



**KIRMA CAM VE BORAKS BİLEŞENLERİNİN
ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ LİFLİ
KOMPOZİTLERDE ELEKTROMANYETİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Sheir Ahmad RAHMANI

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İlker TEKİN**

**KIRMA CAM VE BORAKS BİLEŞENLERİNİN ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ
LİFLİ KOMPOZİTLERDE ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Sheir Ahmad RAHMANI

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

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İlker TEKİN**

**KARABÜK
Eylül 2022**

Sheir Ahmad RAHMANI tarafından hazırlanan “KIRMA CAM VE BORAKS BİLEŞENLERİNİN ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ LİFLİ KOMPOZİTLERDE ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu tasdiklerim.

Doç. Dr. İlker TEKİN

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22 / 09 / 2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Metin İPEK (SUBU)

Online

Üye : Doç. Dr. İlker TEKİN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Hacı Süleyman GÖKÇE (Bayburt U.)

Online

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edilip sunulduğunu; ayrıca bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları, bu kural ve ilkelere riayet ederek yaptığımı beyan ederim.”

Sheir Ahmad RAHMANI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIRMA CAM VE BOR BİLEŞENLERİNİN ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ LİFLİ KOMPOZİTLERDE ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Sheir Ahmad RAHMANİ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İlker TEKİN

Eylül 2022, 148 sayfa

Yapı malzemelerinin üretiminden açığa çıkan karbon dioksit (CO₂), karbon ayak izi ve iklim değişikliğinin temel sebeplerinden birisidir. Bundan dolayı, bilim insanları tatmin edici mekanik ve fiziksel özelliklere sahip yeni proses geliştirme arayışına girmişlerdir. Alkali aktive malzemelerin üretimi, çevre dostu ve kalıcı malzeme üretim proseslerinden birisi olarak kabul görmektedir.

Teknolojik bakımdan olumlu olsa da insan sağlığı bakımından büyük risk oluşturan elektromanyetik dalgalar, her geçen gün insan hayatını çevrelemektedir. Cep telefonları, bluetooth ve Wi-Fi kaynaklı aygıtlar ve mikrodalga cihazlar gün geçtikçe daha fazla elektromanyetik kirlilik oluşturarak temiz yaşam alanlarını kısıtlamaktadır. Diğer taraftan ise, araştırmacılar tarafından, meydana gelebilecek

tehditleri azaltmak için yenilikçi yapı malzemeleri üzerinde elektromanyetik alan (EMA) etkilerinin sönümlenmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada, alkali aktive edilmiş kompozit hamur ve harçların üretiminde alümina silikat kaynağı olarak Bayburt ilinden yeşil ve beyaz renkli volkanik tüfler ile birlikte toz halde mikronize kalsit kullanılmıştır. Alkali aktivatör olarak ise Sodyum Hidroksit (NaOH) ve sıvı halde sodyum silikat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$) kullanılmıştır. Elektromanyetik özellikleri geliştirmek amacıyla cam ve boraks, sırasıyla hacimce %30 ve % 2,5 oranlarında karışımda kullanılmıştır. Ayrıca üretilen alkali aktive hamur ve harçların mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özelliklerini iyileştirmek için toplam malzemenin hacminde %2 polipropilen, kırılmış karbon ve pirinç kaplı mikro çelik lif kullanılmıştır. 4x4x16 cm ve 5x5x5 m boyutlu prizma ve küp numuneler üzerinde 2, 28, 90 ve 180 gün yaşlarında mekanik ve fiziksel özellikleri ve 300x300x10 mm boyutlu kaplama malzemeleri üzerinde 90 gün yaşında 900 MHz – 6000 MHz aralığında elektromanyetik iletim ve yansıma özellikleri test edilmiştir. Ayrıca, 90 gün yaşında AAH numuneler üzerinde mikro yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, maksimum 90 günlük eğilme ve basınç dayanım değerleri sırasıyla 11,8 MPa ve 17,8 MPa'dır. Elektromanyetik ölçümlerde 900 – 6000 MHz frekansları için en yüksek EMF kalkanlama ve yansımadan kaynaklı EMF kalkanlama değerleri sırasıyla 53 dB ve 25 dB olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Alkali Aktive Malzemeler, Cam atığı, Boraks, Zeolitik Tüf, Mekanik ve Fiziksel Özellikler, Polipropilen Lif, Karbon Lif, Çelik Lif, Elektromanyetizma, Mikroyapısal Analiz

Bilim Kodu : 91127

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CRUSHED GLASS AND BORON COMPOUNDS ON ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF ALKALINE- ACTIVATED FIBROUS COMPOSITES

Sheir Ahmad RAHMANI

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İlker TEKİN

September 2022, 148 pages

Carbon dioxide (CO₂) released from the production of building materials is one of the main causes of carbon footprint and climate change. Therefore, scientists have sought to develop new processes with satisfactory mechanical and physical properties. The production of alkali-activated materials is accepted as one of the environmentally friendly and permanent material production processes.

On the other hand, electromagnetic pollution surrounds people day by day and poses a great risk in terms of human health, although it is technologically affirmative. Cell phones, bluetooth and Wi-Fi devices, microwave devices create electromagnetic pollution, and restrict non-exposed habitats. Researchers are trying to reduce these

threats by dampening the effects of electromagnetic fields (EMF) by producing innovative building materials.

In this study, micronized calcite in powder form together with green and white colored volcanic tuffs from Bayburt province was used as an alumina silicate source in the production of alkali-activated composite pastes and mortars. Sodium Hydroxide (NaOH) was used as an alkali activator. In order to improve the electromagnetic properties, glass and borax were added to the mixture in 30%, and 2.5% by volume. