzemeler                                                      |
| 20<Si/Al<35 | Isıya ve yangına dayanıklı fiber kompozitler                              |

### 2.3. ELEKTROMANYETİZMA (ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLER)

Elektromanyetik dalga kavramı, James Clerk Maxwell ilk defa ortaya çıkarmış ve devamında Heinrich Hertz bu hipotezi doğrulamıştır. Herhangi bir ortamdan geçen

enerji transferi, radyoaktif parçacıkların yayınladığı akım veya elektromanyetik dalgaların yayınına radyasyon denmektedir [55]. Radyasyon zamanın başlangıcından beri vardır ve yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır [56]. Dalga şeklindeki elektromanyetik dalgalar foton olarak adlandırılır ve ışık hızında hareket eden enerji çeşididir. Parçacık şeklindekiler ise temel parçacıklar olup atomun temel yapısını oluşturur. Anlaşılacağı üzere radyasyonun iki çeşidi vardır bunlar; elektromanyetik dalga ve parçacık tipidir.



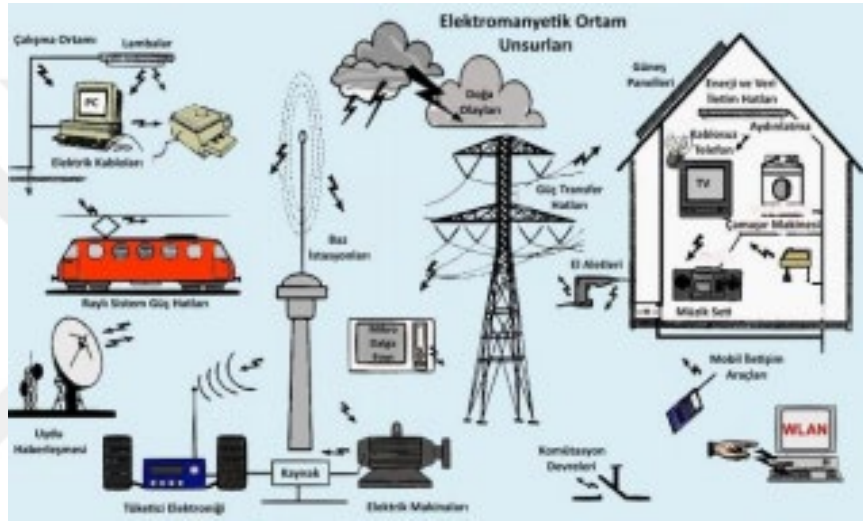
Şekil 2.6. Elektro manyetik spektrum [57]

Elektromanyetik dalga kütsüz ve belli bir enerjiye sahip radyasyon tipidir. Bu radyasyon tipi, titreşim yaparak ilerlemektedir. Elektromanyetik dalgalar; dalga boyları, frekans, enerjilerine göre ayrılırlar ve bunlara elektromanyetik spektrum denmektedir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi elektromanyetik spektrum eğrisinde, frekans enerjilerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır.

Var olan canlı cansız tüm varlıklar atomlardan oluşmaktadır. Atom da proton, nötron ve elektronlardan oluşmaktadır [58]. Herhangi bir sebepten ötürü atoma elektron gönderilmesi veya elektron koparılması sonucu atomun yük dengesi bozulmaktadır ve buna iyonizasyon, iyonizasyonla oluşan atoma ise iyon denmektedir. Bu açıdan radyasyonlar ikiye ayrılmaktadır, bunlar; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayanlardır. İyonlaştırıcı radyasyonlar, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara göre daha yüksek enerjilidir. Elektromanyetik spektrumunda bulunan radyo dalgaları, mikrodalgalar,

kızılötesi, görünür ışık ve ultraviyole iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. Morötesi, V-ışını ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleridir [59,60].

İnsan yapımı ve doğal kaynaklardan yayılabilen elektromanyetik dalgalar Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Telekomünikasyon teknolojisinin gelişmesi sonucu radyo frekanslarının kullanımı günden güne artmaktadır. Buna bağlı olarak daha düşük frekansa sahip mikrodalgalar, tıbbi araştırma sistemleri, askeri, hatsız bilgi transferi ve sivil uygulamalarda kullanım alanları genişlemektedir [61].



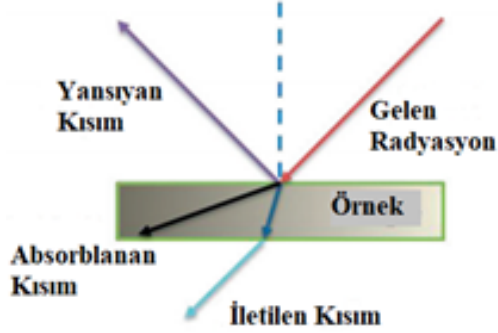
Şekil 2.7. Elektromanyetik frekans kaynakları [62].

### 2.3.1. Elektromanyetik Dalgaların Malzemelerle Etkileşimi

Etkileşim malzemenin yapısına, yoğunluğuna, gözenekliliğine, ortamdaki sıcaklık ve neme, malzemenin mikrodalga frekansları, milimetre dalgası ve THz için dielektrik özelliklerine bağlıdır [63]. Ayrıca, malzemenin kalınlığı ve kimyasal bileşimi, elektromanyetik dalgaların malzeme ile etkileşimini etkilemektedir [64]. Ölçüm tekniğinden bağımsız olarak karmaşık geçirgenlik olarak bilinen malzemenin iç karakteristiği malzeme karakterizasyonunun önemli bir değeri olarak kabul edilir [65].

Malzeme boyunca EM dalga etkileşimi sırasında, EM dalganın bir kısmı yansıtılır ve bazıları iletilir. Böylece, malzemeler ve elektromanyetik dalgaların etkileşimi, emilim,

yansıma ve iletim olarak üç şekilde gerçekleşir [66]. Elektromanyetik dalga ve malzeme arasındaki etkileşim Şekil 2.8’de açıklanmıştır [67].



Şekil 2.8. Elektromanyetik dalgaların malzeme ile etkileşimi.

#### 2.3.1.1. Ekranlama Etkinliği

Bir malzeme için Ekranlama etkinliği (SE), malzemenin elektromanyetik dalgaların dışarıdan içeriye veya tam tersi şekilde iletilmesini önleme yeteneğini tanımlar. SE, belirli bir malzemenin manyetik ve elektrik alanlar şeklinde elektromanyetik enerjisini ne kadar güçlü zayıflatacağının bir ölçüsüdür. Bir malzemenin koruyucu etkisi, malzemenin kalınlığı, iletkenliği ve geçirgenliği ve gelen dalga frekansı gibi onu etkileyen ana faktörlerle belirlenebilir. Bir malzemenin SE'si iki ana kavrama bağlıdır:

#### Elektromanyetik Dalgaların Malzeme Tarafından Yansıması Ve Soğurulması

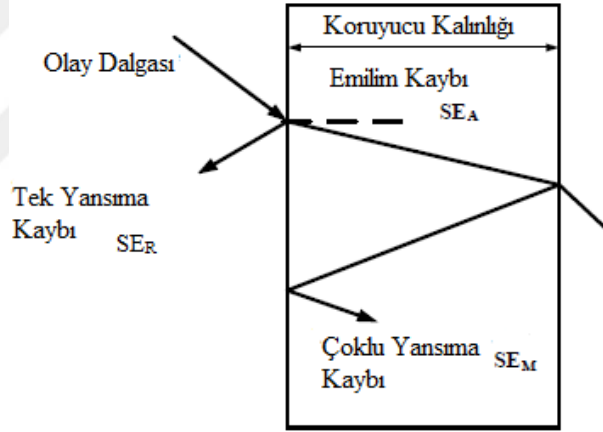
Temel olarak yansıtma, bir malzemenin elektromanyetik dalgaların yansıtma yeteneğidir. Elektromanyetik dalga yansıması, elektrik veya manyetik empedanslarında büyük farklılıklar olan herhangi iki ortam arasında kenarda meydana gelebilir. Ancak malzemenin cilt derinliği absorpsiyon etkisini gösterir. Yüzey derinliği, alan kuvvetinin yüzey akım yoğunluğunun 1/e kadar azalacağı penetrasyon derinliğidir. SE parametresi aşağıdaki (Eşitlik 2.3) ile hesaplanabilir [68]:

$$SE = 20 \cdot \log 10 \frac{H_i}{H_t} \quad (2.3)$$

Burada ( $H_i$ ), koruyucu malzemelerin olmadığı uzayda herhangi bir noktada elektrik ve manyetik alanın yoğunluğudur, ( $H_t$ ), koruyucu malzemelerin aynı yerde olduğu elektrik ve manyetik alanın yoğunluğudur. Schelkunoff'un koruyucu teorisine göre, bir koruyucu plaka için sonsuz olduğunda ve olay dalgasının yönü dikey olduğunda, SE eşittir [69]:

$$SE = SE_A + SE_R + SE_M \quad (2.4)$$

Burada  $SE_A$  emilim kaybıdır,  $SE_R$  yansıma kaybıdır ve  $SE_M$  tekrarlayan emilim kaybıdır ve SE birimi (dB) olacaktır. Şekil 2.9'da elektromanyetik dalga koruyucu malzemelerin içindeki ve dışındaki davranışını göstermektedir.



Şekil 2.9. Elektromanyetik dalga koruyucu malzemelerinin içindeki ve dışındaki davranışı.

## 2.4. KAPLAMA MALZEMELERİ

Kaplama malzemeleri yapının iç ve dış kısmında, yapı duvarlarına veya zeminine uygulanan malzemelerdir. Bu alanda yapılan gelişmeler sonucu yapay/yarı yapay malzemeler olarak birçok alternatif kaplama malzemesi üretilmektedir. Kaplama malzemelerin kullanımı mimari ve inşaat sektörünün gelişmesinde çok katkısı bulunmaktadır. [70]. Birim ağırlıklarına göre kaplama plakaları 4'e ayrılır.

1. Yüksek birim ağırlıklı doğal dekoratif kaplama plakaları ( $>1000 \text{ kg/m}^3$ )
2. Düşük birim ağırlıklı yapay dekoratif kaplama plakaları ( $<1000 \text{ kg/m}^3$ )
3. Düşük birim ağırlıklı dekoratif kaplama plakaları ( $<1000 \text{ kg/m}^3$ )
4. Düşük birim ağırlıklı ve izolasyon özellikli dekoratif kaplama plakaları ( $<1000 \text{ kg/m}^3$ )

Yalıtım farklı iki ortam arasındaki su, ısı, ses, yangın ve buhar difüzyonu geçirimini en aza indirmek yapılan yöntemlerdir. Yeni gelişmekte olan yalıtım unsurlarından birisi de radyasyondur. Bu malzemelere yalıtım özelliğini veren ana unsur gözenekli ve hafif agregalarla üretilmesidir. Malzemenin fazla gözenekli olması, gözeneklerde bulunan havanın çok sayıda mikroskobik gözeneklere dağılması sonucu ısı yalıtımı sağlanır. Gözenek yapısının az olması çevresel etkenlerden etkilenme olasılığını azaltmaktadır [70].

Kompozit en az iki farklı malzemenin oluşturduğu yeni malzemelerdir. Özellikle son yıllarda lif kullanımının artmasıyla birlikte lifli kompozit harç ve betonlar üretilmektedir. Ancak lifler 5.000 yıl öncesinde kullanılmaya başlamıştır. Eski çağlarda malzeme özelliklerini geliştirmek için güneşte pişmiş tuğla saman lifleri kullanılmaktaydı [71]. Sıcak ve kuru iklimlerde, çamura at kılı ve saman gibi malzemeler eklenerek ısı yalıtımı yapılmaktaydı. Lif takviyesi ile ilgili çalışmalar çelik, cam, sentetik elyaf, bazalt, karbon gibi liflerle yapılmıştır [72]. Lifler betona eklendiğinde, çimento hamuru matrisi boyunca rastgele dağılmış bir iskelet oluşturur ve bu şekilde büzülme çatlakları önlenir ve yük taşıma kapasiteleri artırılabilir. [73]

## 2.5. LİTERATÜR TARAMASI

Krizan ve Zivanovic (2002)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  çözeltisi ile alkali aktive edilmiş cürufllu numuneler üretmişlerdir. Cüruf puzolanik özelliğe sahiptir ve aktive edici olarak 0,6 ile 1,5 modüllerinde  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  eklenmiştir. Ürettikleri numunelerin kuruma rötresi davranışları ve basınç dayanımları araştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Portland çimentolu üretilmiş numunelere kıyasla, her iki  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  modülde üretilmiş numunelerde daha yüksek dayanım sonuçları gözlemlenmiştir. Çimentolu üretilmiş numunelerde  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile üretilmiş numunelere kıyasla büzülme daha az olmuştur. Rötire artışı, cam suyu dozajı ile doğru orantılı olarak artmakta olduğu belirtilmiştir [74].

Palomo (2005) Yüksek fırın cürufllu alkali aktive harç ve beton numunelerinin mekanik, fiziksel ve durabilite özelliklerini araştırmıştır. Aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmış  $85^\circ\text{C}$ 'de 24 saat kür edilmiştir. Üretilen numunelere yapılan basınç dayanımları 35-40 MPa arasında olmuştur. Çalışmanın devamında karışıma sodyum silikat ilave edilmesi sonucunda basınç dayanımları 90 MPa'ya kadar çıktığı gözlemlenmiştir [75].

Lee ve arkadaşları (2013) AAE cüruf ve AAE uçucu kül ile üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin oda sıcaklığında kürü araştırmışlardır. Üretilen numunelere priz süresi, boşluk oranı ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Priz süresinin karışımda kullanılan cüruf miktarının ve sodyum hidroksit oranının artmasıyla azaldığı sonucuna varılmıştır. Boşluk büyüklüğü AAE cürufllu numunelerde PÇ'li numunelere kıyasla daha küçüktür. Fakat boşluk oranı iki türde de yakın olduğu görülmüştür. AAE numunelerde zamanla boşluk miktarı artmaktadır ve buna bağlı olarak büzülmelerin oluşmasıyla mikro çatlaklar oluşmaktadır. Sonuç olarak AAE malzemelerde zamanla basınç dayanımında düşüşlerin gerçekleşebileceği belirlenmiştir [76].

G. Kürklü (2014), uçucu kül ile KOH ve NaOH içerikli geopolimer cephe kaplama malzemesi üretilmiştir. İnşaat sektöründe kullanılan malzeme boyutları örnek alınmış ve 215 mm x 65 mm x 15 mm'lik ahşap kalıplarda üretimi yapılmıştır. Potasyum hidroksit (KOH), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat solüsyonu (SS) alkali

aktifleştirici olarak kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 85 °C’de 24 saat küre bırakılmıştır. Sonuç olarak yapılan donma-çözülme testlerinde malzemelerin dayanımının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer kaplama tuğlaları ile fiyat karşılaştırması yapıldığında, piyasada bulunan dış cephe kaplama tuğlası fiyatlarının 0.50 – 1.15 TL/adet iken üretilen geopolimer cephe kaplama malzemesi fiyatı ortalama olarak 2.1 – 2.7 TL/adet olmuştur [77].

Medri vd. (2015), geopolimer hafif kaplama malzemesi üretimi için hafif olarak genişletilmiş vermikülit, bağlayıcı olarak metakaolin ve alümina bazlı bileşimler kullanılmıştır. Üretilen kompozitlere termal ve mekanik testlerin yanı sıra mikroyapısal analizlerde yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları 700 ve 900 kg/m<sup>3</sup> arasında iken ortalama termal iletkenlik ve mukavemet sırasıyla yaklaşık 0.2 W/mK ve 2 MPa olmuştur. Sonuçta üretilen hafif kompozit kaplama malzemelerinin yoğunluk ve mekanik değerleri tatmin edici olmuştur. İnşaat sektöründe kullanılan diğer malzemelerle kıyaslandığında termal özellikleri daha iyi olduğu görülmüştür [78].

N. Öksüzer ve Tekin (2016), Bayburt taş atıkları ve sodyum hidroksit NaOH kullanarak lifli geopolimer malzeme üretmişlerdir. Lifli ve lifsiz olarak 10 mol derişime sahip numuneler üretilmiş ve 90 gün oda sıcaklığı koşullarında bekletilmiştir. Üretilen numunelere 7, 28 ve 90 gün mekanik dayanım, su emme, aşınma, birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklığa dayanım deneyleri yapılmıştır. Ayrıca x-ışını kırınımı yöntemi (XRD), civa püskürtmeli porozimetre (MIP), ve taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ve x-ışını oksidal spektrum analizi (XRF) deneyleri de yapılmıştır. Sonuç olarak üretim aşamasında presleme işlemi yapılmaksızın üretilen lifsiz %60 BT numunelerinin 90 günlük yaklaşık 34 MPa, lifli 39 MPa basınç dayanımları olmuştur. Porozite değerleri % 25-45 oranlarında olması ve su direncinin az olması negatif özellikleri olarak belirlenmiştir [79].

C. Aykut ve Tekin (2017), Bayburt Taşı (BT) atıklarını kullanarak geopolimer tuğla üretmişlerdir. Üretimde alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. 5 ve 10 mol konsantrasyonunda üretilen numuneler 1 gün oda koşullarında bırakıldıktan sonra 20 °C, 40 °C ve 80 °C sıcaklıklara küre bırakılmıştır.

Taze hamura priz başlangıç ve bitiş deneyi yapılırken sertleşmiş numunelere, mekanik, aşınma, yüksek sıcaklık, su emme, birim hacim ağırlık, gibi deneyler yapılmıştır. Geleneksel tuğlalar ile kıyaslandığında üretilen geopolimer tuğla daha ekonomik, dayanımları daha yüksek ve sıfır CO<sub>2</sub> salınımı ile yeşil malzeme sınıfına girmektedir [80].

Bagci v.d., (2017), K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4SiO<sub>2</sub>, 11H<sub>2</sub>O formülüne sahip, Türk menşeli diatomit kullanılarak geopolimer beton numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin mikro yapısını incelemek için elektron mikroskobu ile bakıldığında geopolimerin tamamen reaksiyona girdiği gözlenmiştir. Ayrıca değişken olarak yalnız silis dumanı ile üretilen numuneler ile kıyaslama yapılmıştır. Diatomit ve silika kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanım değerleri yakın çıkmıştır fakat basınç dayanım sonuçları diatomitli numunelerde çok daha fazla olmuştur [81].

H. Şahin ve Tekin (2018), Portland çimentosunun bazı özelliklerini geliştirmek ve üretim maliyetini azaltmak için mikro boyuttaki Bayburt taşı tozları kullanılmıştır. Özetle CEM II ve CEM IV çimento benzerinin üretilebilirliği çalışılmıştır. Mekanik dayanımları, düşük su geçirme, düşük özgül ağırlık özellikleri sayesinde Bayburt taşı çimento üretiminde ikame olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın sonucunda sırasıyla ağırlıkça Bayburt sarı taşının %40'ı, Bayburt yeşil taşının %30'u ve Bayburt beyaz taşının %20'si Portland çimentosunun yerine kullanılabilir olduğu bulunmuştur [82].

A.K. Yıldırım (2019), %0,1 ve %0,2 oranlarında bazalt, naylon ve cam liflerinin, AA-YFC harçlarında oluşan kuruma büzülmesine karşı etkileri araştırılmıştır. Bunun yanında mekanik dayanım, işlenebilirlik, su emme, kılcallık, birim hacim ağırlık ve yüksek sıcaklık etkileri de araştırılmıştır. Sonuç olarak tüm lifler her iki oranda katılması ile kuruma büzülmesini yüksek oranda azaltmıştır. Lif katkısıyla numunelerde birim hacim ağırlık değerlerinde büyük değişim olmamıştır fakat lif oranının artması ile su emmede azalmalar olmuştur [83].

R. Ögüt (2020), beton içerisinde bazalt lif kullanımının etkilerini ve donatıda oluşan korozyona karşı etkileri araştırılmıştır. Kıyaslama için lifsiz numune, %1, 2, 3 oranlarında bazalt lifli numuneler ve donatılı numune üretilmiştir. Üretilen numuneler

sertleştikten sonra su kürüne bırakılmıştır. Üretilen beton numunelere ultra ses geçiş hızı, yüzey sertliği, birim ağırlık, yarmada çekme, eğilme, basın, elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır. Donatılı beton numunelerine yarı hücre potansiyeli deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde bazalt lif kullanılması ile korozyona karşı direnç, eğilme ve yarmada çekme dayanımları artmıştır [84].

Vlasceanu vd. (2020), radar antenlerindeki uygulamalar için özel olarak tasarlanmış dielektrik özelliklere sahip yeni geopolimer esaslı kompozitler geliştirmiştir. Bunun için üç metakaolin ve iki alkali çözeltiye dayanan farklı formülasyonlar test edilmiştir. Manyetitin etkisi, farklı formülasyonlarda  $Fe_3O_4$ 'ün %1, 5 veya 10 ağırlığının eklenmesiyle incelenmiştir. Ayrıca, nemin etkisi de vurgulanmıştır. 2 ila 3.3 GHz arasında dielektrik araştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, metakaolin tipinin dielektrik özellikler üzerinde hiçbir etkisi olmadığını gösterirken, alkali aktivasyon çözeltisinin doğası önemli bir etkiye sahiptir. Geçirgenlikte 3.5'ten 5.9'a bir artış, alkali çözeltideki değişiklik ile kanıtlanmaktadır. %10'a kadar manyetit ilavesi polikondensasyon reaksiyonu üzerinde küçük bir etkiye sahipti ve geçirgenlik ve geçirgenlik değerlerinde hafif bir artışa neden olmuştur [85].

Lee vd. (2020), özel dielektrik özelliklere sahip yeni geopolimer bazlı kompozitler geliştirmiştir. Bu tür kompozitleri geliştirmek için, üç tip karbon ve çeşitli yüzey aktif maddelere dayanan, farklı formülasyonlar test edilmiştir. İyonik olmayan yüzey aktif madde, anyonik yüzey aktif maddeye göre tercih edilmiştir. 2 ila 3.3 GHz arasında dielektrik araştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar, karbon içeriğinin ve türünün (kökeni) dielektrik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve manyetik özellikler üzerinde daha az etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Gerçekten de 2'den 24'e kadar geçirgenlikte bir artış ve kayıp tanjant için 0.09'dan 0.6'ya bir artış, karbon içeriği ve tipindeki değişikliklerle gözlemlenmiştir. En düşük saflığa sahip karbon tipi ve iyonik olmayan bir yüzey aktif madde için 1.6 mm'lik bir gözenek boyutu için 2.27'lik bir geçirgenlik ( $\epsilon$ ) ve 0.19'luk bir kayıp ( $\tan \delta$ ) elde edilmiştir. Sonuçta, manyetit ilavesinin geopolimerin genel manyetik özellikleri üzerinde çok az etkisi olduğu, karbon lifin ise etkisinin fazla olduğu sonucuna varılmıştır [86].

Dirikolu (2019) Bayburt bölgesinde bulunan farklı özellikli öğütülmüş tüfler  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  aktivatörleri ile belirli oranda karıştırılarak alkali aktive edilmiş hamurlar üretmiştir. İlaveten, öğütülmüş mermer belli oranlarda karışımlara eklenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, çözelti/toz oranı,  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$  oranı, çözeltinin sıcaklığı ve  $\text{NaOH}$  molaritesinin deney sonuçları üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Basınç dayanımları bazı hamur karışımlarında 28 günden sonra azalmıştır. 90 gün sonunda  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  aktivatörlü hamurlarda en yüksek dayanım %100 YBT ile üretilen hamurda 37,8 MPa,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  aktivatörü ile en yüksek dayanım %100 BBT ile 19,7 MPa olarak ölçülmüştür [87].

İ. Ahmed (2021) Bayburt bölgesinde bulunan zeolitik yapılı BBT, tras yapılı YBT ve dayanım artırma amacıyla kalsiyum kaynağı olarak MK, aktivatör olarak  $\text{NaOH}$  ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  çözeltileri birlikte kullanılmıştır. Üretilen geopolimer hamurlar farklı oranlarda polipropilen ve çelik liflerle güçlendirildikten sonra fiziksel, mekanik ve elektromanyetik özelliklerini araştırmıştır. 90 gün sonunda maksimum eğilme 11,7 MPa, maksimum basınç 30,72 MPa polipropilen lifte elde edilmiştir. Maksimum absorblama ise -35,45 dB çelik lifte elde edilmiştir [88].

M. Hayat (2022) Alkali aktive edilmiş kompozit hamurların (AAH) üretiminde alümina silikat kaynağı olarak BBT ve YBT ile toz halde mikronize kalsit kullanılmıştır. Alkali aktivatör olarak  $\text{NaOH}$  ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılmıştır. Elektromanyetik özellikleri geliştirmek amacıyla manyetit (ferro-ferrik oksit), hacimce %2, %4 ve %8 oranında karışıma eklenmiştir. Üretilen AAH'lerin mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özelliklerini iyileştirmek için toplam malzemenin hacmince %2 polipropilen, kırılmış karbon ve pirinç kaplı mikro çelik lif kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, maksimum 90 günlük eğilme ve basınç dayanım değerleri sırasıyla 20.2 MPa ve 37.4 MPa'dır. Elektromanyetik ölçümlerde 900 – 6000 MHz frekansları için en yüksek EMF kalkanlama ve yansımadan kaynaklı EMF kalkanlama değerleri sırasıyla 56 dB ve 35 dB olarak ölçülmüştür [89].

Tekin (2016) çalışmasında; mermer, traverten ve doğal puzolan atıklarından alkali aktivatör olarak 1M, 5 M ve 10 M  $\text{NaOH}$  kullanılarak geopolimer kompozit macunlar

(GCM) üretmiştir. Kürleme işlemi 20, 45 ve 75 °C sıcaklıklarda 24 saat fırında yapmış daha sonra GCM'ler ayrı ayrı ıslak ve kuru duruma maruz bırakmıştır. Mukavemet testleri kür periyodunun 2., 3., 7., 28. ve 90. günlerinde yapılmıştır. Deney sonuçlarında numunelerin ıslak koşullarda basınç dayanımları zamana bağlı olarak azalmış, kuru koşullarda ise kür süresi arttıkça artmıştır [90].

Ekinci (2017) çalışmasında, Nevşehir yöresinden temin edilen volkanik tüfün geopolimer beton üretiminde kullanılabilirliğini ve volkanik tüf kullanılarak üretilen geopolimer betonların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. İki farklı grup halinde üretilen geopolimer betonlardan; birinci grup silis modülü (Ms) 0.8 ve 0.6, ikinci grup ise 10, 12, 14 ve 16 M NaOH kullanılarak aktive edilmiştir. Her iki grup numunenin üretim aşamasında üç farklı kür sıcaklığı ve iki farklı alkali sıvı/bağlayıcı (w/b) oranı kullanılmıştır. Daha sonra, üretilen her iki grup numune için maksimum basınç dayanımına sahip olan numuneler belirlenmiş ve bu iki numuneye farklı oranlarda nano silika (%1, 2, 3), mikro silika (%1, 3, 5) ve Stiren-Bütadien (SB) Lateks katkısının (%5, 10, 15) etkisi incelenmiştir. Çeşitli katkıları ilave edilerek elde edilen geopolimer beton numunelerinin basınç dayanımı, donma çözülme (DÇ) dayanıklılığı, mikro yapıları, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre NaOH kullanılarak aktive edilen geopolimer betonların Ms kullanılarak aktive edilenlere göre daha yüksek basınç dayanım değerlerine sahip olmuştur [91].

Pehlivan (2023) çalışmasında "volkanik cüruf" özelliğine sahip Antakya ve "volkanik tüf" özelliğine sahip Manisa Gördes yörelerinden temin edilen volkanik orijinli kayaçların geopolimer harç üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Volkanik orijinli kayaçların alkali aktivasyonu için %8 sodyum konsantrasyonlarındaki sodyum hidroksit kullanılarak 40x40x160mm boyutlarında geopolimer harç numuneleri üretilmiştir. Volkanik orijinli kayaçlar ASTM-C618 puzolanik incelik sınırına göre öğütülmüştür. Üretilen geopolimer harç numuneleri 36, 72 ve 96 saat 80°C'lik ısı kürüne tabi tutulmuştur. 80°C kür sıcaklığında 96 saat etüvde ısıl kür uygulaması yapılan geopolimer harçlarda en yüksek eğilme dayanımı değerinin 7.8 MPa olduğu ve en yüksek basınç dayanımı değerinin 44.3 MPa olduğu görülmüştür [92].

Pehlivan (2023) çalışmasında, nano silis (NS) ilave edilmiş alkalilerle aktifleştirilmiş trakitik tuf (TT) ile üretilen geopolimer harçların farklı kür ortamlarında dayanımları araştırılmıştır. Alkali aktivatör olarak  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  kullanılmıştır. Çalışmada %5  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , ve hidroklorik asit (HCl) çözeltilerinde 360 gün pH değişimleri ile birlikte mekanik davranışı incelenen geopolimer harçlarda en iyi performans gösteren %1.0 nano silis katkılı numunelerin sırasıyla; pH değerlerinin 13.2-11.8, 11.6-8.5, 3.5-2.6 aralığında; eğilme dayanımının 12.25, 11.50, 7.41 MPa; basınç dayanımının 66.12, 50.63, 40.82 MPa; olduğu görülmüştür [93].

Çam (2022) çalışmasında, Nevşehir taşı kesim atığı, uçucu kül ile üretilen geopolimer harçlara farklı oranlarda ikame edilerek oluşturulan geopolimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Harçların üretiminde aktivatör olarak NaOH kullanılmıştır. Üretilen numuneler 24 saat  $90^\circ\text{C}$  ısıtılı küre tabi tutulmuştur. Taze harçlara yayılma tablası deneyi, sertleşmiş harçlara su emme ve boşluk oranı, eğilme, basınç dayanımı ve  $400^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  ve  $800^\circ\text{C}$ 'de yüksek sıcaklık deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca geopolimer harçlara Nevşehir taşı kesim atıklarının etkisini araştırmak için atıklara kimyasal analiz (XRF) ve kristal faz analizi (XRD) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonunda Nevşehir taşı kesim atıklarının %40 oranına kadar kullanımının uçucu küllü geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirdiği görülmüştür [94].

## BÖLÜM 3

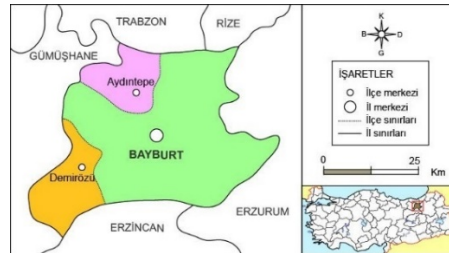
### MALZEME VE METOT

#### 3.1. MALZEME

Bu tezde gerçekleşen deneysel çalışmalarda Bayburt bölgesinden beyaz ve yeşil renkli tüfit yapılı kayaçlar ile mikronize kalsit ince öğütülmüş halde kullanılmıştır. Bunun yanı sıra geopolimer lifli ve lifsiz hamurları üretmek amacıyla bazalt ve karbon lifler ile geopolimer yapıyı oluşturmak için  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{NaOH}$  kullanılmıştır. Malzemelerle ilgili detaylı özellikler aşağıda açıklanmıştır.

##### 3.1.1. Bayburt Bölgesinde Bulunan Tüfit Yapılı Kayaçlar

Bayburt, Anadolu'nun kuzey doğusunda Erzurum, Trabzon, Gümüşhane ve Rize illeri ile komşu olan bir ildir (Şekil3.1). Jeolojik yapısının zengin olması ile birçok maden yatağı bulunmaktadır. Bayburt ve çevresinde kumtaşları, traverten, kireçtaşları, mermer, tüf, bazalt, traverten, granit, gibi çeşitli kayaç türleri bulunmaktadır [95]. Bulunan bu kayaç türlerinden “Bayburt Taşı” olarak bilinen Bayburt tüf ve tüfitleri ekonomik anlamda büyük faydası olmaktadır. Tüflerin hafif ve kolay işlenebilir olması yörede yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur ve dekoratif amaçlı, mezar, mihrap, barbekü, camii, çeşme, tarihi eser onarımı, dış cephe kaplama gibi yerlerde kullanılmaktadır [96].



Şekil 3.1. Bayburt ilinin coğrafi konumu.

#### 3.1.1.1. Beyaz Bayburt Tüfü (BBT)

BBT jeolojik olarak Riyo-dasitik bileşimli vitrik tüf olarak açıklanmaktadır. Kayaç içinde volkanik malzemelerden oluşan bir matrix ve matrix içinde kuvars-plajiyoklaz-biyotit ve kayaç parçaları içermektedir. Matrixte pekişmiş volkanik malzemelerin yanı sıra feldispat ve kuvars mikrolitleri ile alterasyon ve demiroksit ürünü minerallerin de varlığı tanımlanmıştır [97].

BBT kilmarn-kumtaşı-tüf-tüfit-kireçtaşı seviyeleri ile sıralanmaktadır. İki seviye olarak görülen tüfler iri taneliden ince taneliye doğru gitmektedir. Kayacı oluşturan bütün bileşenlerin boyutuna göre iri ve ince taneli tanımı yapılmaktadır. Tüfler genellikle kristal parçaları (kuvars, sanidin, plajiyoklas, biyotit), cam parçaları, pomza ve bazen büyüme lapillisi içermektedirler. Kristal ve kristal taneleri iri tanelilere örnek olurken pomza ve cam/cam kıymıkları ince tanelilere örnek olmaktadır. Tüfler genellikle krem ve sarımsı-krem renklerinde olmakta fakat bazı bölgelerde çatlak ve ayrılmışlar bulunmaktadır. Ayrışma yüzeyleri sarımsı kahve renklerde olmaktadır. Bazı bölgelerde kayacın kloritleşme ve zeolitlenmesi sonucu oluşan yeşil tonların varlığı gözlemlenmiştir [98].



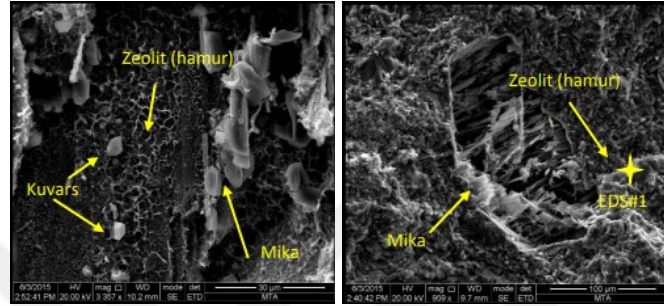
Şekil 3.2. Bayburt beyaz tüf.

Yüksek oranda zeolit içeren ve amorf yapıda olan XRD analizi Şekil 3.3'te verilmektedir. Analizde ince kesitte yer yer akma dokusu ve kırıklı volkanik camı parçalar da gözlenmektedir.



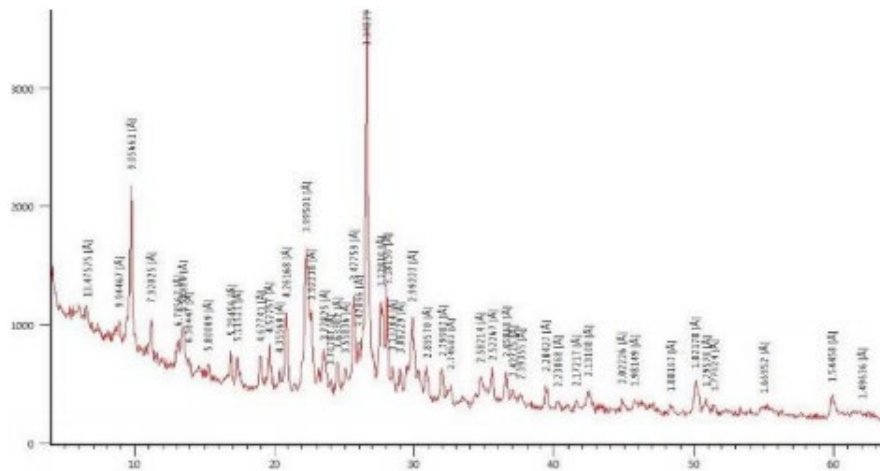


Şekil 3.5. Bayburt yeşil trası, a) Kırılmadan önce, b) Kırıldıktan sonra, c) Öğütülmüş



Şekil 3.6. YBT'nin mikroskopik görüntüsü (SEM analizi) [87].

YBT'nin mineralojik özellikleri Şekil 3.6'da verilmiştir. MTA mineraloji ve petrografi laboratuvarında gerçekleştiren analizlere göre: YBT masif yapılı, ince taneli, grimsi yeşil renkte bir yapıya sahiptir. İçerisinde biyotit, kuvars, plajiyoklas, zeolit, opak mineraller ve alkali feldspat bulundurmakta ve dokusu porfiriktir. Hamurun geneli zeolit kristallerinden oluşmuş ve biyotit mineralleri de akma dokularında gözlemlenmiştir. Şekil 3.7'de YBT'nin XRD analizi verilmiştir.



Şekil 3.7. YBT'nin mineralojik analizi (XRD analizi) [87].

### 3.1.1.3. Mikronize Kalsit (MiK)

Mikronize boyutlarda öğütülen kalsit kâğıt, plastik, boya vb. birçok sektörde kullanılması nedeniyle çok farklı fazlarda kullanılabilen dolgu maddesidir. Türkiye kalsitleri, yüksek  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi, demir ve silis oranının düşük olması ve beyazlık derecesinin yüksek olması sebebiyle kalitesi ve rezervleri bakımından çok iyi durumdadır [100]. Dolgu olarak polimerik kompozit malzemelerde kullanılan kalsit, yüksek oranda maliyeti azaltırken kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini iyileştirebilmektedir [111]. MiK, hammaddesi saf kireçtaşı olup %99,5  $\text{CaCO}_3$  içermektedir. Öğütülmesi kolay ve toz hali beyaz renktedir. Sertliği Mohs skalaya göre 3, yoğunluğu ise 2,6-2,7 civarındadır [112]. Birçok sektörde dolgu malzemesi olarak kullanılan bu malzeme daha çok kimya sanayide kullanılmaktadır. Özellikle mineral katkı olarak, çimento ve betonda kullanılabiliirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların sonucunda MiK'in çimento ve betonun geçirimsizliğini azalttığı ve mekanik dayanımını artırdığı sonucuna varılmıştır. Türkiye'de kalsit, kireç taşları, mermer, tebeşirlerden elde edilir. Bu çalışmada kullanılan MiK D<sub>90</sub>: 125 mikron boyutta Nigtaş Mineral A.Ş.'den temin edilmiştir. Aşağıda Çizelge 3.1' de kullanılan katı maddelerin kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan bileşenlerin kimyasal özellikleri.

|            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO   | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | CaCO <sub>3</sub> | Toplam Alkali | K.K. |
|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|---------------|------|
| <b>BBT</b> | 68,9             | 11,96                          | 0,34                           | 3,85 | 1,29  | 0,2             | 0,23              | 2,4              | -                 | 1,8           | 10,1 |
| <b>YBT</b> | 49,9             | 10,25                          | 6                              | 13,1 | 2,57  | 0,3             | 1,45              | 1,8              | -                 | 2,65          | 14   |
| <b>MK</b>  | <0,1             | -                              | 0,04                           | 55   | 0,3±1 | -               | -                 | -                | 99,35             | -             | -    |

### 3.1.1.4. Su

Bu çalışmada Karabük ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kimyasal analizi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan karışım suyunun kimyasal özelliği [113].

| Kimyasal İçerik         | Karışım Suyu | Kimyasal İçerik              | Karışım Suyu |
|-------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
| Magnezyum               | 127,876      | Sertlik (CaCO <sub>3</sub> ) | 190          |
| Çinko                   | 0,1915       | Bakır (mg/L)                 | 0,00242      |
| pH                      | 7,37         | Kalsiyum                     | 62,124       |
| Bulanıklık (NTU birimi) | 0,15         | Arsenik (µg/L)               | 0,00815      |
| Nitrat                  | 0,895        | Mangan (µg/L)                | 0,0019       |
| Alüminyum (µg/L)        | 0,00156      | Klorür (µg/L)                | 4,998        |
| Demir (µg/L)            | 0,027        | Flor                         | 0,226        |
| Kadmiyum (µg/L)         | 0,00048      | Sülfat (µg/L)                | 26,815       |

### 3.1.1.5. Deneylerde Kullanılan Alkali-Aktivatörler

Deneyisel çalışmalarda geopolimer çalışmalarında en çok tercih edilen ekonomik ve yüksek dayanım sağlayan alkali aktivatörler kullanılmıştır.

#### Sodyum Hidroksit (NaOH)

Deneyisel çalışmada kostik adıyla bilinen %99,5 saflıkta NaOH granül halde, Solvay İstanbul Kimya Tic. ve San. Ltd. Şti'den kullanılmıştır.

#### Sodyum Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

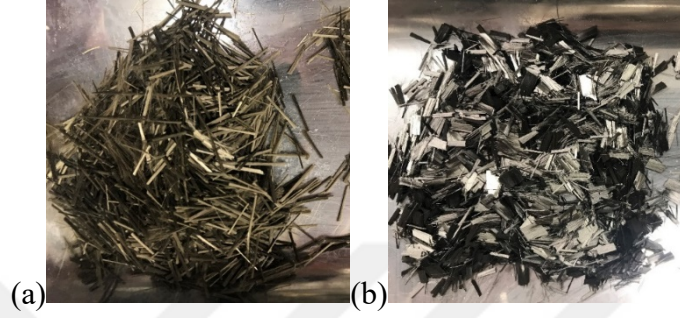
Cam suyu olarak ta bilinen sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (sıvı)) (38-42 bome), ağırlıkça SiO<sub>2</sub>:Na<sub>2</sub>O=2 (Silika modülü:Ms) olan sıvı formu deneyisel çalışmalarda aktivatör olarak kullanılmıştır. Sodyum silikatın teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sodyum silikatın teknik özellikleri (38 – 42 Bome).

| Kimyasal Formül                             | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Derece                                      | 40-42°                                              |
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )               | 1,396-1,418                                         |
| Na <sub>2</sub> O (% ağırlıkça)             | 11,3-12,9                                           |
| SiO <sub>2</sub> (% ağırlıkça)              | 22,6-25,8                                           |
| Modül (SiO <sub>2</sub> :Na <sub>2</sub> O) | 0,04306                                             |

### 3.1.1.6.Deneylerde Kullanılan Lifler

Bu çalışmada bazalt ve karbon lifler Dost Kimya'dan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda bazalt lif boyu 24 mm, karbon lif boyu 12 mm olarak kullanılmıştır. Liflerin görselleri Şekil 3.8'de, özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.8. a) Bazalt lif ve b) Karbon lif

Çizelge 3.4. Bazalt ve Karbon liflerin teknik özellikleri [114,115].

| Özellik                             | Bazalt lif | Karbon lif |
|-------------------------------------|------------|------------|
| Çekme Dayanımı (MPa)                | 4840       | 3800       |
| Elastisite Modülü (GPa)             | 89         | 228        |
| Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2,7        | 1,81       |
| Elyaf Çapı (mikron)                 | 14         | 7,2        |
| Elyaf Uzunluğu (mm)                 | 24         | 12         |
| Narinlik (boy/çap)                  | 1100       | 1750       |
| Elektrik iletkenliği (ohm-cm)       | -          | 0,00155    |

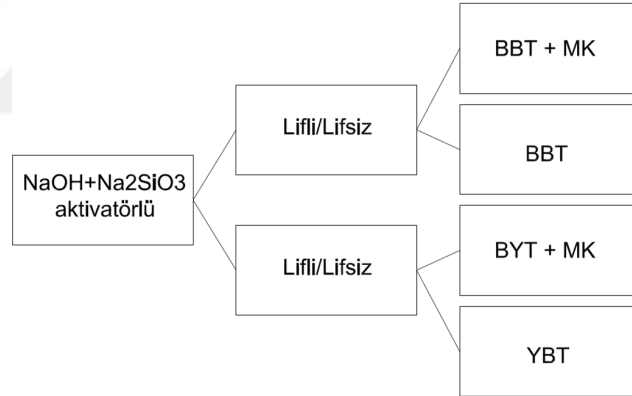
### 3.2. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bayburt ilinde bulunan taş ocaklarından temin edilmiş BBT ve YBT öncelikle laboratuvar tipi konkasörde  $D_{max}$ : 2 mm olacak şekilde kırılmıştır. Ardından Los Angeles aşındırma cihazında  $D_{90}$ : 100 mikron olacak şekilde öğütülmüştür. Ardından Master sizer 3000 ile tane dağılımı ve özgül yüzey analizleri yapılmıştır. Malzemelerin özgül ağırlık, özgül yüzey ve tane dağılımı analizi sonuçları Çizelge 3.5' te verilmiştir. Öğütme işlemi tamamlanan malzemeler poşetlenerek nemsiz ortamda, deney gününe kadar muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.5. BBT, YBT ve mikronize kalsitin fiziksel özellikleri.

| Ham madde        | Özgül ağırlık       | Özgül Yüzey               | İncelik (Elek analizi) ( $\mu\text{m}$ ) |                 |                 |
|------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  | ( $\text{g/cm}^3$ ) | (BET)                     | D <sub>90</sub>                          | D <sub>50</sub> | D <sub>10</sub> |
| BBT              | 2,43                | 11237 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 61,3                                     | 16,6            | 3,94            |
| YBT              | 2,61                | 8420 ( $\text{g/cm}^3$ )  | 83                                       | 26,4            | 9,82            |
| Mikronize Kalsit | 2,71                | 2645 ( $\text{g/cm}^3$ )  | 100                                      | 35              | 3,5             |

Deneyssel çalışmalarla ilgili planlama ve tasarım Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Çalışmada değişken gruplar; tuf türü, kalsitin olup/olmaması, lif türü, lif oranı, aktivatör türüdür. Bu değişkenlere göre toplam 24 numune grubu üzerinde çalışılmıştır. Her numune grubundan her bir deney için en az 2 deney numunesi üretilmiştir. Deneylerde kullanılan aktivatör ve bağlayıcıların türüne göre seriler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> serisi N ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.9. Deney tasarım planlaması.

### 3.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlığı

Çizelge 3.6 ve 3.7’ de verilen oranlara göre toplam 24 farklı alkali-aktif edilmiş lifli/lifsiz hamur numuneler üretilmiştir. Çalışmanın başlangıcında Dirikolu [87] tarafından tamamlanan yüksek lisans tezinden elde edilen veriler dikkate alınarak priz süresi ve basınç dayanımına ilişkin sonuçlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır [116]. BBT ve YBT ile hazırlanan kalsitli ve kalsitsiz geopolimer hamurların işlenebilirliği ve yüksek dayanıma ulaşabilirliği dikkate alınarak NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>

çözeltisinde kullanılacak olan NaOH'ın molaritesi bileşenlerin etkileri de göze alınarak farklı konsantrasyonlar halinde planlanmıştır. Kalsitli üretimlerde priz süresi çok kısa olduğu için, işlenebilirlik ve priz süresi bakımından optimum NaOH konsantrasyonu BBT'li geopolimerlerde 8 mol ve YBT'li geopolimerlerde 6 mol olacak şekilde su+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (0,30:0,70) içinde aktivatör çözeltisi hazırlanmıştır. Kalsitsiz üretimlerin tümünde (BBT ve YBT'li geopolimer hamurlarda) su+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (0,30:0,70) içinde 10 mol NaOH konsantrasyonuna sahip aktivatör çözeltileri hazırlanmıştır.

6, 8 ve 10 mol NaOH konsantrasyonuna sahip aktivatör çözeltisini hazırlamak için sırasıyla 240, 320 ve 400 gr NaOH cam beher içine konulduktan sonra beherin 1 lt çizgisine kadar önceden hazırlanan %70 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%30 saf su çözeltisini ekledikten sonra, manyetik karıştırıcı ile yaklaşık 5 dk sürede NaOH'ın tamamen çözülmesi sağlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin sıcaklığı yaklaşık 90 °C'den 55-60 °C'ye düşmesi beklenmiş ve bu süreç içinde manyetik karıştırıcıda karışım sürdürülmüştür. Aktivatör çözeltisi tasarımı hesaplanan miktarlarda ekte gösterilen 3 lt kapasiteli harç mikseri içerisine döküldükten sonra istenilen sıcaklığa düşmesi beklenmiştir. Ardından hızlıca BBT ve YBT ayrı ayrı mikser kabına eklenip bir kaşık yardımı ile homojen olana kadar karıştırılmıştır. Sonrasında kalsitli üretimler için mikronize kalsit tasarımlardaki miktarlarda karışıma eklenmiş ve 30 sn süresince 140 devir/dk hızda, hamur homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Son olarak bazalt ve karbon lif oranları kalsitli serilerde %0, %1, %2, %3 ve kalsitsiz serilerde %0, %3 olacak şekilde lifler eklenmiş ve mikserde 1 dk süreyle 280 devir/dk hızda karıştırılmıştır. Bazalt ve karbon liflerin aşırı su emme özelliğinden dolayı işlenebilirlik ve priz süresini etkilememesi için lifler karışıma katılmadan önce ihtiyacı olan çözelti emdirilmiştir. Üretimi tamamlanan taze hamurlar üzerinde öncelikle ASTM C209'a göre yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. [117]. Ardından hızlıca 40x40x160 mm boyutlu 3 gözlü çelik kalıplara yerleştirilen geopolimer hamurlar 24±2 sa süreyle laboratuvar koşullarında (24±2 °C ve %55±5 bağıl nem) bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmış ve deney gününe kadar (2, 28 ve 90 gün yaşlarında) aynı ortamda kür yapılmıştır. Çizelge 3.6 ve 3.7' de verilen numunelerin adlandırılması; birinci harf BBT veya YBT kullanımına göre B veya Y olarak, ikinci harf kullanılan Bazalt veya Karbon lifine göre B veya K olarak, üçün

harf N serisi olarak, dördüncü harf kullanılan lif oranına bağlı olarak 0-3 arasında rakamlar olarak ve beşinci harf ise kalsitsiz üretimler için 0 olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 3.6. NaOH ile üretilen Beyaz tuf esaslı GM'lerin karışım tasarımı.

| Kod    | Bileşenlerin hacimce oranları |     |      |    |    | Ağırlıkça | Çözelti NaOH |
|--------|-------------------------------|-----|------|----|----|-----------|--------------|
|        | BBT                           | YBT | MiK  | KL | BL | Ç/T       | molaritesi   |
| BBN0   | 0,55                          | -   | 0,45 | -  | 0  | 0,6       | 8            |
| BBN1   | 0,55                          | -   | 0,45 | -  | 1  | 0,6       | 8            |
| BBN2   | 0,55                          | -   | 0,45 | -  | 2  | 0,6       | 8            |
| BBN3   | 0,55                          | -   | 0,45 | -  | 3  | 0,6       | 8            |
| BBN0-0 | 1                             | -   | -    | -  | 0  | 0,8       | 10           |
| BBN3-0 | 1                             | -   | -    | -  | 3  | 0,8       | 10           |
| BKN0   | 0,55                          | -   | 0,45 | 0  | -  | 0,7       | 8            |
| BKN1   | 0,55                          | -   | 0,45 | 1  | -  | 0,7       | 8            |
| BKN2   | 0,55                          | -   | 0,45 | 2  | -  | 0,7       | 8            |
| BKN3   | 0,55                          | -   | 0,45 | 3  | -  | 0,7       | 8            |
| BKN0-0 | 1                             | -   | -    | 0  | -  | 0,8       | 10           |
| BKN3-0 | 1                             | -   | -    | 3  | -  | 0,8       | 10           |

Çizelge 3.7. NaOH ile üretilen Yeşil tuf esaslı GM'lerin karışım tasarımı.

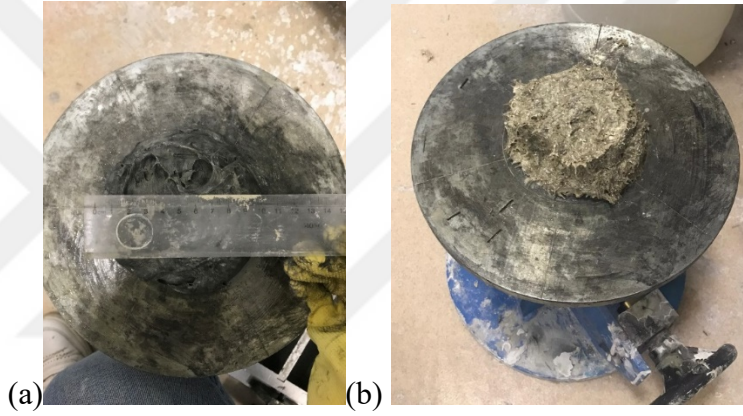
| Kod    | Bileşenlerin hacimce oranları |      |      |    |    | Ağırlıkça | Çözelti NaOH |
|--------|-------------------------------|------|------|----|----|-----------|--------------|
|        | BBT                           | YBT  | MiK  | KL | BL | Ç/T       | molaritesi   |
| YBN0   | -                             | 0,55 | 0,45 | -  | 0  | 0,6       | 6            |
| YBN1   | -                             | 0,55 | 0,45 | -  | 1  | 0,6       | 6            |
| YBN2   | -                             | 0,55 | 0,45 | -  | 2  | 0,6       | 6            |
| YBN3   | -                             | 0,55 | 0,45 | -  | 3  | 0,6       | 6            |
| YBN0-0 | -                             | 1    | -    | -  | 0  | 0,8       | 10           |
| YBN3-0 | -                             | 1    | -    | -  | 3  | 0,8       | 10           |
| YKN0   | -                             | 0,55 | 0,45 | 0  | -  | 0,6       | 6            |
| YKN1   | -                             | 0,55 | 0,45 | 1  | -  | 0,6       | 6            |
| YKN2   | -                             | 0,55 | 0,45 | 2  | -  | 0,6       | 6            |
| YKN3   | -                             | 0,55 | 0,45 | 3  | -  | 0,6       | 6            |
| YKN0-0 | -                             | 1    | -    | 0  | -  | 0,8       | 10           |
| YKN3-0 | -                             | 1    | -    | 3  | -  | 0,8       | 10           |

\* KL: Karbon lif, BL: Bazalt lif, Ç/T: çözelti/toz oranı

### 3.2.2. Taze Hamur Deneyleri

#### 3.2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi ASTM C1437'ye göre yapılmıştır [118]. Deneylerde mikserden alınan taze hamurlar yayılma konisi içine yerleştirilmiş ve koni dik bir şekilde kaldırılarak hamurun tablaya yayılması sağlanmıştır. Daha sonra tablayı 25 vuruş sarsacak şekilde taze hamurun yayılması sağlanarak birbirine dik 2 farklı yayılma çapı değeri ölçülmüş ve aritmetik ortalaması “mm” cinsinden yayılma değeri olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.10'da yayılma tablası deneyi görseli verilmiştir.



Şekil 3.10. Yayılma tablası deneyleri a) Karbon lifli b) Bazalt lifli

#### 3.2.3. Sertleşmiş Hamur Deneyleri

TS EN 196-1 [119] standardına göre 40x40x160mm boyutlarındaki sertleşmiş numunelere 2, 28 ve 90 günlük 3 nokta eğilme ve basınç deneyleri, TS EN 1097 [120]'e göre su emme deneyleri ve ASTM C596' ya göre kuruma rötresi deneyleri yapılmıştır [121]. Elektromanyetik özelliklerini belirlemek için ise 300x300x10 mm boyutlarında üretilen plakalar üzerinde 90 gün yaşında 900 – 6000 MHz frekanslarında 100 MHz aralıklarda elektromanyetik yansıma ve iletim verileri elde etmek amacıyla ölçümler yapılmıştır.

### 3.2.3.1. Eğilme ve Basınç Deneyleri

Sertleşmiş hamurlar üzerinde 2, 28 ve 90 gün yaşlarında eğilme ve basınç dayanımı deneyleri TS EN 196-1'e göre gerçekleştirilmiştir [119]. 3 nokta eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler Şekil 3.11'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Deney sonucunda iki parçaya ayrılan geopolimer hamur numuneler üzerinde 2,4 MPa/s yükleme hızında basınç deneyi yapılmıştır. Numunelerin eğilmede çekme dayanımları Eşitlik 3.1 ve basınç dayanımları Eşitlik 3.2 ile bulunmuştur.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.1)$$

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.2)$$

$f_c$  : Basınç dayanımı

$\sigma_e$  : Eğilme dayanımı

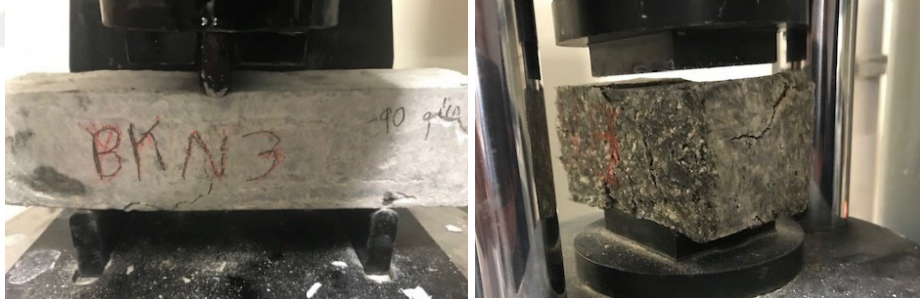
P : En büyük yük

L : Mesnetler arası uzaklık

$A_c$  : Yüzey alanı

b : En kesit kısa kenar uzunluğu

d : En kesit uzun kenar uzunluğu [119].



Şekil 3.11. Sırasıyla eğilme ve basınç dayanımı deneyi.

### 3.2.3.2. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi, 28 ve 90 gün yaşındaki tüm numunelere yapılmıştır. Numuneler Şekil 3.12.a' da gösterildiği gibi 24 saat suda bekletilmiş ve sonra Şekil 3.12.b' deki gibi suda ağırlıkları ( $M_2$ ) tartılmıştır. Sudan alınan numuneler Şekil 3.12.c'deki gibi havlu ile kurulanır ve doygün kuru yüzey ağırlıkları ( $M_1$ ) Şekil 3.12.d'de gösteriliği gibi tartılmıştır. Devamında Şekil 3.12.e' deki gibi 105 °C etüvde 24 saat kuruması sağlanıp kuru ağırlıkları ( $M_0$ ) Şekil 3.12.f' deki gibi tartılmıştır. Aşağıda verilen Eşitlik

3.3 ile su emme oranı, Eşitlik 3.4 ile özgül ağırlık ve Eşitlik 3.5 ile görünür porozite değerleri bulunmuştur.

$$W(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\delta = \frac{M_0}{M_0 - M_2} \quad (3.4)$$

$$Pg = \frac{W * M_0}{M_1 - M_2} \quad (3.5)$$

$W$  : Su emme oranı

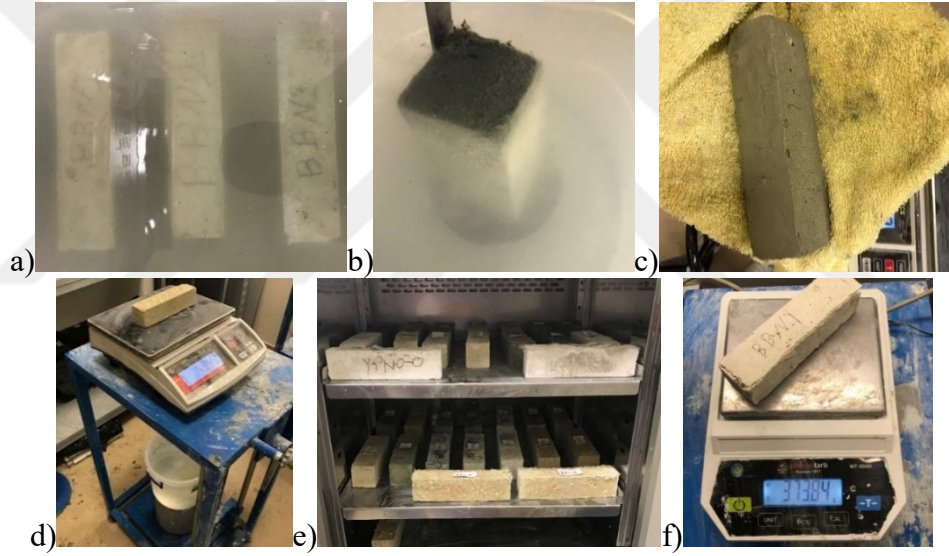
$Pg$  : Görünür porozite

$\delta$  : Özgül ağırlık

$M_0$  : Etüv kurusu ağırlığı

$M_1$  : Suyu doymuş kuru yüzey ağırlığı

$M_2$  : Su içerisindeki ağırlığı

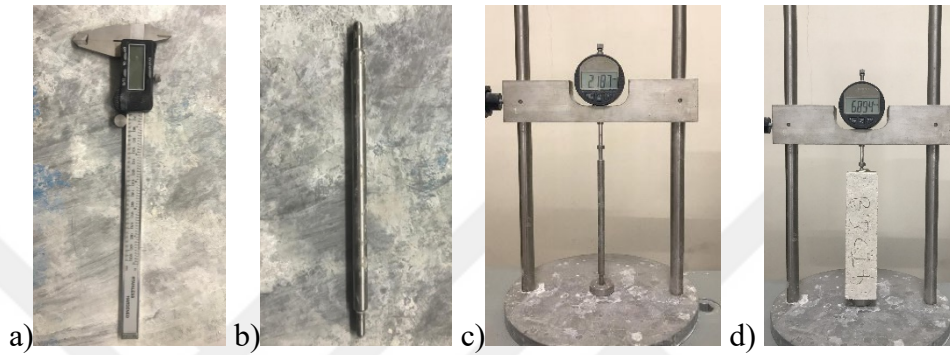


Şekil 3.12. a) Suyu bırakılmış numuneler b) Su içerisinde ağırlığı bulunan numune c)DKY haline getirilen numune d) DKY ağırlığı ölçülen numune e) Etüve bırakılan numuneler f) Kuru ağırlığı bulunan numune.

### 3.2.3.3. Büzülme Deneyi

Boyutları 40x40x160 mm olan numunelere ASTM C596-18'a göre, 2–90 gün yaşlarında farklı süreçlerde boy ölçümleri boy değişimi çerçevesi ile dijital komparatör kullanılarak ve aynı zamanda dijital kumpas ile yapılmıştır. İlk adımda, kalıptan çıkarılan numunelerin boyları ( $L_s$ ) Şekil 3.13.a' da gösterildiği gibi ölçülmüştür. İkinci adımda ise boy değişimi çerçevesinde çelik referans çubuğu (Şekil 3.13.b)

yerleştirilerek referans değeri ( $L_r$ ) ölçülmüş (Şekil 3.13.c) ardından numune yerleştirilerek boy ölçümü ( $L_{s1}$ ) yapılmış (Şekil 3.13.d) ve sonuçlar not edilmiştir [122]. Büzülme değeri, büzülme cihazından alınan iki numune uzunluğu arasındaki farkın, kalıptan çıkarıldıktan sonra dijital kaliper tarafından alınan numune uzunluğuna bölünmesiyle bulunur. Bundan sonra, iki referans okuma arasındaki farkı hesaplayarak bir kalibrasyon yapılır [122].



Şekil 3.13. a) Dijital kaliper, b) Büzülme deneyi referans çubuğu c) Referans çubuk boy ölçümü d) GM büzülme deneyi

$$\text{Büzülme (\%)} = \frac{((L_{s1} - L_{s2}) - (L_{r1} - L_{r2})) * 100}{L_s}$$

$L_s$ : Dijital kaliper tarafından örnek uzunluğu ölçüsüdür.

$L_{s1}$ : Büzülme cihazı tarafından numune için alınan ilk okumadır.

$L_{s2}$ : Farklı test günlerinde büzülme cihazı tarafından numune için alınan okumadır.

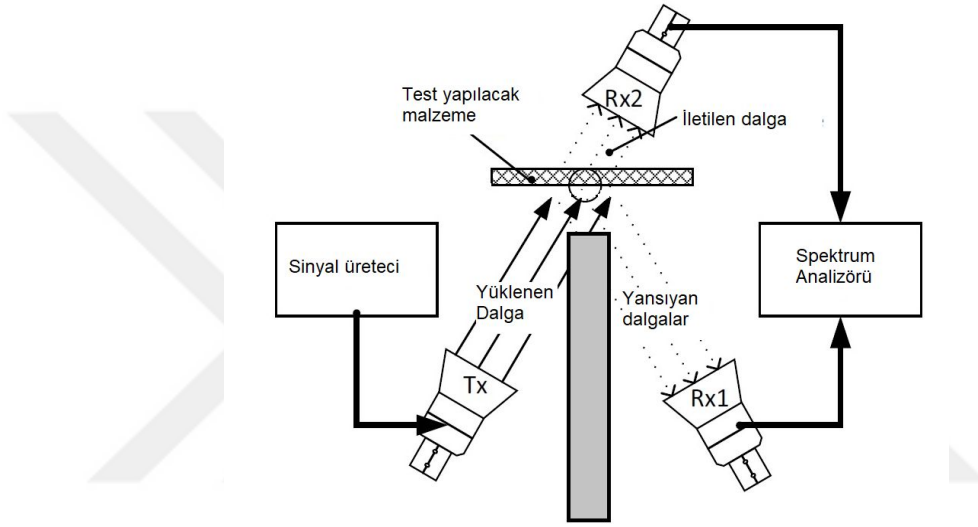
$L_{r1}$ : Büzülme cihazı tarafından referans için alınan ilk okumadır.

$L_{r2}$ : Farklı test günlerinde büzülme cihazı tarafından referans için alınan okumadır [124].

#### 3.2.3.4. Elektromanyetik Özelliklerin Belirlenmesi

Üretilen 300x300x10 mm boyutlarındaki kaplama malzemelerinin tümü üzerinde elektromanyetik yansıma ve iletim ölçümleri 900 – 6000 MHz frekanslarında 100 MHz aralıklarla yapılmıştır. Malzemelerin elektromanyetik özelliklerinin belirlenmesinde 1 m<sup>3</sup> hacminde yansısız kabin içinde Şekil 3.14’te verilen düzenek oluşturulmuştur. Kurulan düzenek üzerinde yapılan ölçümler aşağıdaki esaslar çerçevesinde değerlendirilmiş ve analizleri yapılmıştır. Bu amaçla elektromanyetik

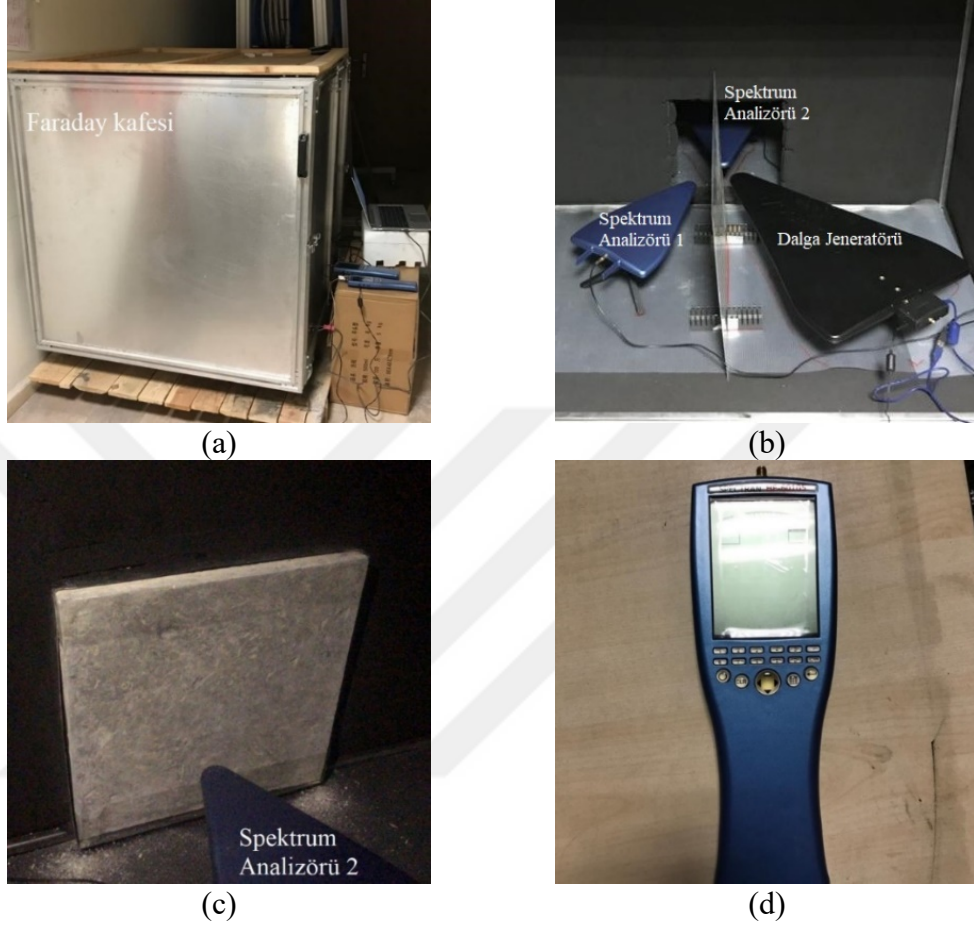
dalga üretimi Aeronia marka HF900 model bir yönlendirilmiş anten ve elektromanyetik frekans yansıma ve iletim ölçümleri ise Aeronia marka HF60105 model alıcı yüksek teknolojik cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sinyal üretici ile yansıyan dalgayı yakalamak için yerleştirilen spektrum analizörü arasında alüminyum panel yerleştirilmiştir. Faraday kafesi içinde oluşturulan Şekil 3.14'teki düzenek dışarıdan bir bilgisayar kontrolü ile kumanda edilerek ve dBm cinsinden iletim ve yansıma ölçümleri her bir malzeme için ölçülmüştür. Elektromanyetik alanın hesap prensipleri aşağıda fizik yaklaşımları ile açıklanmıştır.



Şekil 3.14. EMF alan özellik ölçüm düzeneği

Elektromanyetik özellikleri incelemek için ölçümlerde DFG 4060 RF Dalga jeneratörü (Dalga jeneratörü) ve spektrum HF 60105 spektrum analizörü (spektrum analizörü) kullanılmıştır. Spektrum analizörünün frekans aralığı 900 MHz ile 9.4 GHz arasındadır. Numuneler için uygulanan ölçüm frekans aralığı 900 MHz ila 6 GHz olmuştur. Dalga jeneratörü ve iki spektrum analizörünün antenleri yönlü antenlerdir ve aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi Faraday kafesinin içine yerleştirilmiştir. Dalga üretici ise bir USB kablosuyla bilgisayara bağlanmıştır. İlk olarak, Dalga jeneratörü numunenin bir tarafına kurulmuştur. Elektromanyetik dalga gönderdikten sonra numunenin içinde emilen dalgayı almak için numunenin bir tarafına spektrum analizörü kurulmuştur. Diğer spektrum analizörü, elektromanyetik dalga gönderdikten sonra numuneden yansıyan dalgayı almak için numunenin karşı tarafına kurulmuştur. Toplanan veriler, dizüstü bilgisayarda MCS gerçek zamanlı spektrum analiz yazılımı

tarafından dBm biriminde kaydedilmiştir. Kullanılan ekipmanın montajı Şekil 3.15'te açıklanmıştır.



Şekil 3.15. Elektromanyetik özellikleri ölçmek için kullanılan ekipmanlar: a) Faraday kafesi, b) Dalga jeneratörü, spektrum analizörü (1) ve spektrum analizörü (2), c) Numune ve spektrum analizörü (2), d) spektrum analizörü.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 3’te anlatılan deneysel çalışmalara ait NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilmiş bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş GH numunelerin taze ve sertleşmiş haldeki fiziksel ve mekanik deney sonuçları bu bölümde alt başlıklarla sunulmuştur.

#### 4.1.PRİZ BAŞLANGIÇ-BİTİŞ VE YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI

Deney serisine ait priz başlangıç ile bitiş süreleri Çizelge 4.1’de, yayılma tablası deney sonuçları Şekil 4.1’de verilmiş ve deneysel bulgular tartışılmıştır.

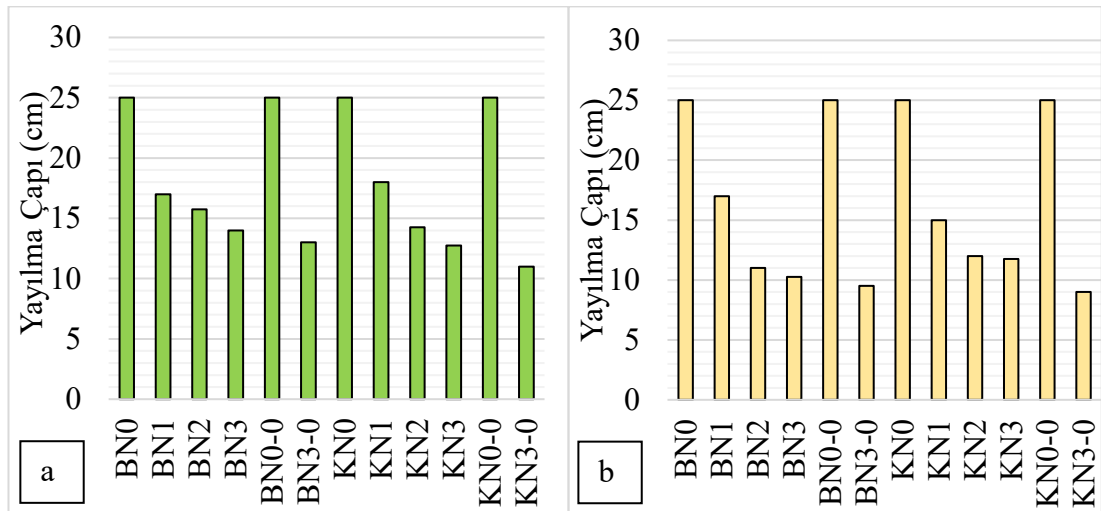
Çizelge 4.1. NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilmiş GH’lerin kıvam ve priz süresi deney sonuçları.

| Kod    | Priz Süresi (dk) |       | Kod    | Priz Süresi (dk) |       |
|--------|------------------|-------|--------|------------------|-------|
|        | Başlangıç        | Bitiş |        | Başlangıç        | Bitiş |
| BBN0   | 30 ± 5           | 600   | YBN0   | 20 ± 5           | 180   |
| BBN1   | 30 ± 5           | 540   | YBN1   | 20 ± 5           | 180   |
| BBN2   | 20 ± 5           | 480   | YBN2   | 15 ± 5           | 120   |
| BBN3   | 20 ± 5           | 420   | YBN3   | 15 ± 5           | 120   |
| BBN0-0 | 1 gün            | 5 gün | YBN0-0 | 120              | 480   |
| BBN3-0 | 1 gün            | 5 gün | YBN3-0 | 60               | 300   |
| BKN0   | 30 ± 5           | 600   | YKN0   | 20 ± 5           | 180   |
| BKN1   | 30 ± 5           | 540   | YKN1   | 20 ± 5           | 180   |
| BKN2   | 20 ± 5           | 480   | YKN2   | 15 ± 5           | 120   |
| BKN3   | 20 ± 5           | 420   | YKN3   | 15 ± 5           | 120   |
| BKN0-0 | 1 gün            | 5 gün | YKN0-0 | 120              | 480   |
| BKN3-0 | 1 gün            | 5 gün | YKN3-0 | 60               | 300   |

YBT'li GH'lerin kıvamı BBT'li GH'lerden daha işlenebilir olmuştur. Bunun sebebi, YBT ile üretimlerde 6 mol, BBT ile üretimlerde ise 8 mol NaOH kullanılmıştır. 8 mol NaOH daha viskoz bir yapıya sahiptir ve ayrıca BBT'nin inceliği YBT'den daha fazladır. Bu sebeple BBT uygun işlenebilirlik için daha yüksek oranda çözeltiye ihtiyaç duymaktadır.

GH'lerde işlenebilirlik lif türüne bağlı olarak değişmiştir. Bazalt lif ile üretilen GH'lerde işlenebilirlik, karbon life göre daha fazla olmuştur. Kullanılan lif oranına bağlı olarak lif miktarı arttıkça yayılma çapında azalış gözlemlenmiştir. Kalsitsiz üretimlerde de benzer durum oluşmuştur. En yüksek yayılma çapı lifsiz üretimlerde, en düşük yayılma çapı kalsitsiz %3 lifli GH'lerde gözlenmiştir. Bunun sebebi kalsitsiz GH'lerde katı bileşen özgül yüzeyinin artışıdır.

Lifin olmadığı GH'larda kalsitin varlığı yayılma davranışını etkilememiş gibi görünse de tabla boyutları sebebiyle farklılıklar yeterince anlaşılamamıştır. Çünkü her iki seride yayılma tablasının tamamı hamurla kaplanmıştır. Bu sebeple kalsitin etkileri tartışılmamıştır.

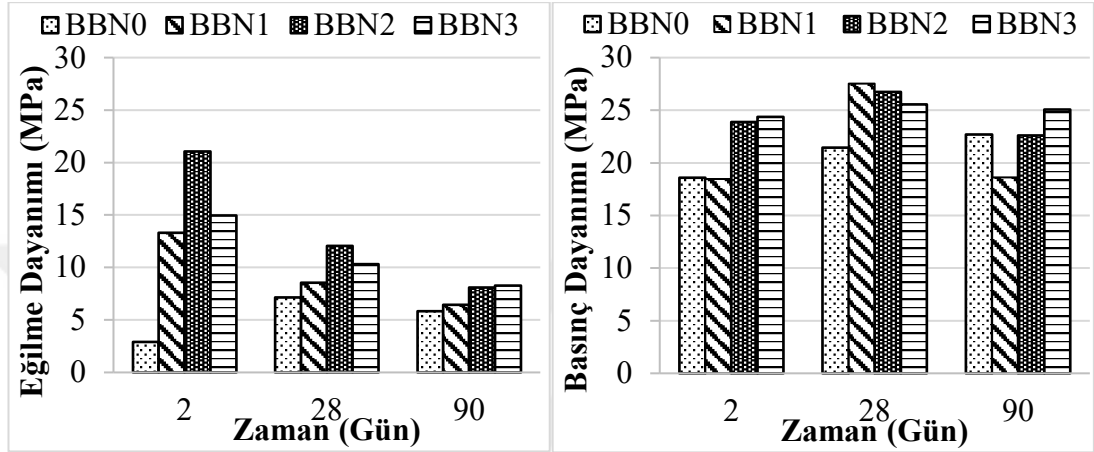


Şekil 4.1. Yayılma deneyi sonuçları a) BBT yayılma verileri, b) YBT yayılma verileri

Şekil 4.1'e göre en düşük yayılma çapı 10 cm (%0) ile BKN3-0, en yüksek yayılma çapı kalsitsiz ve lifsiz üretimlerde 25 cm (%100) ile olmuştur. En kısa priz başlangıç ve bitiş süreleri YBN2, YBN3, YKN2, YKN3'te sırasıyla 15 dk ve 2 saattir. En uzun priz başlama ve bitiş süreleri BBN0-0 ve BKN0-0'da sırasıyla 1 ve 5 gündür.

#### 4.2. EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI

Gerçekleştirilen eğilme ve basınç deneylerine ilişkin bulgular 2’şer numuneden elde edilen aritmetik ortalamalar hesaplandıktan sonra aşağıda Çizelge ve şekillerle verilmiştir.



Şekil 4.2. BBT ile üretilmiş, Bazalt lifle güçlendirilmiş GH’lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

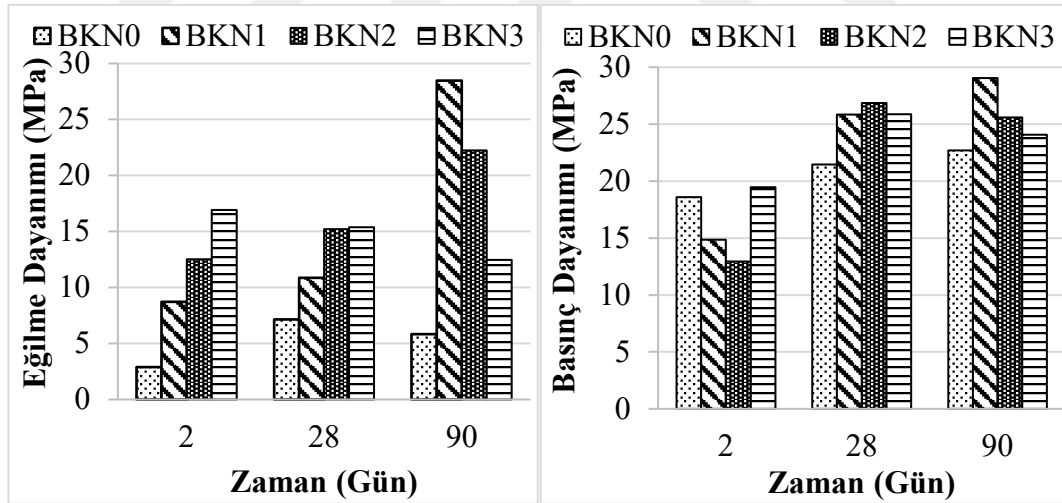
Şekil 4.2’ ye göre, lifsiz seriler (BB0) hariç bazalt lifli GH’lerin eğilme dayanımları zamanla azalmıştır. Bazalt lifler zaman etkisinde eğilme dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. Ancak lifsiz hamurun eğilme dayanımı 28 günlük süreçte artmış, ardından azalma eğilimine girmiştir. 90 günlük süreçte en yüksek eğilme dayanımı %2 ve %3 bazalt lifli GH’larda 8 MPa olarak gözlenmiştir. Ancak, bu seriler 2 – 90 günlük süreçte yaklaşık %60 dayanım kaybetmiştir. Bazalt liflerin %2 oranına kadar eğilme dayanımını her bir süreçte artırdığı gözlenmiştir. 90 günde %2 ve %3 bazalt lifli GH’lerin eğilme dayanımları birbirine oldukça yakındır.

Bazalt lifle güçlendirilmiş GH’lerin basınç dayanımları 2-28 gün arasında BBN0 %15, BBN1 için %49, BBN2 için %12, BBN3 için %5 dayanım artmıştır. 28-90 gün arasında BKN0 %6 dayanım artarken, BKN1 için %32, BKN2 için %11, BKN3 için %2 dayanım azalmıştır. Dolayısıyla bazalt lifler basınç ve eğilme dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. Bunun sebebinin bazalt liflerin zaman içerisinde çözülerek matrise karıştığı ve bu süreçte kimyasal kompozisyonun silis dengesini bozduğu öngörülmüştür (Şekil 3.18). Ancak lifsiz hamurun basınç dayanımı 90 günlük süreçte

zamanla artmıştır. 90 günlük süreçte en yüksek basınç dayanımı %3 bazalt lifli GH'larda ~25 MPa olarak gözlenmiştir. Bazalt liflerin basınç dayanımını belli oranlarda artırdığı gözlenmiştir. Eğilme ve basınç dayanımındaki belli süreçlerde gerçekleşen dayanım kayıplarının sebebi Şekil 4.3'te gösterildiği gibi bazalt liflerin 28 günden sonra çözülerek matrise karışmasından kaynaklandığı, ayrıca numunelerde aşırı karbonatlaşmanın etkileri olduğu da düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Bazalt lifli GH.

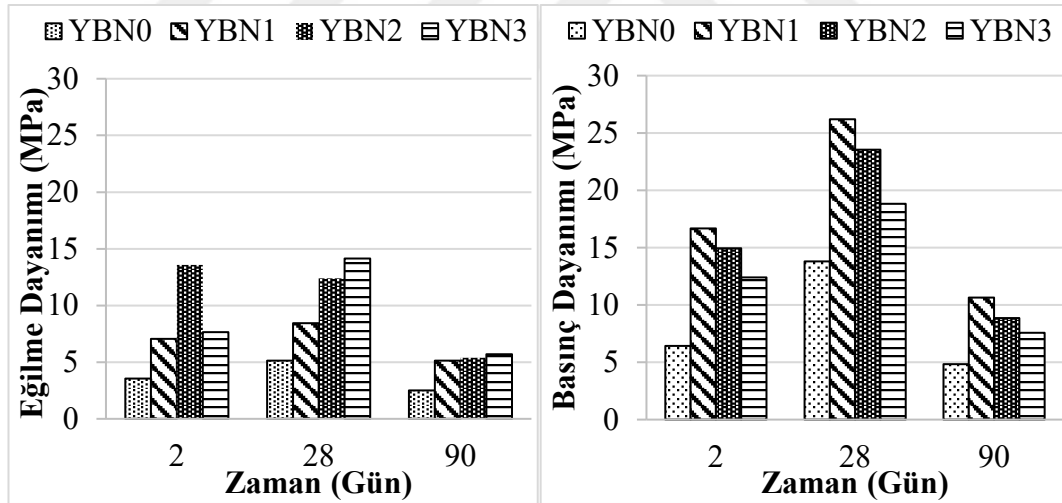


Şekil 4.4. BBT ile üretilmiş, Karbon lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

Şekil 4.4'e göre, Karbon lifli GH'lerin eğilme dayanımları BKN3'te zamanla azalırken BKN1 ve BKN2'de artmıştır. Bu davranış farklılığının optimum lif oranından az veya fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak lifsiz hamurun eğilme dayanımı 28 günlük süreçte artmış, ardından azalma eğilimine girmiştir. 90 günlük

süreçte en yüksek eğilme dayanımı %1 ve %2 karbon lifli GH'larda sırasıyla 28 MPa ve 22 MPa olmuştur.

Karbon lifli GH'larda 2-28 gün arasında BKN0 %15, BKN1 için %74, BKN2 için %107, BKN3 için %33 dayanım artmıştır. 28-90 gün arasında BKN0 %6, BKN1 için %12 dayanım artarken, BKN2 için %5, BKN3 için %7 dayanım azalmıştır. 90 günlük süreçte en yüksek basınç dayanımı %1 karbon lifli GH'larda yaklaşık 29 MPa olarak gözlenmiştir. Karbon liflerin basınç dayanımını belli oranlarda artırdığı gözlenmiştir. Eğilme ve basınç dayanımındaki belli süreçlerde gerçekleşen dayanım kayıplarının sebebi optimum lif oranının dışında üretimlerde artan boşluk miktarı ile aşırı karbonatlaşmanın etkileri olduğu düşünülmektedir. Çimentolu kompozitlerde eğilmede çekme dayanımları basınç dayanımlarının 1/10'u kadardır, ancak bu çalışmada üretilen kompozitlerde karbon lifin etkisi sebebiyle bu iki gerilme arasındaki oran 1/1'e kadar yaklaşmıştır.

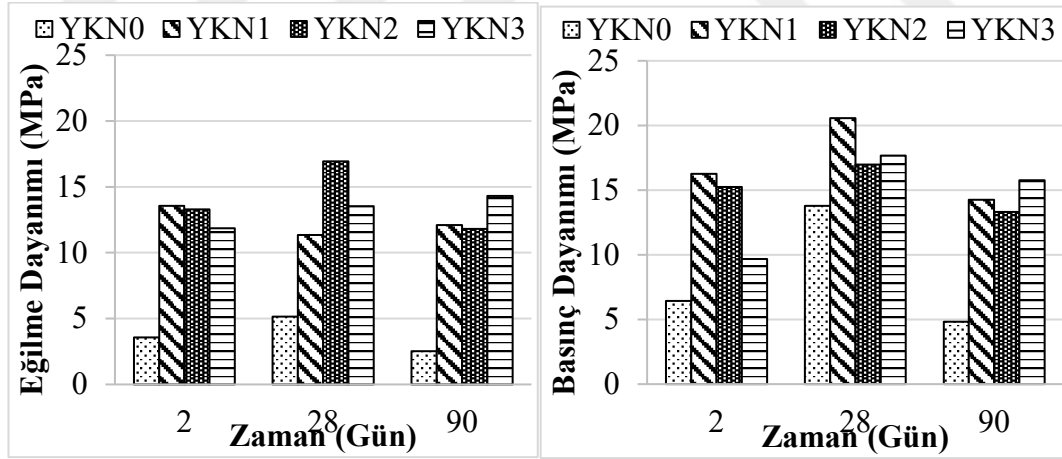


Şekil 4.5. YBT ile üretilmiş, Bazalt lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

Şekil 4.5'e göre, Bazalt lifli GH'lerin eğilme dayanımları, %2 lifli hamur hariç diğerlerinde, 28 gün boyunca artmış ve sonrasında düşüş olmuştur. %2 lifli hamurda 2-28 günlük eğilme dayanımı %8,8 azalmıştır. 90 günlük süreçte en yüksek eğilme dayanımı %3 bazalt lifli GH'larda 5,7 MPa olarak gözlenmiştir. Diğer bazalt lifle güçlendirilmiş GH'larda eğilme dayanımları oldukça yakın değerde gözlenmiştir.

Doğal puzolanik yapıda olan yeşil BT ile üretilmiş hamurların matris yapıları özellikle eğilme dayanımı değerlerinde daha etkin olmuştur. Ancak geç dayanım sürelerinde bazalt lif eğilme dayanımlarını yaklaşık 2 kat artırmıştır.

Bazalt lifle güçlendirilmiş GH'lerin basınç dayanımları 28 güne kadar artmış, ardından 90 güne kadar zamanla azalmıştır. 90 günlük süreçte en yüksek basınç dayanımı %1 bazalt lifli GH'larda 10,64 MPa, en düşük lifsiz GH'larda 4,83 MPa olduğu gözlenmiştir. 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarında lif oranı arttıkça dayanımda düşüş olmuştur. Bu sonuç, seri için optimum lif oranının %1 olduğunu göstermiştir ve lif arttıkça işlenebilirlik azalması dayanımı olumsuz etkilemiştir. 2-28 gün arasında YBN0 %53, YBN1 için %36, YBN2 için %45, YBN3 için %34 dayanım artmıştır. 28-90 gün arasında YBN0 %65, YBN1 için %49, YBN2 için %62, YBN3 için %60 dayanım azalmıştır. Bunun sebebi aktivatör molaritesinin (6 M NaOH) düşük olması sebebiyle zayıf matris yapısının bir sonucu olduğu öngörülmektedir. Özellikle nem direnci düşük iyonik karakterli kimyasal yapı oluşması uzun süreçte dayanımı da olumsuz etkilemiştir.

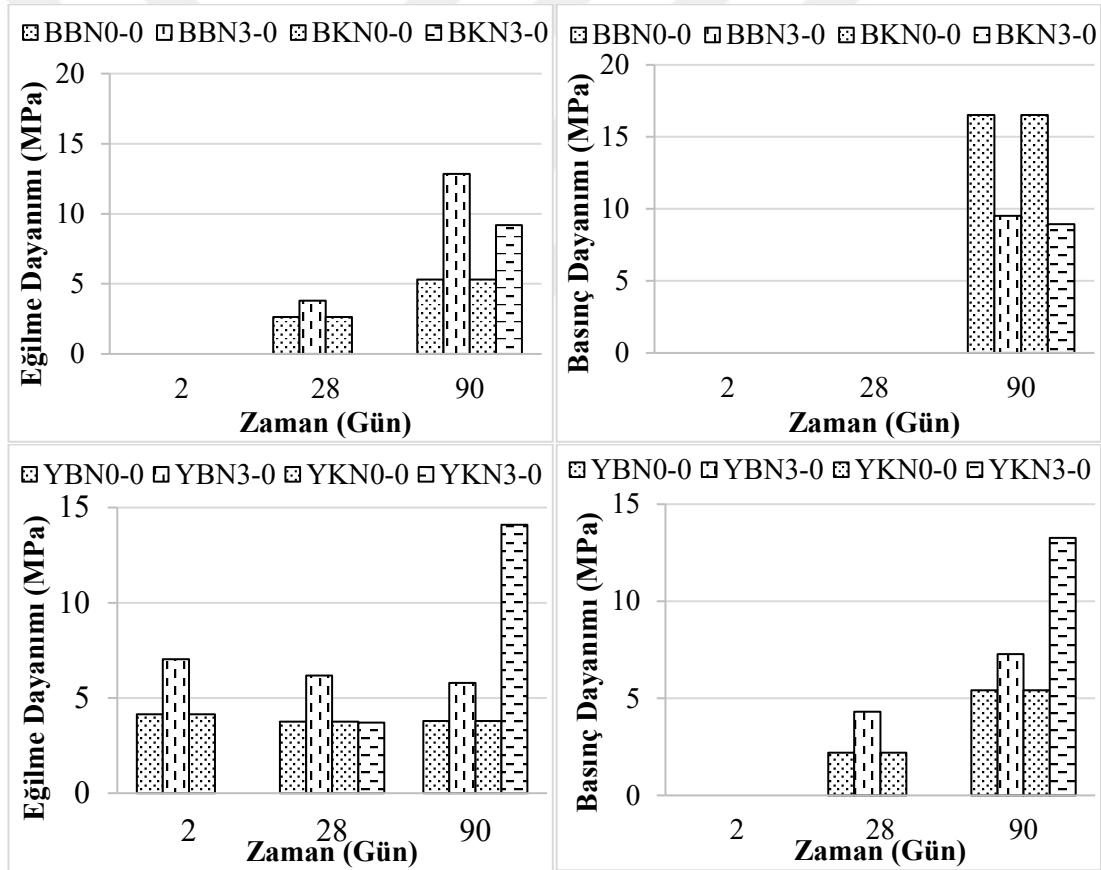


Şekil 4.6. YBT ile üretilmiş, Karbon lifle güçlendirilmiş GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

Şekil 4.6'ya göre, Karbon lifli GH'lerin eğilme dayanımları 28 günde YKN0 %44, YKN2 ve YKN3'te %13 artarken, YKN1'de %16 azalma olmuştur. 90 günde ise yalnızca YKN1'de %7 artış olmuştur. Bu davranış farklılığının optimum lif oranından

kaynaklandığı düşünülmektedir 90 gün sonundaki dayanımlarda en yüksek %3 lifli GH'de 14,32 MPa, en düşük lifsiz GH'de 2,52 MPa olmuştur.

Karbon lifli GM'lerin basınç dayanımları 2-28 gün arasında YKN0 %53, YKN1 için %21, YKN2 için %10, YKN3 için %45 dayanım artmıştır. 28-90 gün arasında YKN0 %65, YKN1 için %31, YKN2 için %22, YKN3 için %11 dayanım azalmıştır. 90 gün sonunda en yüksek basınç dayanımı %3 karbon lifli GH'larda 15,77 MPa olurken, en düşük lifsiz GH'larda 4,83 MPa olmuştur. Sonuç olarak bazalt lifleri eğilme ve basınç dayanımlarını önemli oranda (eğilme dayanımını 5 kat, basınç dayanımını 3 kat) artırmıştır.



Şekil 4.7. Karbon ve Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT ve YBT esaslı kalsitsiz GH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

Şekil 4.7'de BBT grafiklerine göre, her iki lif türünde de numuneler priz almaması sebebiyle 2 günlük eğilme dayanımları elde edilememiştir. Bunun sebebi kalsitsiz üretimlerde  $Ca^{2+}$  iyonunun yetersiz olmasından dolayıdır. Düşük molarite ve yetersiz

$\text{Ca}^{++}$  sebebiyle 28 günlük sonuçlarda bazalt lifli üretimlerde eğilme dayanımı en yüksek olurken karbon lifli üretimlerde eğilme dayanımı elde edilememiştir. 90 gün sonunda bazalt lifli GH'lerin eğilme dayanımı en yüksek 13,5 MPa elde edilmiştir.

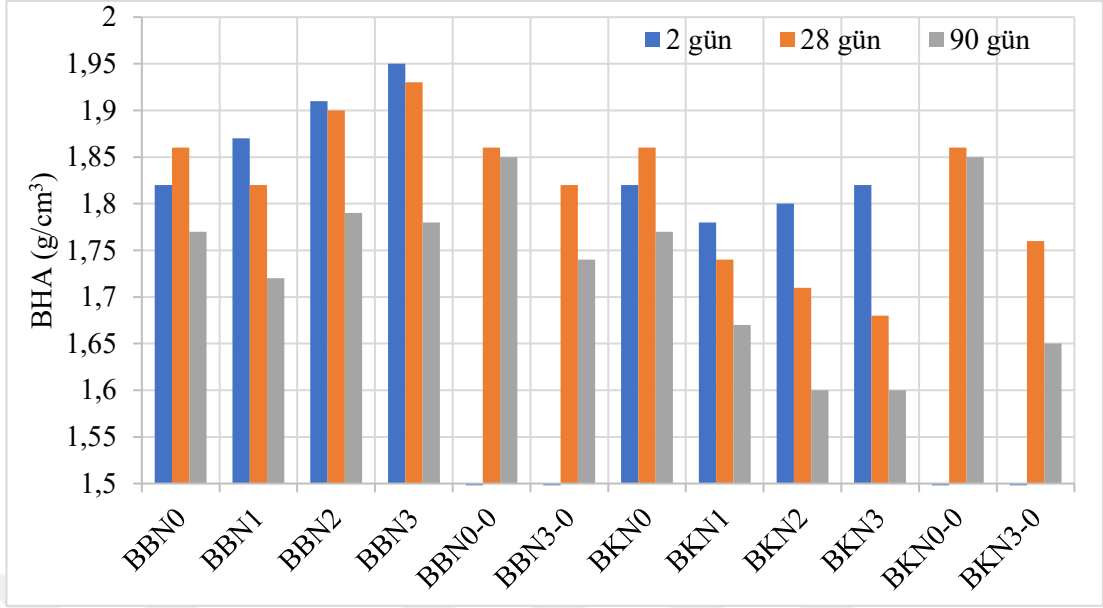
Basınç dayanımı sonuçlarına göre, GH'lar 28 gün boyunca dayanım elde edilememiştir. 90 gün sonunda ise lifsiz üretimlerde dayanım daha yüksek olmuştur. Bunun sebebinin  $\text{Ca}^{2+}$  iyonunun olmayışı ve liflerin varlığı ile aktivasyonun daha da zor geçekleşmedir. Aktivasyonun gecikmesi ile boşluk miktarı artmış ve karbonatlaşma da bununla beraber artmıştır. En yüksek dayanım 16 MPa ile BBN0-0 ve BKN0-0' da olmuştur.

Şekil 4.7'de YBT grafiklerine göre, eğilme dayanımı sonuçlarına göre, 90 günlük süreç boyunca lifsiz üretimlerde dayanım lifli üretimlere göre daha düşük olmuştur. Bazalt lifli hamurlarda dayanım zamanla düşerken karbon lifli hamurlarda artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin bazalt lifin zamanla hamur ile kimyasal tepkimeye girmesi ve lifin çekme kuvvetine karşı görevinin azalmasıdır. 90 gün sonunda en yüksek eğilme dayanımı YKN3-0'da 14MPa ile olurken en düşük lifsiz üretimlerde 4 MPa olmuştur.

Basınç dayanımı sonuçlarına göre, 90 günlük süreç boyunca dayanımda artış olmuştur. 28-90 gün arasında YBN0-0 ve YKN0-0 için %59, YBN3-0 için %67 oranlarında dayanım artışı olmuştur. Karbon lifli hamurda bazalt lifli hamura göre çok daha yüksek dayanım olmuştur. En yüksek dayanım YKN3-0 13,5 MPa ile olurken en düşük lifsiz üretimlerde 5,5 MPa olmuştur.

#### **4.2.1. Geopolimer Hamurların Birim Hacim Ağırlık Sonuçları**

Eğilme deneyleri öncesinde gerçekleştirilen tartım sonuçları ile hesaplanan BHA verileri aşağıda grafik olarak gösterilmiştir.



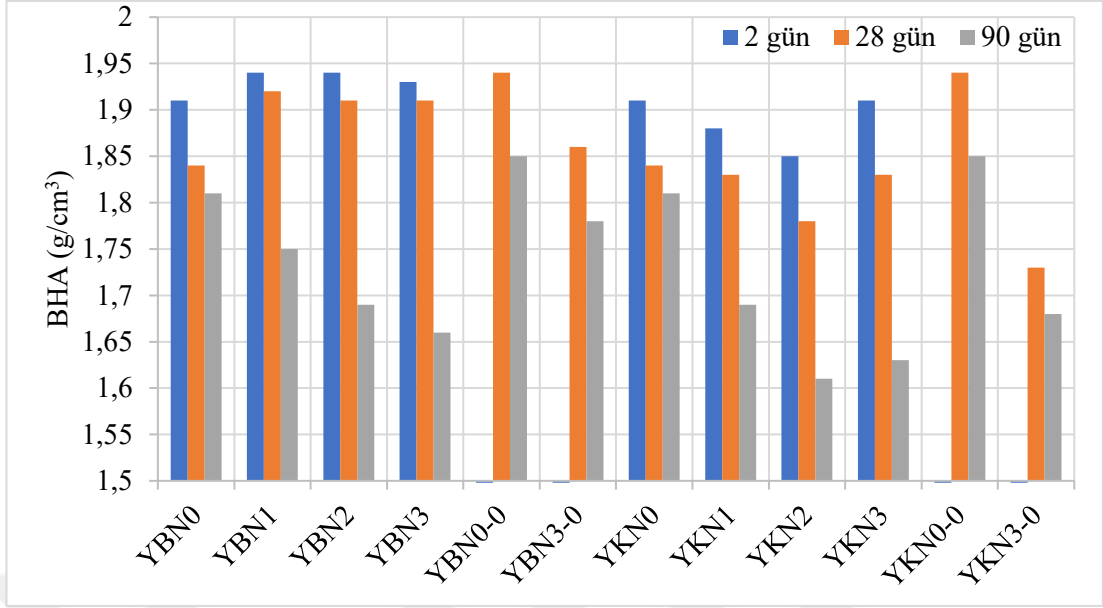
Şekil 4.8. Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş BBT ile üretilmiş GH'lerin BHA verileri.

Şekil 4.8'e göre, her iki lif türünde numunelerin su kaybı sebebiyle birim hacim ağırlıklar zamanla azalmıştır.

Bazalt lifin yoğunluğunun karbon liften daha fazla olması sebebiyle, bazalt lifli GH'larda BHA daha yüksek olmuştur.

GH'larda lif oranı arttıkça, her bir kür sürecinde bazalt lifli kompozitlerin BHA'ları artarken, karbon lifli kompozitlerin BHA'ları azalmıştır.

En yüksek BHA lifsiz ve kalsitsiz GH'de ( $1.85 \text{ g/cm}^3$ ) olurken lifli GH'larda en yüksek ( $1.79 \text{ g/cm}^3$ ) BHA değeri %2 bazalt lifli elde edilirken, en düşük BHA değeri ( $1.67 \text{ g/cm}^3$ ) %2-3 karbon lifli GH'larda olmuştur.



Şekil 4.9. Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş YBT ile üretilmiş GH'lerin BHA verileri.

Şekil 4.9'a göre, her iki lif türünde numunelerin su kaybı sebebiyle birim hacim ağırlıkları zamanla azalmıştır.

Bazalt lifin yoğunluğunun karbon liften daha fazla olması sebebiyle, bazalt lifli GH'lerde BHA daha yüksek olmuştur.

GH'lerde lif oranı arttıkça, 2-28 günlük kür süreçlerinde bazalt lifli kompozitlerin BHA'ları artarken, karbon lifli kompozitlerin YKN3 hariç BHA'ları azalmıştır. 90 günlük kür sürecinde ise her iki lif türünde de YKN3 hariç BHA'larda azalma olmuştur.

En yüksek BHA lifsiz ve kalsitsiz GH'da ( $1.85 \text{ g/cm}^3$ ) olurken, en düşük BHA değeri ( $1.69 \text{ g/cm}^3$ ) %1 karbon lifli GH'larda olmuştur.

#### 4.3. SU EMME DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Su emme deneylerinden elde edilen sonuçlar üzerinde gerçekleştirilen hesaplar neticesinde kuru özgül ağırlık ve görünür porozite verileri elde edilmiştir. Tüm GH'lerin 2 günlük süreçte, kalsitsiz ve lifsiz GH'lerin de 28 günlük süreçte su

dirençlerinin yetersiz olması sebebiyle su emme deneyi tamamlanamamış ve böylece veri elde edilememiştir. Bununla birlikte 28 ve 90 gün yaşlarında da benzer şekilde bazı deney gruplarının su direnci yetersizliği, deney sırasında uygulanan ısıtma işlemi sırasında büzülme kaynaklı kütle kayıplarından dolayı deney sonuçları elde edilememiştir. Bu kapsamda tamamlanan deney sonuçları, su emme oranı, kuru özgül ağırlık ve görünür porozite verileri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de B0 olarak tanımlanan numune grubu lifsiz referans numune grubunu temsil etmektedir.

Çizelge 4.2. BBT ile üretilen NaOH aktivatörlü GH’lerin su emme deney sonuçları.

| Kod    | 28 gün  |            |              | 90 gün  |            |              |
|--------|---------|------------|--------------|---------|------------|--------------|
|        | Su Emme | Kuru özgül | Görünür      | Su Emme | Kuru özgül | Görünür      |
|        | (%)     | ağırlık    | Porozite (%) | (%)     | ağırlık    | Porozite (%) |
| B0     | -       | -          | -            | 19,91   | 1,97       | 28,18        |
| BBN1   | 29,47   | 1,33       | 39,16        | 26,29   | 1,34       | 35,25        |
| BBN2   | -       | -          | -            | 20,6    | 1,48       | 30,47        |
| BBN3   | 27,82   | 1,36       | 37,47        | 26,24   | 1,4        | 36,8         |
| BKN1   | 35,11   | 1,23       | 43,44        | 32,05   | 1,23       | 39,31        |
| BKN2   | 36,91   | 1,21       | 44,7         | 33,73   | 1,19       | 40,23        |
| BKN3   | 54,83   | 1,08       | 52,44        | 35,7    | 1,16       | 41,39        |
| BBN3-0 | 34,32   | 1,07       | 42,63        | 31,04   | 1,29       | 39,98        |
| BKN3-0 | 47,51   | 1,08       | 53,07        | 38,48   | 1,18       | 45,22        |

Çizelge 4.2’ye göre, 90 günlük süreçte su emme deney sonuçlarına göre en yüksek su emme oranı ve kuru özgül ağırlık sırasıyla BKN3 ve BKN3-0 olarak gözlenmiştir. En düşük su emme oranı ve kuru özgül ağırlık sırasıyla B0 ve BBN2 olarak gözlenmiştir.

BBT ile üretilmiş GH’lerin lifsiz serilerinden 28 gün yaşında su direnci elde edilememesine rağmen, lif takviyesi ile hamurların su direnci önemli oranda artırmıştır. 90 gün yaşında tüm BBT esaslı GH’lerin suya dirençleri oluşmuş ve böylece tüm seriler üzerinde su emme deney verileri toplanabilmiştir. Kompozit içindeki lif oranı arttıkça matrise hava sürüklenmesi sebebiyle görünür porozite artırmıştır. Ayrıca, lif oranı arttıkça işlenebilirlik azalmıştır ve böylece boşluk oranı artmıştır. Porozitenin artması ile özgül ağırlık azalmıştır.

Kalsitsiz serilerin %3 lifli üretimlerinde su emme oranları %34 – 48 arasında elde edilmiştir. Bazalt lifle güçlendirilmiş kalsit içeren GH'larda %27-35, karbon lifli GH'larda %35-55 arasında su emme oranı elde edilmiştir. Karbon liflerin su emme oranlarının yüksek olmasından dolayı Bazalt lifli serilerden daha yüksek su emme oranları elde edilmiştir.

Bazalt liflerin 28 günden sonra belli oranlarda çözülerek matrise dahil olması sebebiyle su emme oranları 28 – 90 günlük süreçte farklı oranlarda azalmaktadır. 90 günlük süreçte lifsiz deney serilerinin su emme oranları %20'nin altında olmuştur.

Çizelge 4.3. YBT ile üretilen NaOH aktivatörlü GH'lerin su emme deney sonuçları.

| Kod    | 28 gün  |            |              | 90 gün  |            |              |
|--------|---------|------------|--------------|---------|------------|--------------|
|        | Su Emme | Kuru özgül | Görünür      | Su Emme | Kuru özgül | Görünür      |
|        | (%)     | ağırlık    | Porozite (%) | (%)     | ağırlık    | Porozite (%) |
| Y0     | -       | -          | -            | -       | -          | -            |
| YBN1   | 36,72   | 1,29       | 48,34        | 24,81   | 1,42       | 35,12        |
| YBN2   | 32,42   | 1,32       | 42,76        | 23,22   | 1,43       | 33,17        |
| YBN3   | 34,17   | 1,32       | 43,15        | 27,8    | 1,4        | 39,06        |
| YBN0-0 | 29,72   | 1,38       | 40,95        | 29,17   | 1,39       | 40,53        |
| YBN3-0 | 36,13   | 1,29       | 46,04        | 36,12   | 1,25       | 45,1         |
| YKN1   | 30,38   | 1,28       | 41,69        | 21,04   | 1,5        | 31,52        |
| YKN2   | 30,97   | 1,36       | 42,48        | 23,86   | 1,42       | 33,92        |
| YKN3   | 30,46   | 1,37       | 41,51        | 21,7    | 1,39       | 30,1         |
| YKN0-0 | 29,72   | 1,38       | 40,95        | 29,17   | 1,39       | 40,53        |
| YKN3-0 | 28,01   | 1,33       | 37,41        | 34      | 1,18       | 40,11        |

Çizelge 4.3'te Y0 olarak tanımlanan numune grubu lifsiz referans numune grubunu temsil etmektedir.

Çizelge 4.3'e göre, 90 günlük süreçte su emme deney sonuçlarına göre en yüksek su emme oranı ve kuru özgül ağırlık sırasıyla YBN3-0 ve YKN3-0'da gözlenmiştir. En düşük su emme oranı ve kuru özgül ağırlık sırasıyla YKN1 ve YKN3'te gözlenmiştir.

YBT ile üretilmiş GH'lerin lifsiz serilerinden 28 gün yaşında su direnci elde edilememesine rağmen lif takviyesi ile hamurların su direnci önemli oranda artırmıştır. 90 gün yaşında ise tüm GH'lerin su dirençleri artmış ve böylece tüm seriler üzerinde

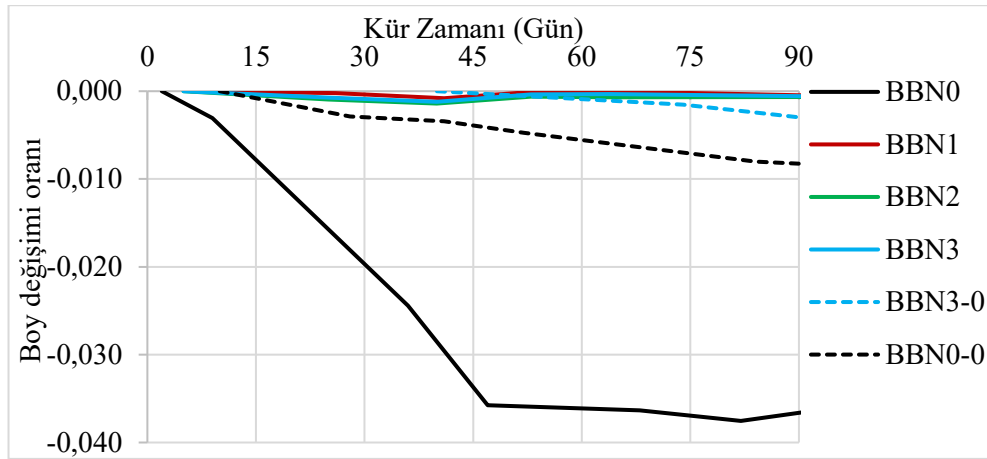
su emme deneyi yapılabilmektedir. Lifsiz ve kalsitsiz GH'larda su direnci gözlemlenmiştir. Lifin varlığı su direncini ve görünür poroziteyi artırmıştır. Lif oranının artması, işlenebilirlikte azalma ve bunun sonucunda GH'lerinde boşluklu yapıya sebep olmuştur. Boşluklu yapının artması ile özgül ağırlıkta da azalma meydana gelmiştir.

28 gün yaşında kalsitli serilerde bazalt lifi için %32-36 arası karbon lifi için ~%30 su emme oranı elde edilmiştir. Kalsitsiz serilerde bazalt lifi için %36,13 karbon lifi için %28,01 su emme oranı elde edilmiştir.

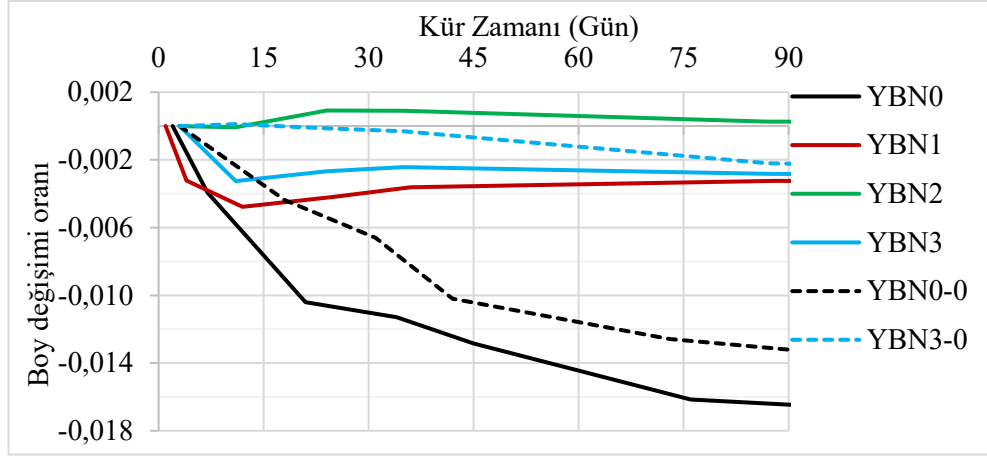
BBT ve YBT ile üretilen GH'lerin su emme oranı karşılaştırıldığında, BBT'li üretimlerin daha düşük su emme oranına sahip olduğu görülmüştür.

#### 4.4. BÜZÜLME DENEY SONUÇLARI

Bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş BBT ve YBT esaslı GH'lerin büzülme deney sonuçları sırasıyla Şekil 4.11-4.14'te verilmiştir. Priz başlangıç süresi çok uzun olduğu için kalsitsiz serilerin (BBN0-0, BBN3-0, BKN0-0, BKN3-0 ve YKN3-0) büzülme ölçümleri diğer numunelere göre daha geç olmuştur.



Şekil 4.10. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin boy değişimleri

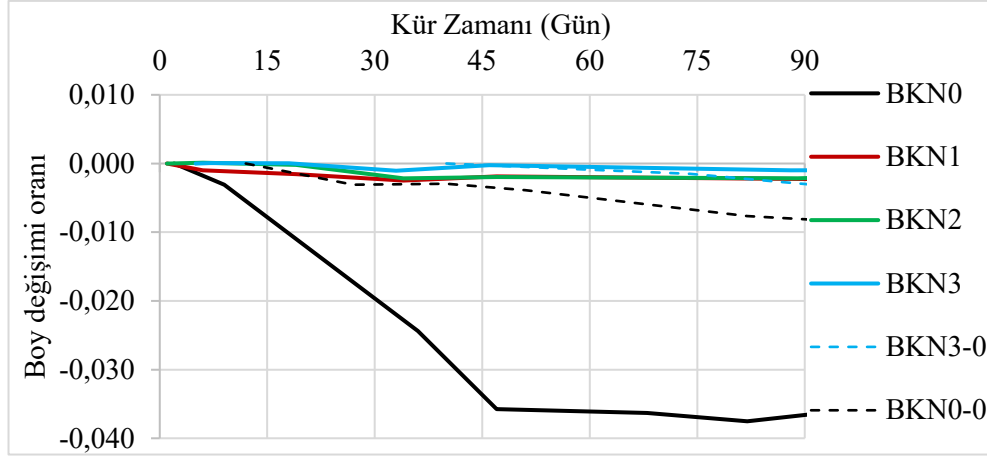


Şekil 4.11. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin boy değişimleri

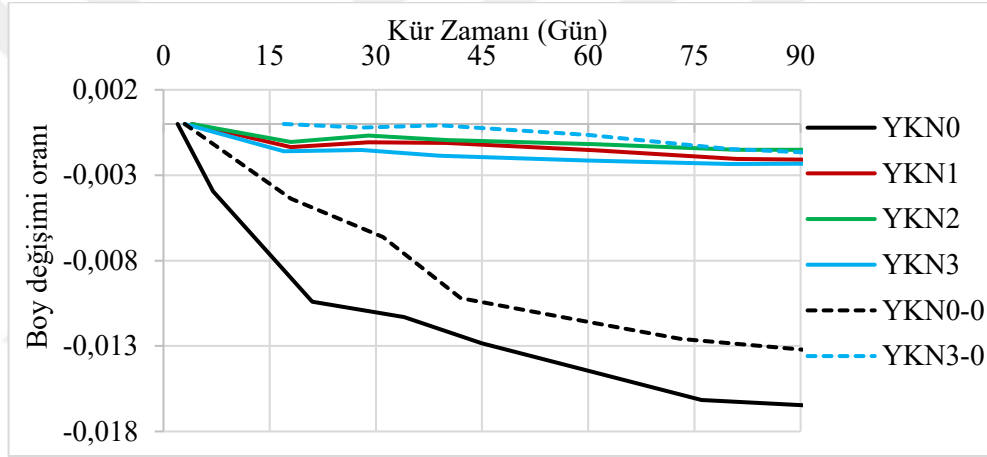
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'ye göre, her iki BBT ve YBT esaslı GH'da bazalt lif oranı artıkça büzölmeler farklı oranlarda azalmıştır. Her iki BBT ve YBT esaslı kalsitsiz GH'lar, kalsitli GH'lere göre daha az büzölmüştür. Ancak BBT esaslı kalsitsiz %3 bazalt lifli hamurlarda ihmal edilebilecek seviyede büzölme davranışı tersine dönmüştür.

BBT'li GH'lerde en fazla büzölme liffsiz kalsitli hamurlarda (BBN0) %3,60 oranında olurken, en düşük büzölme %3 bazalt lifli kalsitli hamurlarda (BBN3) %0,06 olmuştur. YBT'li GH'larda en fazla büzölme liffsiz kalsitli hamurlarda (YBN0) %1,70 oranında olurken, en düşük büzölme %2 bazalt lifli kalsitli hamurlarda (YBN2) %0,01 olmuştur.

GH'lerin büzölme davranışları 90 günlük kür süresi içinde azalarak devam etmiştir. Özellikle BBN0, YBN0 ve YBN0-0 numunelerinde 45 günden sonra büzölme yüksek oranda azalmıştır. 90 gün sonunda BBN0-0, BBN1, BBN2, BBN3, YBN1, YBN2, YBN3 ve YBN3-0'ün büzölme oranları %0,5'in altında olmuştur.



Şekil 4.12. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin boy değişimleri



Şekil 4.13. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin boy değişimleri

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'e göre, BBT ile üretilen GH'lerin büzölmeleri YBT esaslı GH'lere göre daha fazla olmuştur.

Lif durumuna göre BBT'li üretimlerde, BKN1, BKN2, BKN3 ve BKN3-0 çok yakın değerler alarak en düşük büzölmeye sahip olmuşlardır. YBT'li üretimlerde YKN2 en düşük büzölmeye sahip olmuştur. Bu sonuçlara göre bazalt lif oranı artıkça büzölmelerde azalma olmuştur, çünkü hamur içerisindeki lif büzölme-genleşmeyi karşılamıştır.

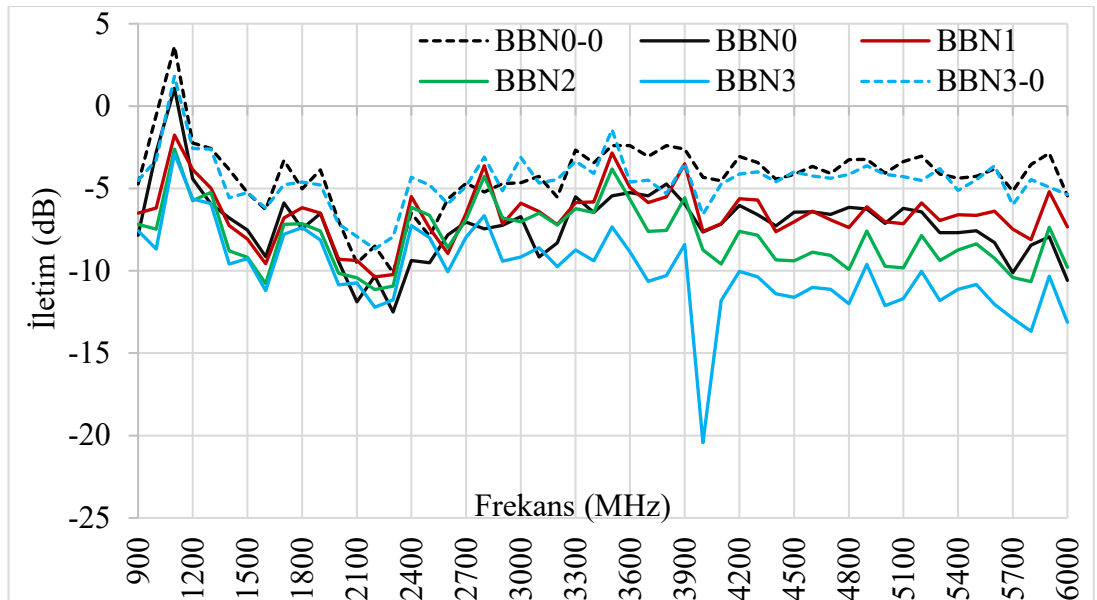
Kalsitsiz GH'larda büzölme kalsitli GH'lere göre oldukça düşük olmuştur.

GH'lerin bzlme davranışları 90 günlük kür süresi içinde azalarak devam etmiştir. Özellikle BKN0, YKN0 ve YKN0-0 numunelerinde 45 günden sonra bzlme yüksek oranda azalmıştır. 90 gün sonunda BKN0-0, BKN1, BBN2, BBN3, YKN3-0, YKN1, YKN2 ve YKN3'n bzlme oranları %0,5'in altında olmuştur.

90 gün sonunda en fazla bzlme gerçekleştiren BBT'li GH'larda BKN0 %3,60 ile olurken, en düşük YKN2 %0,15 ile olmuştur.

#### 4.5. ELEKTROMANYETİK (EM) ÖLÇÜMLER VE DEĞERLENDİRMELERİ

BBT ve YBT esaslı GH'lar üzerinde gerçekleştirilen 900 – 6000 MHz frekans aralığındaki elektromanyetik (EM) alan ölçümlerine ait verilerle şekil 4.15 – 4.22 oluşturulmuştur. Bu grafiklerde, üretilen GH karo malzemelerin elektromanyetik iletim ve yansıtma özellikleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafiklerde kalkanlama olarak tanımlanan sonuçlar malzemelerin EM emme ve yansıtma özelliğini karakterize etmekle birlikte toplam EM kalkanlama miktarı tanımlanmıştır. Kalkanlama, malzemeden geçen EM etkinin azalmasıdır. Bu azalma emilim ve yansımanın toplamıdır.

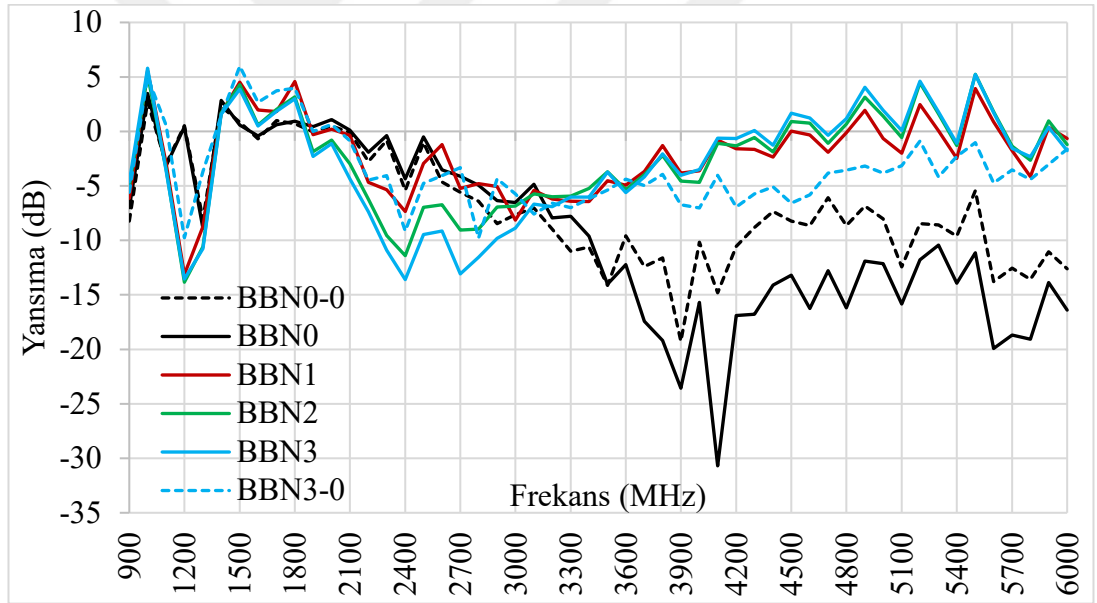


şekil 4.14. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM iletim grafiği.

Şekil 4.14'e göre, en yüksek EM enerji azalması BBN3 karoda 4100 MHz frekansta -20,4 dB olarak gerçekleşmiştir. BBN0-0 karoda 1100 MHz frekansta 3,6 dB'lik enerji artışı gerçekleşmiştir bunun sonucunda malzeme EM iletken davranış göstermiştir.

Bazalt lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM iletim özelliği azalmıştır. %3 bazalt lifli karo malzemedede 4100 MHz frekansında en düşük iletim değeri ölçülmüştür. Özellikle, 3300 MHz'den daha yüksek frekanslarda iletim değerleri lifli karo GH'lar için daha da azalmıştır. Ancak, %1 bazalt lif katkısı EM iletimi etkilememiştir.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM iletimi azaltmıştır, kalsitsiz GH'larda EM iletkenlik özelliği artmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitsiz karo malzemeler daha fazla iletken davranış göstermiştir.

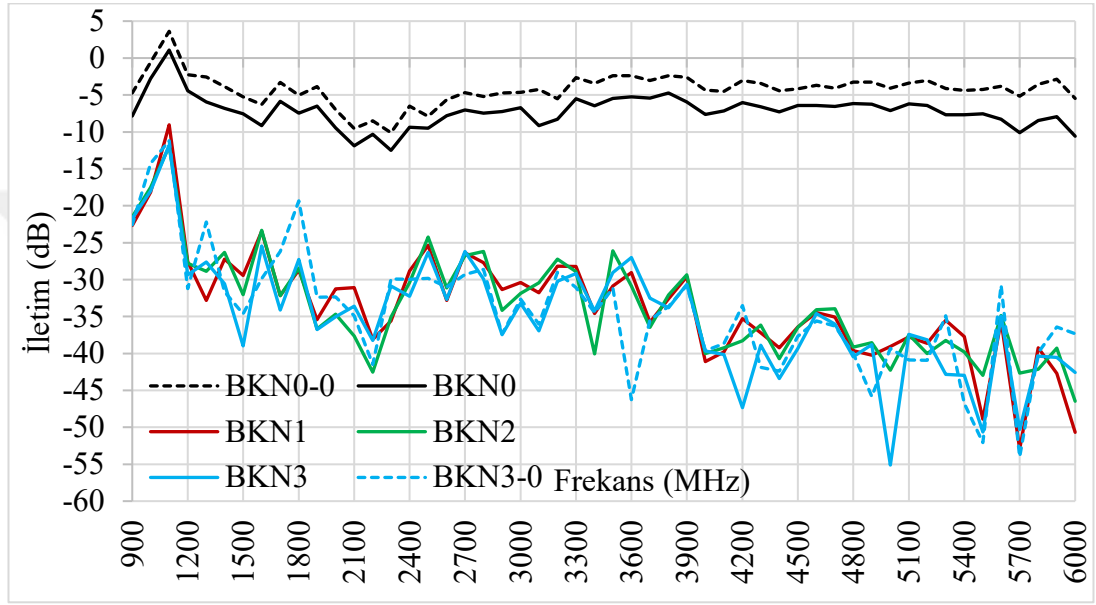


Şekil 4.15. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM yansımaya grafiği.

Şekil 4.15'e göre, tüm karo malzemelerde 1000 – 1100 MHz ve 1400 – 1900 MHz frekanslarda EM yansıma gerçekleşmiştir. En yüksek yansıma 1000, 1500 ve 5500 MHz frekanslarında BBN3-0 ve BBN3 kodlu GH'larda 5 dB olarak gözlenmiştir. En düşük elektromanyetik yansıma verisi 4100 MHz frekansında -30,7 dB olarak BBN0'da gerçekleşmiştir. Bu noktada EM enerjinin ya iletilmiş ya da büyük bir çoğunluğunun absorplanmış olduğu söylenebilir.

Yansıma verilerine göre 3000 MHz'e kadar bazalt lifinin EM yansıtma özelliğine etkisi net olarak görülmemekle birlikte, 3000 MHz'den daha büyük frekanslarda bazalt lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM yansıtma miktarı özellikle 4100 MHz'den daha büyük frekanslarda önemli oranda artmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM yansıtma özelliğini zayıflatmıştır.

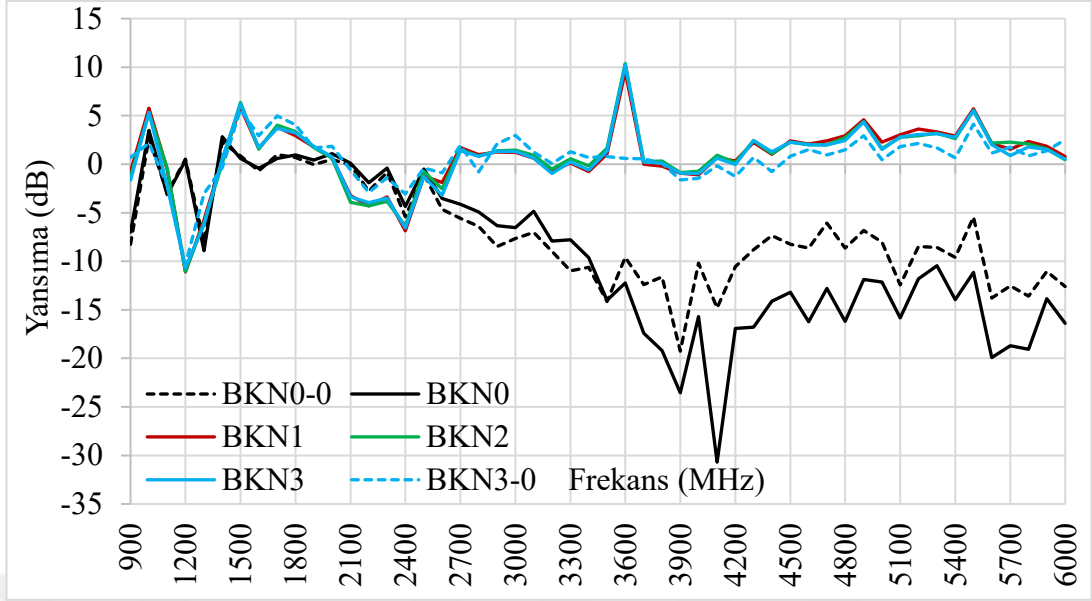


Şekil 4.16. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM iletim grafiği.

Şekil 4.16'ya göre, en yüksek EM enerji azalması BKN3 karoda 5000 MHz frekansta -55,11 dB olarak gerçekleşmiştir. BKN0-0 karoda 1100 MHz frekansta 3,6 dB'lik pozitif yönde enerji artışı meydana gelmiştir, bunun sonucunda malzeme EM iletken davranış göstermiştir.

Tüm karbon lif oranlarında EM iletim özelliğini azaltmıştır, absorban davranışa sebep olmuştur. %3 karbon lifli karo malzemedede 5000 MHz frekansında en düşük iletim değeri ölçülmüştür. Özellikle, 3400 MHz'den daha yüksek frekanslarda iletim değerleri daha da azalmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM iletim özelliğini azaltmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitsiz karo malzemeler daha fazla iletken davranış göstermiştir.

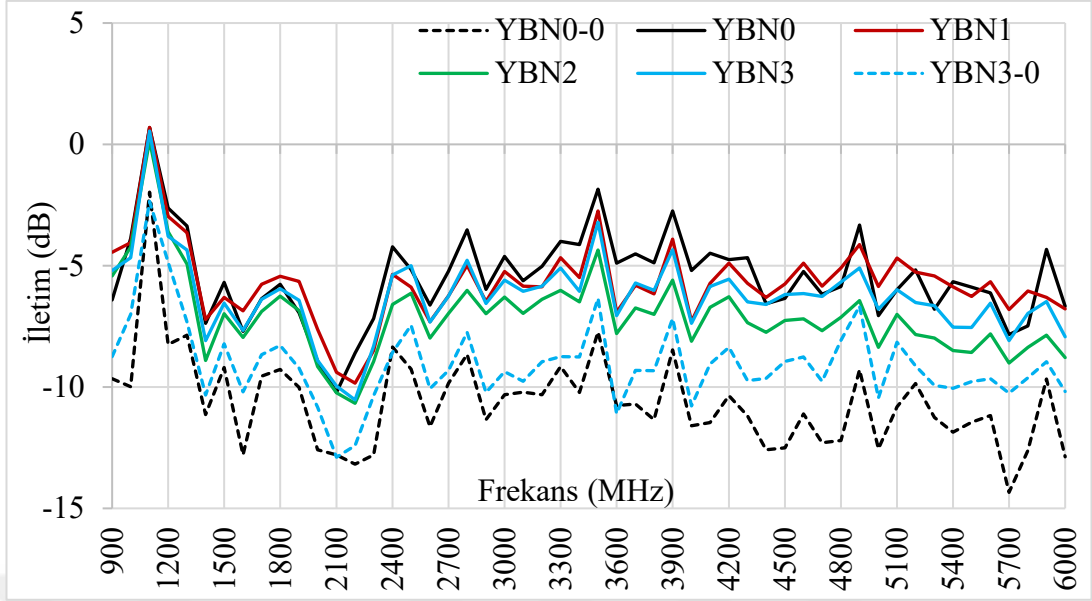


Şekil 4.17. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin EM yansıma grafiği

Şekil 4.17'ye göre, tüm karo malzemelerde 1000 – 1100 MHz, 1300 – 1500 MHz, 2400-2600 MHz ve 4000 MHz üstü frekanslarda EM yansıma gerçekleşmiştir. En yüksek yansıma 1000, 1500 ve 3600 MHz frekanslarında BKN2 ve BKN3 kodlu GH'larda 10,26 dB olarak gözlenmiştir. En düşük EM yansıma verisi 4100 MHz frekansında BKN0'da -30 dB olarak gerçekleşmiştir. Bu noktada enerjinin büyük bir çoğunluğunun absorplanmış olduğu belirlenmiştir.

Yansıma verilerine göre 2400 MHz'e kadar karbon lifinin EM yansıtma özelliğine etkisi net olarak görülmemekle birlikte, 2400 MHz'den daha büyük frekanslarda karbon lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM yansıtma miktarı önemli oranda artmıştır.

Karbon lifsiz GH'larda kalsit bileşeni 3600 MHz frekansından sonra karo malzemelerin EM yansıtma özelliğini farklı oranlarda artırmıştır. Karbon lifli GH'larda kalsit bileşeni EM yansımaya etkisi olmamıştır.

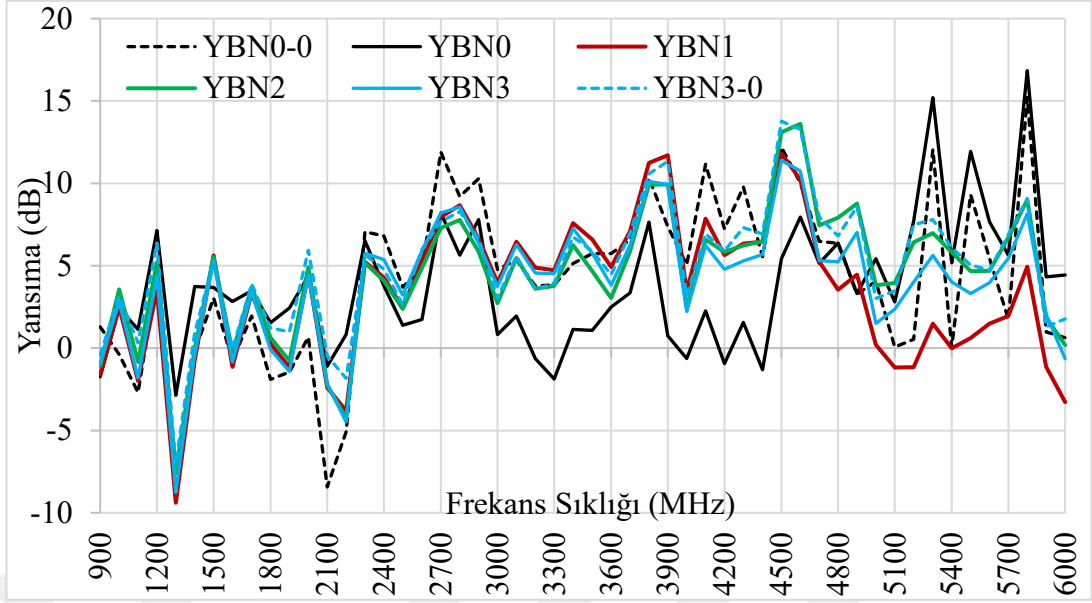


Şekil 4.18. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH’lerin elektromanyetik alanda iletim verileri grafiği.

Şekil 4.18’e göre, en yüksek EM enerji azalması YBN0-0 karoda 5700 MHz frekansta -14,34 dB olarak gerçekleşmiştir. Bu davranış 5700 MHz’den sonra belirginleşmiştir. YBN3 karoda 1100 MHz frekansta 0,55 dB’lik enerji artışı gerçekleşmiştir bunun sonucunda malzeme elektromanyetik iletken davranış göstermiştir.

Bazalt lifin varlığı kalsitli üretimlerde elektromanyetik iletim özelliğini azaltırken kalsitsiz üretimlerde artırmıştır. Lif oranı etkisi, sırasıyla azdan çoğa %2, %3, %1 elektromanyetik iletim özelliğinde, artış göstermiştir. Kalsitsiz lifsiz karo malzemede 5700 MHz frekansında en düşük iletim değeri ölçülmüştür.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin elektromanyetik iletim özelliğini artırmıştır.

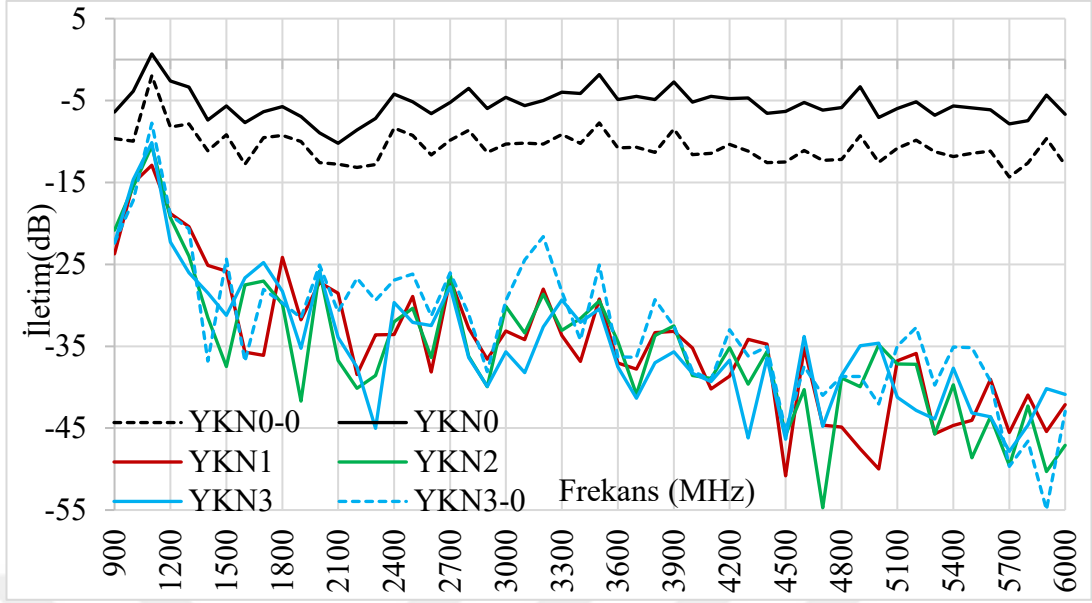


Şekil 4.19. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH’lerin elektromanyetik alanda yansıma verileri grafiği.

Şekil 4.19’a göre, tüm karo malzemelerde 1100 – 1500 MHz ve 2200 – 2400 MHz frekanslarda elektromanyetik yansıma gerçekleşmiştir. En yüksek yansıma 4600, 5300 ve 5800 MHz frekanslarında YBN3-0 ve YBN0 nolu GH’larda 16,84 dB olarak gözlenmiştir. En düşük elektromanyetik yansıma verisi 1300 MHz frekansında YBN3’de gerçekleşmiştir. Bu noktada ya iletilmiş ya da enerjinin büyük bir çoğunluğunun absorplanmış olduğu söylenilebilir.

Yansıma verilerine göre 3000 MHz’e kadar bazalt lifinin elektromanyetik yansıtma özelliğine etkisi net olarak görülmemekle birlikte, 3000-4900 MHz aralığında bazalt lif yansımayı artırmıştır. 3500 MHz’den daha büyük frekanslarda ise bazalt lif yansıma özelliğini azaltmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin elektromanyetik yansıtma özelliğini zayıflatmıştır.

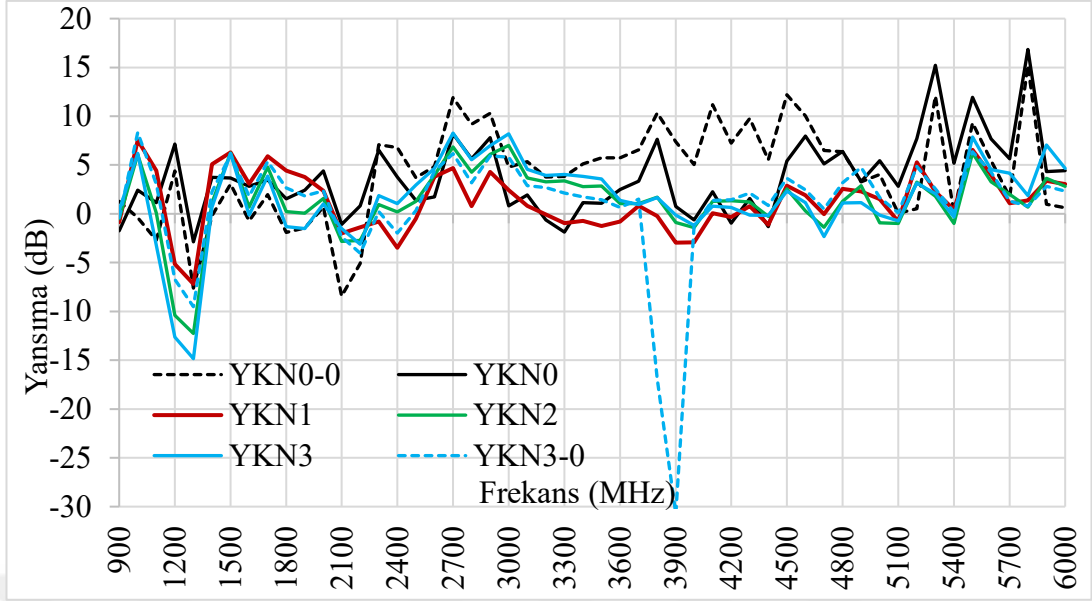


Şekil 4.20. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda iletim verileri grafiği.

Şekil 4.20'ye göre, En yüksek EM enerji azalması YKN3-0 karoda 5900 MHz frekansta -54,95 dB olarak gerçekleşmiştir. Bu davranış 5900 MHz'den sonra belirginleşmiştir. BKN0-0 karoda 1100 MHz frekansta 0,69 dB'lik enerji artışı gerçekleşmiştir bunun sonucunda malzeme elektromanyetik iletken davranış göstermiştir.

Karbon lifin varlığı elektromanyetik iletim özelliğini azaltmıştır. Lif oranı arttıkça elektromanyetik iletim özelliği azalmıştır. %3 karbon lifli kalsitsiz karo malzemede 5900 MHz frekansında en düşük iletim değeri ölçülmüştür. Özellikle, 3400 MHz'den daha yüksek frekanslarda iletim değerleri daha da azalmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin elektromanyetik iletim özelliğini güçlendirmiştir.

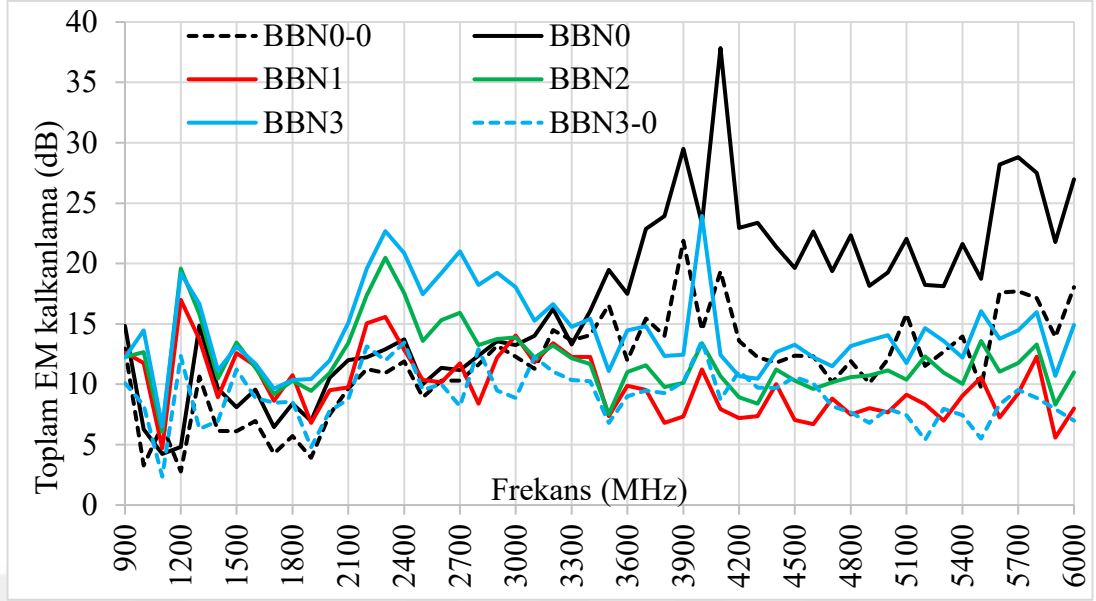


Şekil 4.21. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin elektromanyetik alanda yansıma verileri grafiği.

Şekil 4.21'e göre , tüm karo malzemelerde 1300 – 1400 MHz, 2600 – 2700 ve 5400 – 5500 MHz frekanslarda elektromanyetik yansıma gerçekleşmiştir. En yüksek yansıma 5300 ve 5800 MHz frekanslarında YKN0 nolu GH'larda 16,84 dB olarak gözlenmiştir. En düşük elektromanyetik yansıma verisi 3900 MHz frekansında YKN3-0'da gerçekleşmiştir. Bu noktada ya iletilmiş ya da enerjinin büyük bir çoğunluğunun absorplanmış olduğu söylenilebilir.

Yansıma verilerine göre 3300 MHz'e kadar karbon lifinin elektromanyetik yansıtma özelliğine etkisi net olarak görülmemekle birlikte, 3300 MHz'den daha büyük frekanslarda karbon lif oranı arttıkça karo malzemelerin elektromanyetik yansıtma özelliği azalmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin elektromanyetik yansıtma özelliğini zayıflatmıştır.

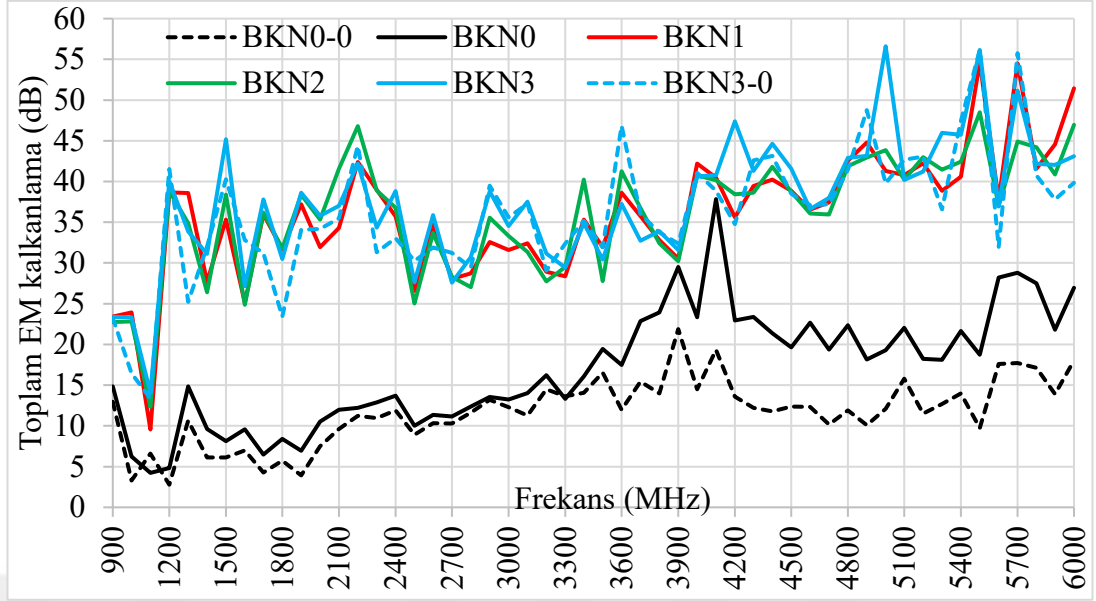


Şekil 4.22. Bazalt lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği.

Şekil 4.22'ye göre, en yüksek EM kalkanlama BBN0 karoda 4100 MHz frekansta 37,84 dB olarak gerçekleşmiştir. En düşük EM kalkanlama ise BBN3-0 karoda 1100 MHz frekansta 2,4 dB olarak gerçekleşmiştir.

Bazalt lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM kalkanlama özelliği artmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM kalkanlama özelliğini artırmıştır. Kalsitsiz GH'larda EM kalkanlama özelliği azalmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitsiz karo malzemeler daha az kalkanlama davranış göstermiştir.

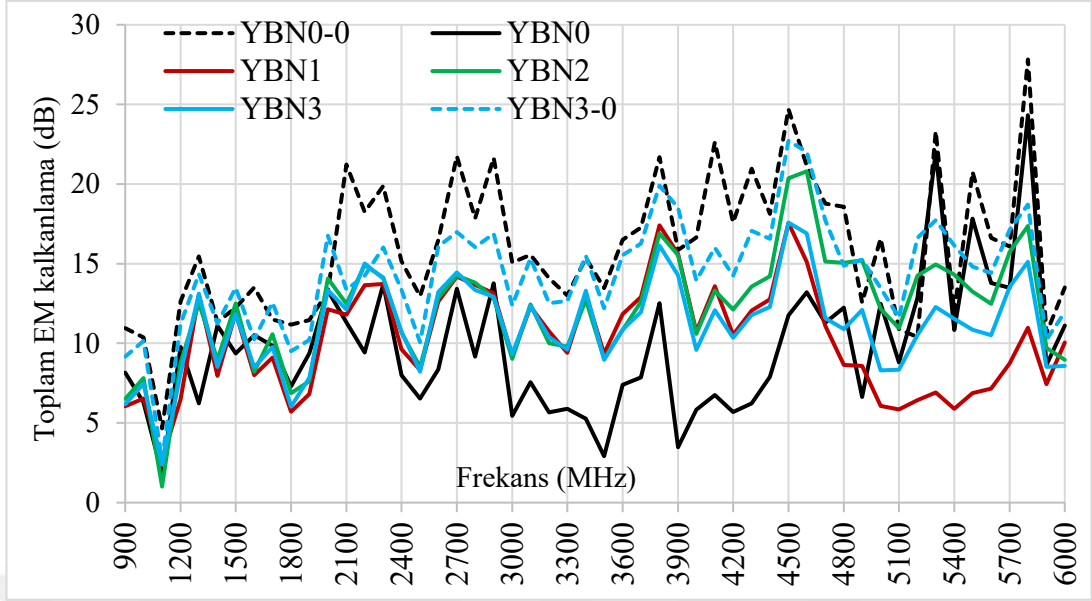


Şekil 4.23. Karbon lifle güçlendirilmiş BBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği.

Şekil 4.23'e göre, en yüksek EM kalkanlama BKN3 karoda 5000 MHz frekansta 56,6 dB olarak gerçekleşmiştir. En düşük EM kalkanlama ise BKN0-0 karoda 1200 MHz frekansta 2,8 dB olarak gerçekleşmiştir.

Karbon lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM kalkanlama özelliği artmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM kalkanlama özelliğini artırmıştır. Kalsitsiz GH'larda EM kalkanlama özelliği azalmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitsiz karo malzemeler daha az kalkanlama davranış göstermiştir.

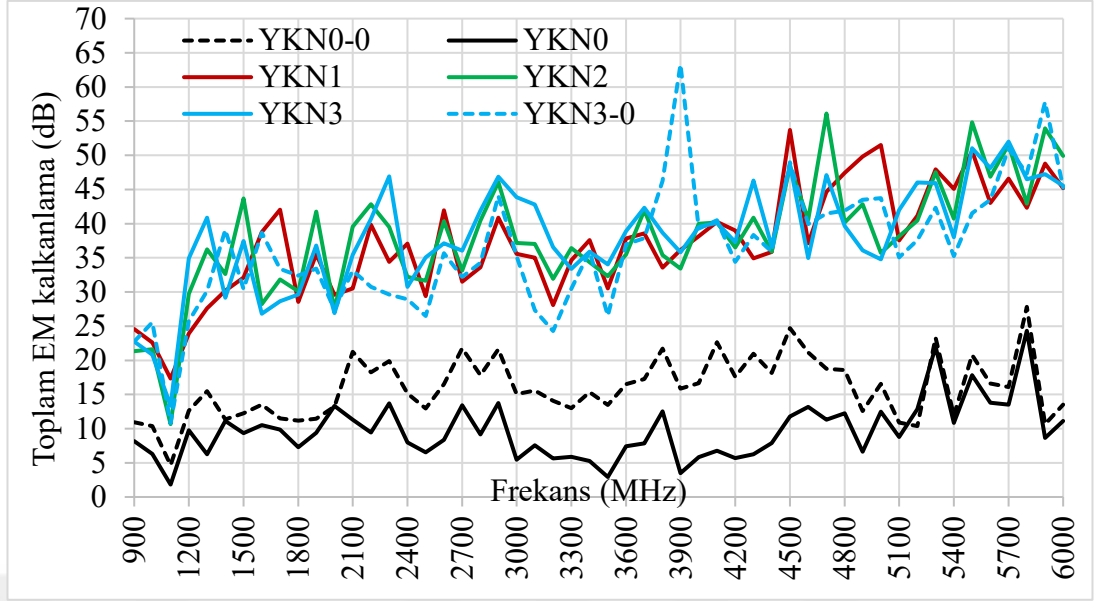


Şekil 4.24. Bazalt lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği.

Şekil 4.24'e göre, en yüksek EM kalkanlama YBN0-0 karoda 5800 MHz frekansta 27,82 dB olarak gerçekleşmiştir. En düşük EM kalkanlama ise YBN2 karoda 1100 MHz frekansta 1,01 dB olarak gerçekleşmiştir.

Bazalt lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM kalkanlama özelliği artmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM kalkanlama özelliğini azaltmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitli karo malzemeler daha az kalkanlama davranış göstermiştir.



Şekil 4.25. Karbon lifle güçlendirilmiş YBT esaslı GH'lerin toplam EM kalkanlama grafiği.

Şekil 4.25'e göre, en yüksek EM kalkanlama YKN3-0 karoda 3900 MHz frekansta 63,3 dB olarak gerçekleşmiştir. En düşük EM kalkanlama ise YKN0 karoda 1100 MHz frekansta 1,82 dB olarak gerçekleşmiştir.

Karbon lif oranı arttıkça karo malzemelerin EM kalkanlama özelliği artmıştır.

Kalsit bileşeni karo malzemelerin EM kalkanlama özelliğini azaltmıştır. Özellikle 1100 MHz frekansında kalsitli karo malzemeler daha az kalkanlama davranış göstermiştir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Bu çalışmada bazalt ve karbon lifle güçlendirilmiş mikronize kalsitli ve kalsitsiz yeşil ve beyaz tuf esaslı geopolimer kompozitlerin taze halde yayılma ve katılaşma süreleri, sertleşmiş halde birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları, boy değişimleri ve EM özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Yayılma deney sonuçlarına göre tüm lifler yayılmayı olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla lifli kompozitlerin işlenebilirliği azalmıştır. Bazalt lifle güçlendirilmiş GH, karbon lifle güçlendirilmiş GH'a göre önemli oranda işlenebilir bir yapı sergilemiştir.

Lif türü ve oranı priz süresini etkilememiştir.

Uzun süreçte bazalt lifler GH'lerin eğilme ve basınç dayanımının azalmasına sebep olmuştur. Karbon lifler eğilme ve basınç dayanımlarını en az %25 oranda artırmıştır. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımı/basınç dayanımı arasındaki oran azalmıştır. Dolayısıyla GH'ler lif oranı arttıkça daha esnek davranış göstermiştir. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek eğilme dayanımları sırasıyla 28,46 MPa ve 14,32 MPa olmuştur. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek basınç dayanımları sırasıyla 29,06 MPa ve 15,77 MPa olmuştur.

BBT ve YBT'lerin BHA'ları aralarında bir fark oluşmamıştır. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek BHA sırasıyla 1,79 kg/dm<sup>3</sup> ve 1,81 kg/dm<sup>3</sup> olmuştur. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en düşük BHA sırasıyla 1,6 kg/dm<sup>3</sup> 1,61 kg/dm<sup>3</sup> olmuştur.

Tuf yapısının değişmesi su emme oranlarını etkilememiştir. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek su emme oranı sırasıyla %38,48 ve %36,12 olmuştur. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en düşük su emme oranı sırasıyla %19,91 ve %21,04 olmuştur.

Tüf yapısının değışmesi büzölme oranlarını etkilemiştir. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek büzölme oranı sırasıyla %3,6 ve %1,66 olmuştur. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en düşük büzölme oranı sırasıyla %0,06 ve %0,15 olmuştur.

BBT ve YBT esaslı GH'lerin en yüksek kalkanlama sırasıyla 56,6 dB ve 63,3 dB olmuştur. BBT ve YBT esaslı GH'lerin en düşük kalkanlama sırasıyla 2,4 dB ve 1,01 dB olmuştur.



## KAYNAKLAR

- 1 Kara, Gülnihal vd. “Çimento Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları”.*Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(2): 87–90 (2018).
- 2 Özcan, F., “Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini”, *Doktorxa Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2005).
- 3 Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M. ve Uyan, M., “Her Yönüyle Beton”, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, Ankara, Türkiye, (2004).
- 4 A. O. Purdon, “The Action Of Alkalis On Blast-Furnace Slag,” *J. Soc. Chem. Ind.*, vol. 59, no. 9, pp. 191–202 (1940).
- 5 V. D. Glukhovsky, “Ancient, Modern and Future Concretes,” *in Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, pp. 1–9 (1994).
- 6 J. Zhang, C. Shi, and Z. Zhang, “Chloride Binding of Alkali-Activated Slag/Fly Ash Cements,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 226, pp. 21–31, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.281> (2019).
- 7 A. Fernández-Jiménez and A. Palomo, “Characterisation of Fly Ashes, Potential Reactivity as Alkaline Cements”, *Fuel*, vol. 82, no. 18, pp. 2259–2265, doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00194-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00194-7) (2003).
- 8 J. P. Gevaudan, K. M. Campbell, T. J. Kane, R. K. Shoemaker, and W. V Srubar, “Mineralization Dynamics of Metakaolin-Based Alkali-Activated Cements,” *Cem Concr. Res.*, vol. 94, pp. 1–12, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.01.001> (2017).
- 9 I. Tekin, “Properties of NaOH Activated Geopolymer With Marble, Travertine and Volcanic Tuff Wastes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 607–617, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.038> (2016).
- 10 I. Tekin, O. Gencel, A. Gholampour, O. H. Oren, F. Koksall, and T. Ozbakkaloglu, “Recycling Zeolitic Tuff and Marble Waste in The Production of Eco-Friendly Geopolymer Concretes,” *J. Clean. Prod.*, vol. 268, p. 122298, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122298> (2020).
- 11 H. Ye, L. Huang, and Z. Chen, “Influence of Activator Composition on The Chloride Binding Capacity of Alkali-Activated Alag,” *Cem. Concr. Compos.*,

- vol. 104, p. 103368, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103368> (2019).
- 12 E. A. Ortega, C. Cheeseman, J. Knight, and M. Loizidou, “Properties of Alkali-Activated Clinoptilolite,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 30, no. 10, pp. 1641–1646, doi:[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00331-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00331-8) (2000).
  - 13 S.-D. Wang, X.-C. Pu, K. L. Scrivener, and P. L. Pratt, “Alkali-Activated Alag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems,” *Adv. Cem. Res.*, vol. 7, no. 27, pp. 93–102, doi: 10.1680/adcr.1995.7.27.93. (1995).
  - 14 D. P. Dias and C. Thaumaturgo, “Fracture Toughness of Geopolymeric Concretes Reinforced With Basalt Fibers,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 1, pp. 49–54, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.044>. (2005).
  - 15 H. Savastano, P. G. Warden, and R. S. P. Coutts, “Potential of Alternative Fibre Cements as Building Materials For Developing Areas,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 25, no. 6, pp. 585–592, doi: 10.1016/S0958-9465(02)00071-9. (2003).
  - 16 D. P. Dias and C. Thaumaturgo, “Fracture Toughness of Geopolymeric Concretes Reinforced With Basalt Fibers,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 1, pp. 49–54, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.044>. (2005).
  - 17 H. Savastano, P. G. Warden, and R. S. P. Coutts, “Potential of Alternative Fibre Cements as Building Materials For Developing Areas,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 25, no. 6, pp. 585–592, doi: 10.1016/S0958-9465(02)00071-9. (2003).
  - 18 Tekin İ., Öksüzer N., “Farklı İnceliklere Sahip Mermer ve Bayburt Taşı Atıklarının Lif Donatılı Geopolimer Bağlayıcı Sistemlerde Kullanılması”, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2016).
  - 19 Türkkkan, A. ve Pala, K., “Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2); 11-22 (2009).
  - 20 Znaidi L., “Sol–Gel-Deposited ZnO Thin Films: A Review”, *Materials Science and Engineering B*, 174, 18–30, (2010).
  - 21 Livage J., “Sol-Gel Processes”, *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 2, 132-138, (1997).
  - 22 Brinker C.J., Scherer G.W., “Sol- Gel Science- The Physics and Chemistry of Sol- Gel Processing”, *Academic*, New York, (1989).
  - 23 Larry L. Hench and Jon K. West, “The Sol-Gel Process”, *Department of Materials Science and Engineering, Advanced Materials Research Center, University of Florida, Gainesville, Florida 32611*, Chem.Rev 90, 33-72. (1990).
  - 24 A.Mosset I., Gautier-Luneau J., Galy P., Strehlow H., Schmidt, “Sol-Gel

- Processed BaTiO<sub>3</sub>: Structural Evolution From The Gel to The Crystalline Powder”, *Journal of Non-Crystalline Solids* Volume 100, Issues 1–3, March Pages 339-344. (1988).
- 25 Mackenzie J.D., Bescher E.P., “Chemical Routes in the Synthesis of Nanomaterials Using the Sol–Gel Process”, *Acc. Chem. Res.*, 40 (9), (2007).
  - 26 Livage J., Beteille F., Roux C., et al., “Sol- Gel Synthesis Of Oxide Materials” *Acta mater.*, 46, 3, 743-750, (1998).
  - 27 Pierre A., C., “Introduction to Sol-Gel Processing”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, Dordrecht, London, (1998).
  - 28 Maruszewski K., Strek W., Jasiorowski M., et al., “Technology and Applications of Sol-Gel Materials”, *Radiation Effects & Defects in Solids*, 158, 439–450, (2003).
  - 29 <https://www.benimuhendisim.com/sol-jel-yontemi-nedir/>
  - 30 Jones, R.W., “Fundamental Principles of Sol-Gel Technology”, *Institute of Metals*, London (1989).
  - 31 Fernández-Jiménez, A., “Cementos de escorias activadas alcalinamante: influencia de las variablesy modelización del proceso”, (Ph.D. Thesis). *Universidad Autónoma De Madrid* (2000).
  - 32 Shi C., Krivenko, P. V., & Roy, D., “Alkali-activated cements and concretes”, *Taylor & Francis*, London (2006).
  - 33 Karakaya, M. Ç., Karakaya, N. ve Yavuz, F., “Geology and conditions of formation of the zeolite-bearing deposits southeast of ankara (Central Turkey)”, *Clays and Clay Minerals*, 63 (2), 85-109 (2015).
  - 34 Kong, D.L.Y., Sanjayan, J.G., “Effect of elevated temperatures on geopolymer paste”, Mortar and Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 40, No. 2, pp. 334–339 (2010).
  - 35 Jiménez, A.F., Palomo, J.G., Puertas, F., “Alkali-activated slag mortars: mechanical strength behavior”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 1313–1321 (1999).
  - 36 Duxson P., Lukey G.C., Van Deventer J.S.J., “Thermal conductivity of metakaolin geopolymers used as a first approximation for determining gel interconnectivity”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 7781-7788 (2006).
  - 37 Xu, H., Van Deventer, J. S. J., “The geopolymerisation of alumino-silicate minerals”, *International Journal of Mineral Processing*, 59, 247-266 (2000).
  - 38 Yahya, Zarina vd., “Effect of solids-to-liquids, na<sub>2</sub>sio<sub>3</sub>-to-naoh and curing temperature on the palm oil boiler ash (si + ca) geopolymerisation system”. *Materials* 8(5): 2227–42 (2015).

- 39 De Vargas, A. S., Dal Molin, D. C. C., Vilela, A. C. F., Da Silva, F. J., Pavao, B. and Veit, H., "The effects of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  molar ratio, curing temperature and  $\text{Ca}/\text{Si}$  on compressive strength, morphology and microstructure of alkali-activated fly ash-based geopolymers", *Cement & Concrete Composites*, 33: 653-660 (2011).
- 40 Pacheco – Torgal, F., Castro–Gomes, J., Jalali, S., "Alkali–Activated binders: a review part 1. historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products", *Construction And Building Materials*, Vol.22, Issue 7, 1305 – 1314 (2008).
- 41 Davidovits, J., "The need to create a new technical language for the transfer of basic scientific information", Transfer and Exploitation of Scientific and Technical Information, *Commission of the European Communities*, EUR 7716, Luxembourg (1982).
- 42 Wastiels, J., Wu, X., Faignet, S. and Patfoort, G., "Mineral polymer based on fly ash. In: Proceedings of the 9th International Conference on Solid Waste Management", *Philadelphia, PA. 8pp. Widener University*, (1993).
- 43 Davidovits, J., "Properties of geopolymer cements. in first international conference on alkaline cements and concretes", (Vol. 1, pp. 131–149) (1994).
- 44 Muhammad Olvianas, Mazaya Najmina, Bernardo S.L., Fransiskus A. K. G. P. Sutapa, Anis Nurhayati and Hi, "Study on the geopolymerization of geothermal silis", *Advanced Materials Research* Vol 1112 pp 528-532. (2015).
- 45 Singh B, Ishwarya G, Gupta M, Bhattacharyya S, "Geopolymer concrete: a review of some recent developments" *Construction and Building Materials*, 8578-90 (2015).
- 46 Bernal, S. A., & Provis, J. L. "Durability of alkali-activated materials: progress and perspectives", *Journal of the American Ceramic Society*, 97(4), 997– 1008 (2014).
- 47 Xu, H. and Van Deventer, J. S. J., "The geopolymerisation of alumino-silicate minerals", *International Journal of Mineral Processing*, 59, 247-266 [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00074-5) (2000).
- 48 Davidovits, J., "Geopolymer chemistry and applications, institute of geopolymer" *Saint–Quentin*, France (2008).
- 49 Provis, J., & van Deventer, J., "Alkali activated materials: state-of-the-art report", *RILEM TC 224-GM*. Springer, Netherlands (2013).
- 50 Davidovits J, "30 years of successes and failures in geopolymer applications". *Market Trends and Potential Breakthroughs, Geopolymer 2002 Conference, Melbourne*, Australia (2002).
- 51 Davidovits J, "Geopolymer chemistry and sustainable development", *Conference*

*Paper*, July (2005).

- 52 Palomo, A., Grutzek, M., Blanco, M., “Alkali-activated fly ashes, a cement for the future”, *Cem. Concr. Res.*, 29, s. 1323–9 (1999).
- 53 Provis, J.L., Lukey, G.C., Van Deventer, J.S.J., “Do geopolymers actually contain nanocrystalline zeolites a reexamination of existing results”, *Chem Mater*, s. 75–85 (2005).
- 54 Davidovits, J., “Geopolymers: man-made rock geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement”, *J. Mater. Educ.*, 16, s. 91–139 (1994b).
- 55 Johns, H.E. ve Cunningham, J.R., “The physics of radiology”, *C. Thomas Publishers* (1983).
- 56 Hızarcı, S., “Radyasyon kaynakları ve radyasyondan korunma”, [http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/Radyasyon\\_olcum\\_sunum.pdf](http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/Radyasyon_olcum_sunum.pdf) (2019).
- 57 <https://t24.com.tr/yazarlar/gunec-kiyak/zihindekigozumuzelektromanyetikspektrum,23526>
- 58 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Atom>
- 59 Algüneş, Ç., “Radyasyon Biyofiziği”, *1. Basım. Edirne: Trakya Üniversitesi Yayınları* No: 51, 59-62 (2002).
- 60 Özalpan, A., “Temel Radyobioloji”, *1. Basım. İstanbul: Haliç Üniversitesi Yayınları* (2001).
- 61 Unsear, “United nations scientific committee on the effect of atomic radiation”, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, United Nations, New York (2008).
- 62 Nedir, Elektromanyetik Dalga, “Elektromanyetik Uyumluluk ( EMC ) ve PCB Uygulamaları”. : 1–12 (2017).
- 63 Mohan R., Paul B., Mridula S., Mohanan P. “Measurement of soil moisture content at microwave frequencies”, *International Conference on Information and Communication Technologies* ICICT (2014).
- 64 Nelson, S. O., "Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials", *journal of food engineering*, 21 (3): 365–384 (1994).
- 65 Rocha v.d., “Cosmological simulations with self-interacting dark matter – II. Halo shapes versus observations”, Center for Cosmology, Department of Physics and Astronomy, University of California, Irvine, CA 92697-4575, USA
- 66 O.V.Tereshchenko , F. J. K. Buesink, F. B. J. Leferink, “An overview of the

techniques for measuring the dielectric properties of materials”, *Telecommunication engineering group EEMCS, University of Twente Enschede, The Netherlands*, (2011).

- 67 Ghodgaonkar, Varadan, ve Varadan, “Free-space measurement of complex permittivity and complex permeability of magnetic materials at microwave frequencies”, *387 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. VOL 39. NO 2. APRIL (1990).
- 68 Tang, S. C., Hui, S. Y. R., and Chung, H. S. H., "Evaluation of the shielding effects on printed-circuit-board transformers using ferrite plates and copper sheets", *IEEE Transactions On Power Electronics*, 17 (6): 1080–1088 (2002).
- 69 He, Y., Ao, J., Yang, J., and Tang, X., "The shielding-effectiveness based magnetic field shielding theory and its application in mobile payment systems", *2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*, 1–5 (2014).
- 70 Ağırbasar, Ö., “Dış duvar kaplama ürünlerinin seçiminde ürün bilgilerinin düzenlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bil. Enst.*, İstanbul (2006).
- 71 Brandt, A. M., “Fibre Reinforced Cement-Based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering” *Composite Structures*. 03.006 (2008).
- 72 American Concrete Institute, “Report on Fiber Reinforced Concrete. Report on Reinforced Concrete (Reapproved)”, *ACI Committee 544. Detroit*, 96, 1–66. Retrieved from [http://indiafiber.com/Files/ACI\\_report.pdf](http://indiafiber.com/Files/ACI_report.pdf) (2002).
- 73 Tokyay, M., “Cement and concrete mineral admixtures”, *CRC Press, Taylor&Francis Group* (2016).
- 74 Kırzan, D., Zivanovic, B., “Effects of dosage and modulus of water glass on early hydration of alkali–slag cements”, *Cement and Concrete Research*, 32, 1181–1188, (2002).
- 75 Palomo ,Fernandez-Jimenez, A., A., "Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: effect of the activator", *Cement and Concrete Research*, 35, 1984–1992, (2005).
- 76 Lee, N.K., Lee, H.K., "Setting and mechanical properties of alkali-activated fly ash/slag concrete manufactured at room temperature", *Construction and Building Materials*, 47, 1201–1209 (2013).
- 77 G. Kürklü, G. Görhan, “Alkali içeriğinin geopolimer cephe kaplama malzemesi özelliklerine etkisi”, *7. Ulusal Çaatı & Cephe Sepmozyumu* (2014).
- 78 Medri, V. vd., “Production and characterization of lightweight vermiculite geopolymer based panels”. *Materials and Design* 85 November 266–74.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.145>. (2015)

- 79 ÖKSÜZER, N. and TEKİN, İ., "Investigation of mechanical properties of geopolymer composite material produced with bayburt stone contained clinoptilolite" *Bayburt University Master's Thesis* (2016).
- 80 Aykut C., "Bayburt taşı atıklarının geopolimer tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması", *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (2017).
- 81 Cengiz Bagci, Gregory, P.Kutyla, Waltraud, M.Krivena," Fully reacted high strength geopolymer made with diatomite as a fumed silica alternative", *Ceramics International Volume* 43, Issue 17, 1 December Pages 14784-14790 (2017)
- 82 Şahin H., "Bayburt taşı olarak bilinen tüflerin çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (2018).
- 83 Yıldırım A. K., "Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu farklı tipteki mikro lifli harçların özelliklerinin araştırılması", *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (2019).
- 84 Ögüt R., "Bazalt Lifi kullanımının betonun mekanik özelliklerine ve korozyon dayanıklılığına etkisi", *İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi* (2020).
- 85 Vlasceanu, I.N. vd., "Geopolymer as dielectric materials for ultra-wideband antenna applications: Impact of Magnetite Addition and Humidity". *Open Ceramics*: 100013. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2020.100013>. (2020)
- 86 Lee, Han Seung vd., "Electromagnetic shielding performance of carbon black mixed concrete with zn-al metal thermal spray coating". *Materials* 13(4) (2020).
- 87 Dirikolu İ., Tekin İ., "Volkanik tüf esaslı alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcıların fiziksel ve mekanik özellikler", *Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2019).
- 88 Ahmed I., Tekin İ., "Electromagnetic Radiation Properties Of Cementless Alkali Activated Materials Reinforced With Polypropylene And Steel Fibers", *Master Thesis, Karabük Üniversitesi, Institute of Graduate Programs*, (2021).
- 89 Hayat M., Tekin İ., "Zeolitik Tüf İçerikli Jeoplimer Kaplama Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İyileştirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2022).
- 90 Tekin İ. "Properties Of Naoh Activated Geopolymer With Marble, Travertine And Volcanic Tuff Wastes", *Construction and Building Materials*, (2016)
- 91 Ekini E., Türkmen İ., "Volkanik Tüf Kullanılarak Üretilen Geopolimer

- Betonların Bazı Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”, **Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, (2017).
- 92 Pehlivan H., “Sodyum Hidroksit ile Aktive Edilmiş Farklı Volkanik Orijinli Kayaç Esaslı Geopolimer Harçların Mekanik Özellikleri” **Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed and Refereed** (2023).
- 93 Pehlivan H., “Nano Silis Katkılı Trakitik Tüf Esaslı Geopolimer Harçların Farklı Kür Ortamlarında Özelliklerinin İncelenmesi” **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi** (2023).
- 94 Çam T., Öztürk Z.B., “Nevşehir Taşı Kesim Atığının Geopolimer Üretiminde Geri Dönüşümünün Araştırılması”, **Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2022).
- 95 ASTM C1437, “Standard test method for flow of hydraulic cement mortar”, **ASTM International** (2013).
- 96 Önenç, D.İ., Altınbaş, A.F., Erkanol, D., Tulukçu, A., "Bayburt taşı ve doğal taş potansiyeli, maden jeolojisi raporu", **Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü**, Ankara, 155 s (2005).
- 97 B. Ta, B. Valili, ve B. Ta, “Bayburt İli Maden ve Enerji Kaynakları” (2005).
- 98 Arslan, M., Aslan, Z., & Abdurrahman, D., "Bayburt Tüflerinin petrografik, petrokimyasal ve petrolojik özellikleri: doğu pontid güney zonu'nda kalkalkalen felsik volkanizması", **S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 20(1), 50,53,56 (2005).
- 99 Kudaka, "T. C. Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı TRA1 Düzey 2 Bölgesi Doğaltaş Ve Maden Potansiyeli Raporu", Ankara (2014).
- 100 Yılmaz, F., "Tüfit Taşların zemin stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanılabilirliğinin standart deneyler ve bilgisayarlı tomografi tekniği ile araştırılması, **Doktora Tezi**, Tez No. 397321 (2015).
- 111 Özdemir K.S. ve Özdemir E., "Delikli nano CaCO<sub>3</sub> üretimi", **3. Sanayi Şurası**, Ankara (2013).
- 112 Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu", **Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I Çalışma Grubu Raporu**, Ankara (2001).
- 113 Karabük İli Çevresel Durum Raporu, **Korarlan**, (2010).
- 114 <https://www.dostkimya.com.tr/tr/urunler/elyaf-katkilar/bazalt-elyaf-kirpilmis>
- 115 <https://www.dostkimya.com.tr/tr/urunler/elyaf-katkilar/karbon-elyaf-kirpilmis>

- 116 TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları, ICS 91.100.10 Mart (2002).
- 117 ASTM C209, Standart Test Methods for Cellulosic Fiber İnsulating Board
- 118 ASTM C1437, Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, ASTM International (2013).
- 119 TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları, ICS 91.100.10 Mart (2002).
- 120 TS EN 1097, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, ANKARA: TSE (2002).
- 121 ASTM C596-18, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2018).
- 122 ASTM C596-18, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2018).

## EK AÇIKLAMALAR A

### Absorblama ve Yansıma Sonuçları

Çizelge A.1. BBN serisi EMF deney sonuçları

| MHz  | Referans |        | BBN0-0 |       | BBN0  |       | BBN1  |       |
|------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.  | Yans. | İlt.  | Yans. |
| 900  | -19,85   | -24,26 | -0,3   | -1,05 | -3,42 | 0,19  | -6,49 | 1,04  |
| 1000 | -29,74   | -31,19 | 2,83   | 0,28  | 0,61  | 1,04  | -6,18 | 3,13  |
| 1100 | -23,6    | -22,68 | 2,83   | -1,79 | 0,29  | -1,97 | -1,76 | -1,8  |
| 1200 | -16,38   | -32,69 | -7,72  | 15,08 | -9,89 | 14,95 | -3,86 | 1,42  |
| 1300 | -23,7    | -20,64 | 4,38   | -6,59 | 1,03  | -7,45 | -4,99 | -7,3  |
| 1400 | -19,42   | -24,21 | 0,86   | 0,35  | -2,08 | 0,91  | -7,25 | -0,3  |
| 1500 | -18,87   | -22,25 | -2,04  | -1,56 | -4,31 | -1,83 | -8,07 | 2,1   |
| 1600 | -19,55   | -20,18 | -2,72  | -0,7  | -5,58 | -0,44 | -9,56 | 1,96  |
| 1700 | -18,97   | -29,27 | 0,87   | 6,86  | -1,71 | 6,48  | -6,79 | 7,71  |
| 1800 | -20,57   | -22,99 | 0,62   | -1,23 | -1,8  | -0,98 | -6,16 | 2,66  |
| 1900 | -19,02   | -22,96 | 0,09   | 1,45  | -2,54 | 1,92  | -6,5  | 1,18  |
| 2000 | -18,02   | -25,1  | -2,81  | 5,21  | -5,28 | 5,79  | -9,3  | 4,91  |
| 2100 | -20,11   | -26,71 | -4,08  | 3,67  | -6,44 | 3,87  | -9,38 | 3,4   |
| 2200 | -21,96   | -30,78 | -1,96  | 5,24  | -3,8  | 6,1   | -10,4 | 3,33  |
| 2300 | -20,81   | -26,66 | -4,18  | 4,29  | -6,57 | 4,74  | -10,2 | -0,2  |
| 2400 | -22,68   | -27,14 | 1,21   | -0,33 | -1,67 | 0,74  | -5,49 | -2,3  |
| 2500 | -17,27   | -23,65 | -4,4   | 2,89  | -6,02 | 3,42  | -7,41 | 0,97  |
| 2600 | -24,41   | -31,16 | 0,03   | 0,12  | -2,14 | 1,24  | -8,94 | 3,56  |
| 2700 | -24,38   | -31,12 | 2,53   | -1,48 | 0,18  | -0,01 | -6,51 | -1,1  |
| 2800 | -27,69   | -32,55 | 1,66   | -0,87 | -0,57 | 0,6   | -3,62 | 0,75  |
| 2900 | -24,89   | -41,18 | 1,29   | 6,99  | -1,23 | 9,13  | -7,16 | 10,4  |
| 3000 | -26,29   | -37,03 | 1,9    | 1,95  | -0,17 | 3,06  | -5,9  | 1,46  |
| 3100 | -22,12   | -37,56 | -1,88  | 6,37  | -6,79 | 8,55  | -6,4  | 7,99  |
| 3200 | -23,43   | -32,17 | -3     | -0,77 | -5,77 | 0,26  | -7,2  | 1,99  |
| 3300 | -23      | -39,27 | -0,35  | 4,61  | -3,2  | 7,79  | -5,85 | 9,18  |
| 3400 | -24,1    | -31,22 | 0,34   | -3,28 | -2,66 | -2,29 | -5,81 | 0,89  |
| 3500 | -27,76   | -34,7  | 0,57   | -5,93 | -2,48 | -5,79 | -2,84 | 3,7   |
| 3600 | -33,69   | -39,27 | -1,06  | -4,83 | -3,92 | -7,48 | -4,94 | -0,2  |
| 3700 | -23,27   | -30,2  | -1,32  | -6,75 | -3,71 | -11,8 | -5,86 | 1,98  |
| 3800 | -24,87   | -31,9  | -1,32  | -4,93 | -3,66 | -12,5 | -5,51 | 5,38  |
| 3900 | -26,72   | -48,69 | -1,56  | 4,05  | -4,88 | -0,25 | -3,51 | 19,5  |
| 4000 | -23,28   | -29,35 | -5,11  | -4,55 | -8,43 | -10,1 | -7,61 | 2,01  |
| 4100 | -23,74   | -35,2  | -2,06  | -5,68 | -4,68 | -21,6 | -7,14 | 8,31  |
| 4200 | -25,66   | -35,17 | -1,71  | -2,64 | -4,69 | -9    | -5,62 | 6,33  |
| 4300 | -24,18   | -32,88 | -3,96  | -2,65 | -7,14 | -10,6 | -5,7  | 4,51  |

| MHz  | Referans |        | BBN0-0 |        | BBN0   |       | BBN1   |       |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 4400 | -23,24   | -30,28 | -3,97  | -3,61  | -6,81  | -10,4 | -7,63  | 1,37  |
| 4500 | -24,41   | -33,9  | -1,43  | -3,07  | -3,72  | -8,03 | -7,02  | 5,18  |
| 4600 | -25,27   | -37,68 | -1,04  | -0,84  | -3,79  | -8,43 | -6,38  | 7,49  |
| 4700 | -25,28   | -36,66 | -4,95  | 1,12   | -7,43  | -5,59 | -6,9   | 5,28  |
| 4800 | -25,17   | -39,9  | -1,09  | 1,68   | -3,98  | -5,86 | -7,37  | 10,2  |
| 4900 | -29,03   | -38,48 | 1,38   | -0,54  | -1,63  | -5,59 | -6,1   | 8,23  |
| 5000 | -25,78   | -35,8  | -2,42  | -3,44  | -5,47  | -7,57 | -7,03  | 3,94  |
| 5100 | -24,11   | -41,6  | -2,31  | -0,63  | -5,15  | -4,02 | -7,13  | 9,8   |
| 5200 | -27,62   | -33,48 | 0,99   | -7,76  | -2,4   | -11,1 | -5,87  | 3,18  |
| 5300 | -29,2    | -34,94 | -1,98  | -7,01  | -5,53  | -8,88 | -6,95  | 1,6   |
| 5400 | -25,41   | -38,78 | -3,16  | -0,18  | -6,48  | -4,52 | -6,59  | 6,95  |
| 5500 | -28,92   | -33,5  | 1,21   | -6,32  | -2,09  | -12   | -6,64  | 3,06  |
| 5600 | -28,44   | -34,94 | 1,81   | -10,92 | -2,66  | -17   | -6,38  | 3,74  |
| 5700 | -28,66   | -42,95 | -1,46  | -1,87  | -6,41  | -8,02 | -7,47  | 8,89  |
| 5800 | -26,04   | -39,34 | -1,91  | -5,16  | -6,8   | -10,6 | -8,12  | 4,27  |
| 5900 | -31,89   | -43,24 | 3,8    | -1,16  | -1,27  | -3,97 | -5,19  | 10,3  |
| 6000 | -32,23   | -51,15 | 0,24   | 5,45   | -4,88  | 1,65  | -7,33  | 17,4  |
| MHz  | Referans |        | BBN2   |        | BBN3   |       | BBN3-0 |       |
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 900  | -19,85   | -24,26 | -7,18  | 2,11   | -7,56  | 2,54  | -4,51  | -5,58 |
| 1000 | -29,74   | -31,19 | -7,46  | 2,76   | -8,67  | 3,36  | -3,27  | 4,99  |
| 1100 | -23,6    | -22,68 | -2,61  | -2,28  | -2,89  | -2,43 | 1,81   | 0,54  |
| 1200 | -16,38   | -32,69 | -5,74  | 0,71   | -5,65  | 1,01  | -2,57  | -9,76 |
| 1300 | -23,7    | -20,64 | -5,23  | -9,12  | -5,91  | -9,29 | -2,61  | -3,68 |
| 1400 | -19,42   | -24,21 | -8,8   | -0,24  | -9,58  | -0,36 | -5,56  | 1,4   |
| 1500 | -18,87   | -22,25 | -9,18  | 1,86   | -9,26  | 1,45  | -5,26  | 5,98  |
| 1600 | -19,55   | -20,18 | -10,77 | 0,57   | -11,21 | 0,48  | -6,19  | 2,68  |
| 1700 | -18,97   | -29,27 | -7,18  | 7,9    | -7,79  | 7,74  | -4,76  | 3,72  |
| 1800 | -20,57   | -22,99 | -7,13  | 1,25   | -7,38  | 1,06  | -4,61  | 3,95  |
| 1900 | -19,02   | -22,96 | -7,58  | -0,38  | -8,14  | -0,81 | -4,78  | 0     |
| 2000 | -18,02   | -25,1  | -10,15 | 3,91   | -10,85 | 3,6   | -7,15  | 0,64  |
| 2100 | -20,11   | -26,71 | -10,43 | 0,81   | -10,74 | -0,57 | -7,91  | -0,86 |
| 2200 | -21,96   | -30,78 | -11,14 | 1,77   | -12,21 | 0,63  | -8,67  | -4,47 |
| 2300 | -20,81   | -26,66 | -10,93 | -4,42  | -11,77 | -5,78 | -7,93  | -4,05 |
| 2400 | -22,68   | -27,14 | -6,14  | -6,32  | -7,25  | -8,52 | -4,33  | -9,13 |
| 2500 | -17,27   | -23,65 | -6,63  | -3,06  | -7,99  | -5,56 | -4,78  | -4,75 |
| 2600 | -24,41   | -31,16 | -8,59  | -1,94  | -10,06 | -4,36 | -5,93  | -4,07 |
| 2700 | -24,38   | -31,12 | -6,88  | -4,93  | -7,95  | -8,96 | -4,86  | -3,33 |
| 2800 | -27,69   | -32,55 | -4,27  | -3,45  | -6,66  | -6,03 | -3,1   | -9,79 |
| 2900 | -24,89   | -41,18 | -6,79  | 8,52   | -9,41  | 5,65  | -5,14  | -4,34 |
| 3000 | -26,29   | -37,03 | -7,03  | 2,74   | -9,16  | 0,71  | -3,12  | -5,74 |
| 3100 | -22,12   | -37,56 | -6,5   | 7,68   | -8,6   | 6,74  | -4,67  | -7,58 |
| 3200 | -23,43   | -32,17 | -7,22  | 2,18   | -9,74  | 1,29  | -4,46  | -6,59 |
| 3300 | -23      | -39,27 | -6,22  | 9,66   | -8,73  | 9,57  | -3,34  | -7,01 |
| 3400 | -24,1    | -31,22 | -6,45  | 2,1    | -9,39  | 1,31  | -4,09  | -6,16 |
| 3500 | -27,76   | -34,7  | -3,81  | 4,5    | -7,34  | 4,47  | -1,42  | -5,39 |
| 3600 | -33,69   | -39,27 | -5,67  | -0,59  | -8,84  | -0,87 | -4,62  | -4,38 |
| 3700 | -23,27   | -30,2  | -7,6   | 1,67   | -10,63 | 1,47  | -4,5   | -4,97 |

| MHz  | Referans |        | BBN2  |       | BBN3   |       | BBN3-0 |       |
|------|----------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.  | Yans. | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 3800 | -24,87   | -31,9  | -7,55 | 4,46  | -10,28 | 4,61  | -5,32  | -3,94 |
| 3900 | -26,72   | -48,69 | -5,56 | 18,76 | -8,4   | 19,27 | -3,46  | -6,74 |
| 4000 | -23,28   | -29,35 | -8,73 | 0,95  | -20,43 | 2,12  | -6,58  | -7,02 |
| 4100 | -23,74   | -35,2  | -9,59 | 8,04  | -11,8  | 8,49  | -4,73  | -4,02 |
| 4200 | -25,66   | -35,17 | -7,61 | 6,59  | -10,03 | 7,27  | -4,13  | -6,94 |
| 4300 | -24,18   | -32,88 | -7,83 | 5,61  | -10,37 | 6,24  | -4     | -5,73 |

Çizelge A.2. YBN serisi EMF deney sonuçları.

| MHz  | Referans |        | YBN0-0 |       | YBN0   |       | YBN1  |       |
|------|----------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. | İlt.  | Yans. |
| 900  | -20,53   | -23,54 | -9,66  | 1,29  | -6,41  | -1,75 | -4,45 | -1,61 |
| 1000 | -31,76   | -29,2  | -9,98  | -0,39 | -3,88  | 2,41  | -4,05 | 2,49  |
| 1100 | -27,22   | -19,98 | -1,97  | -2,69 | 0,69   | 1,13  | 0,7   | -2    |
| 1200 | -17,11   | -33,14 | -8,24  | 4,4   | -2,63  | 7,14  | -2,97 | 3,53  |
| 1300 | -24,08   | -21,17 | -7,86  | -7,6  | -3,36  | -2,87 | -3,64 | -9,39 |
| 1400 | -20,97   | -24,23 | -11,13 | -0,21 | -7,38  | 3,74  | -7,21 | -0,75 |
| 1500 | -21,39   | -23,04 | -9,2   | 3,04  | -5,68  | 3,68  | -6,3  | 5,62  |
| 1600 | -20,39   | -20,94 | -12,79 | -0,72 | -7,7   | 2,82  | -6,86 | -1,15 |
| 1700 | -20,27   | -23,79 | -9,55  | 1,95  | -6,36  | 3,49  | -5,76 | 3,34  |
| 1800 | -22,41   | -24,09 | -9,28  | -1,89 | -5,76  | 1,54  | -5,44 | 0,26  |
| 1900 | -20,92   | -23,47 | -10,01 | -1,45 | -6,94  | 2,43  | -5,64 | -1,17 |
| 2000 | -19,6    | -25,66 | -12,58 | 0,67  | -8,93  | 4,38  | -7,63 | 4,52  |
| 2100 | -21,63   | -25,09 | -12,79 | -8,43 | -10,22 | -1,1  | -9,39 | -2,4  |
| 2200 | -22,88   | -28,97 | -13,18 | -5,08 | -8,6   | 0,82  | -9,84 | -3,81 |
| 2300 | -21,06   | -34    | -12,8  | 7,07  | -7,18  | 6,52  | -8,49 | 5,24  |
| 2400 | -22,32   | -32,11 | -8,35  | 6,8   | -4,22  | 3,78  | -5,35 | 4,28  |
| 2500 | -17,22   | -25,43 | -9,26  | 3,7   | -5,16  | 1,38  | -5,89 | 2,43  |
| 2600 | -24,12   | -31,72 | -11,63 | 4,86  | -6,62  | 1,74  | -7,31 | 5,31  |
| 2700 | -23,32   | -35,06 | -9,84  | 11,9  | -5,22  | 8,21  | -6,24 | 7,96  |
| 2800 | -26,19   | -34,68 | -8,65  | 9,19  | -3,52  | 5,65  | -4,99 | 8,68  |
| 2900 | -23,8    | -33,65 | -11,35 | 10,29 | -5,98  | 7,79  | -6,48 | 6,66  |
| 3000 | -25,46   | -28,94 | -10,31 | 4,77  | -4,62  | 0,82  | -5,24 | 3,97  |
| 3100 | -21,34   | -28,28 | -10,21 | 5,35  | -5,62  | 1,94  | -5,85 | 6,46  |
| 3200 | -22,94   | -28,12 | -10,32 | 3,77  | -5,02  | -0,64 | -5,87 | 4,88  |
| 3300 | -21,65   | -26,94 | -9,16  | 3,84  | -4     | -1,88 | -4,67 | 4,73  |
| 3400 | -23,03   | -28,53 | -10,23 | 5,13  | -4,13  | 1,14  | -5,49 | 7,58  |
| 3500 | -26,18   | -30,83 | -7,73  | 5,73  | -1,85  | 1,07  | -2,74 | 6,6   |
| 3600 | -33,08   | -40,45 | -10,77 | 5,73  | -4,9   | 2,5   | -6,91 | 4,93  |
| 3700 | -23,38   | -31,52 | -10,7  | 6,57  | -4,51  | 3,34  | -5,81 | 7,09  |
| 3800 | -24,85   | -35,57 | -11,35 | 10,34 | -4,88  | 7,65  | -6,16 | 11,24 |
| 3900 | -25,96   | -34,95 | -8,47  | 7,38  | -2,74  | 0,74  | -3,91 | 11,7  |
| 4000 | -23,28   | -32,67 | -11,59 | 5,06  | -5,2   | -0,63 | -7,29 | 3,44  |

| MHz  | Referans |        | YBN0-0 |       | YBN0   |       | YBN1   |       |
|------|----------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 4100 | -23,54   | -38,43 | -11,46 | 11,17 | -4,48  | 2,27  | -5,72  | 7,86  |
| 4200 | -25,15   | -37,2  | -10,36 | 7,23  | -4,75  | -0,94 | -4,89  | 5,65  |
| 4300 | -23,87   | -38,9  | -11,19 | 9,78  | -4,67  | 1,56  | -5,72  | 6,35  |
| 4400 | -22,19   | -35,37 | -12,59 | 5,54  | -6,57  | -1,32 | -6,3   | 6,46  |
| 4500 | -23,95   | -41,79 | -12,5  | 12,2  | -6,34  | 5,42  | -5,75  | 11,81 |
| 4600 | -24,46   | -42,66 | -11,11 | 10,03 | -5,24  | 7,96  | -4,9   | 10,22 |
| 4700 | -24,47   | -41,13 | -12,29 | 6,48  | -6,17  | 5,13  | -5,84  | 5,25  |
| 4800 | -24,3    | -39,38 | -12,2  | 6,37  | -5,86  | 6,38  | -5,09  | 3,55  |
| 4900 | -28,13   | -35,36 | -9,29  | 3,28  | -3,32  | 3,31  | -4,13  | 4,46  |
| 5000 | -24,69   | -40,54 | -12,54 | 4,04  | -7,06  | 5,43  | -5,86  | 0,21  |
| 5100 | -23,24   | -36,57 | -10,82 | 0,07  | -5,99  | 2,81  | -4,68  | -1,17 |
| 5200 | -26,93   | -36,65 | -9,86  | 0,53  | -5,17  | 7,7   | -5,27  | -1,16 |
| 5300 | -28,69   | -50,67 | -11,25 | 12,06 | -6,79  | 15,21 | -5,42  | 1,49  |
| 5400 | -24,09   | -37,63 | -11,86 | 0,07  | -5,66  | 5,17  | -5,87  | -0,02 |
| 5500 | -28,04   | -43,49 | -11,45 | 9,32  | -5,89  | 11,93 | -6,26  | 0,61  |
| 5600 | -27,55   | -40,93 | -11,18 | 5,44  | -6,12  | 7,66  | -5,66  | 1,49  |
| 5700 | -26,37   | -38,48 | -14,34 | 1,74  | -7,84  | 5,65  | -6,81  | 1,94  |
| 5800 | -25,32   | -50,61 | -12,61 | 15,21 | -7,48  | 16,84 | -6,04  | 4,94  |
| 5900 | -30,9    | -37,12 | -9,67  | 0,97  | -4,33  | 4,32  | -6,3   | -1,14 |
| 6000 | -29,97   | -38,25 | -12,87 | 0,63  | -6,68  | 4,44  | -6,78  | -3,28 |
| MHz  | Referans |        | YBN2   |       | YBN3   |       | YBN3-0 |       |
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 900  | -19,03   | -19,84 | -5,42  | -1,09 | -5,2   | -0,97 | -8,75  | -0,41 |
| 1000 | -32,12   | -29,89 | -4,24  | 3,57  | -4,67  | 2,79  | -7     | 3,15  |
| 1100 | -23,6    | -19,38 | 0,16   | -0,85 | 0,55   | -1,83 | -2,35  | 0,31  |
| 1200 | -15,75   | -31,96 | -3,6   | 5,21  | -3,78  | 4,35  | -4,85  | 6,38  |
| 1300 | -21,21   | -21,35 | -4,93  | -7,59 | -4,36  | -8,76 | -7,32  | -7,03 |
| 1400 | -18,22   | -23,32 | -8,9   | -0,06 | -8,09  | -0,43 | -10,33 | 0,91  |
| 1500 | -19,35   | -22,8  | -6,98  | 5,53  | -6,54  | 5,29  | -8,22  | 5,26  |
| 1600 | -18,94   | -18,47 | -7,95  | -0,28 | -7,66  | -0,84 | -10,2  | -0,06 |
| 1700 | -17,47   | -23,06 | -6,88  | 3,69  | -6,39  | 3,37  | -8,67  | 3,9   |
| 1800 | -20,21   | -23,5  | -6,25  | 0,63  | -5,95  | -0,09 | -8,29  | 1,22  |
| 1900 | -19,35   | -21,48 | -6,85  | -0,77 | -6,42  | -1,42 | -9,22  | 1     |
| 2000 | -18,06   | -26,25 | -9,15  | 4,91  | -8,91  | 4,44  | -10,83 | 5,94  |
| 2100 | -19,15   | -26,8  | -10,24 | -2,25 | -9,96  | -2,17 | -12,89 | -0,48 |
| 2200 | -20,66   | -27,71 | -10,67 | -4,24 | -10,53 | -4,49 | -12,42 | -1,84 |
| 2300 | -18,98   | -31,48 | -8,94  | 5,18  | -8,31  | 5,75  | -10,35 | 5,66  |
| 2400 | -18,91   | -31,16 | -6,59  | 4,09  | -5,38  | 5,36  | -8,57  | 4,79  |
| 2500 | -17,75   | -23,65 | -6,14  | 2,38  | -5     | 3,22  | -7,45  | 2,63  |
| 2600 | -23,34   | -31,44 | -7,98  | 4,86  | -7,32  | 5,9   | -10,07 | 6,01  |
| 2700 | -22,16   | -30,4  | -6,96  | 7,3   | -6,25  | 8,21  | -9,31  | 7,68  |
| 2800 | -25,39   | -35,04 | -6,02  | 7,78  | -4,78  | 8,56  | -7,75  | 8,28  |
| 2900 | -23,24   | -29,37 | -6,98  | 5,86  | -6,56  | 6,37  | -10,22 | 6,66  |

| MHz  | Referans |        | YBN2  |       | YBN3  |       | YBN3-0 |       |
|------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|      | İlt.     | Yans.  | İlt.  | Yans. | İlt.  | Yans. | İlt.   | Yans. |
| 3000 | -25,02   | -27,01 | -6,29 | 2,73  | -5,59 | 3,73  | -9,37  | 3,02  |
| 3100 | -20,67   | -29,08 | -6,97 | 5,47  | -6,06 | 6,28  | -9,76  | 5,58  |
| 3200 | -22,56   | -28,07 | -6,39 | 3,61  | -5,84 | 4,56  | -8,96  | 3,57  |
| 3300 | -21,68   | -28,09 | -6,02 | 3,77  | -5,09 | 4,52  | -8,74  | 3,93  |
| 3400 | -22,26   | -31,13 | -6,49 | 6,24  | -6,06 | 7,25  | -8,76  | 6,74  |
| 3500 | -25,64   | -32,3  | -4,36 | 4,67  | -3,2  | 5,76  | -6,34  | 5,87  |
| 3600 | -32,65   | -39,01 | -7,8  | 3,03  | -7,06 | 3,81  | -11,09 | 4,45  |
| 3700 | -21,79   | -31,65 | -6,74 | 5,87  | -5,71 | 6,24  | -9,31  | 6,96  |
| 3800 | -22,52   | -36,53 | -7    | 9,91  | -6,02 | 10,11 | -9,33  | 10,57 |
| 3900 | -24,12   | -39,47 | -5,6  | 9,94  | -4,34 | 9,93  | -7,18  | 11,34 |
| 4000 | -22,68   | -29,75 | -8,11 | 2,48  | -7,37 | 2,22  | -10,78 | 3,16  |
| 4100 | -20,61   | -35,23 | -6,71 | 6,59  | -5,86 | 6,23  | -9,05  | 6,95  |
| 4200 | -23,46   | -36,85 | -6,28 | 5,84  | -5,56 | 4,79  | -8,36  | 5,9   |
| 4300 | -23,12   | -35,84 | -7,35 | 6,22  | -6,49 | 5,29  | -9,74  | 7,32  |
| 4400 | -22,13   | -36,05 | -7,74 | 6,47  | -6,6  | 5,68  | -9,64  | 6,93  |
| 4500 | -21,64   | -45,55 | -7,26 | 13,1  | -6,19 | 11,39 | -8,94  | 13,77 |
| 4600 | -22,9    | -46,36 | -7,19 | 13,61 | -6,15 | 10,76 | -8,76  | 13,27 |
| 4700 | -25,68   | -39,99 | -7,68 | 7,45  | -6,26 | 5,31  | -9,76  | 7,96  |
| 4800 | -22,67   | -38,99 | -7,13 | 7,92  | -5,67 | 5,23  | -8,08  | 6,8   |
| 4900 | -25,14   | -42,22 | -6,44 | 8,78  | -5,09 | 7,02  | -6,66  | 8,6   |
| 5000 | -23,94   | -38,11 | -8,36 | 3,81  | -6,8  | 1,5   | -10,45 | 3,01  |
| 5100 | -23,78   | -38,12 | -7    | 3,95  | -5,99 | 2,35  | -8,15  | 3,46  |
| 5200 | -23,8    | -41,5  | -7,84 | 6,42  | -6,52 | 4,01  | -9,13  | 7,49  |
| 5300 | -26,88   | -45,58 | -7,98 | 6,98  | -6,65 | 5,63  | -9,94  | 7,79  |
| 5400 | -24,27   | -39,4  | -8,5  | 5,82  | -7,53 | 4     | -10,05 | 6,09  |
| 5500 | -24,17   | -39,92 | -8,58 | 4,67  | -7,55 | 3,31  | -9,77  | 5,04  |
| 5600 | -27,55   | -40,93 | -7,81 | 4,68  | -6,54 | 3,98  | -9,66  | 4,75  |
| 5700 | -26,37   | -38,48 | -9,01 | 6,72  | -8,09 | 5,45  | -10,25 | 6,88  |
| 5800 | -25,32   | -50,61 | -8,36 | 9,01  | -6,97 | 8,15  | -9,62  | 9,09  |
| 5900 | -30,9    | -37,12 | -7,86 | 1,85  | -6,48 | 2,05  | -8,96  | 1,28  |
| 6000 | -29,97   | -38,25 | -8,78 | 0,18  | -7,93 | -0,66 | -10,18 | 1,78  |

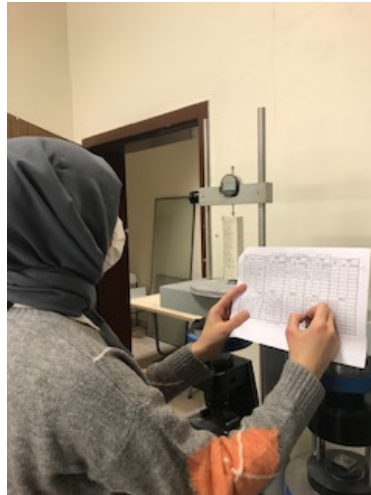
## EK AÇIKLAMALAR B



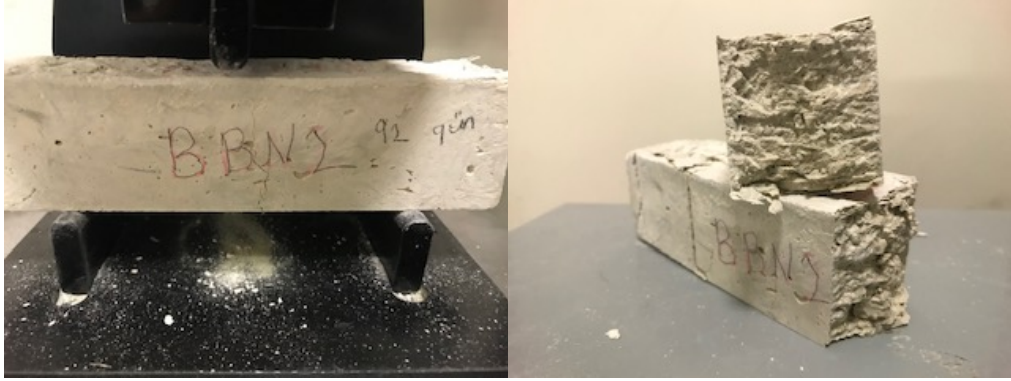
Şekil B.1. Mikser



Şekil B.2. YKN1, BKN1, YKN2, BKN2, YKN3 ve BKN3 kaplama malzemeleri.



Şekil B.3. Büzülme deneyi



Şekil B.4. BBN2 90 günlük eğilme ve basınç deneyi



Şekil B.5. YBN1, YBN2, YBN3 ve YBN3-0 90 günlük eğilme deney sonrası numuneler



Şekil B.6. YKN1, YKN2, YKN3 ve YKN3-0 90 günlük eğilme deney sonrası numuneler.

## ÖZGEÇMİŞ

Şeyda HACIHASANOĞLU; ilk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’da yaptı. 2014 senesinde Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğine başlayıp 2018’de buradan mezun oldu. Lisans bitirme çalışmasını TUBİTAK projesi ile tamamladı. Bu çalışmadan, Çimento ve Beton Dünyası dergisine Hafif Şeffaf Beton Duvar Elemanlarının Işık Geçirgenliğine Etkisi adlı makale yayımladı. Aynı sene Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Karabük Üniversitesine yatay geçiş yaparak danışman Hocası Doç. Dr. İlker TEKİN’e ait TÜBİTAK 1001 Projesinde Bursiyer olarak yer aldı.

## İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres: Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Demir-Çelik Yerleşkesi/KARABÜK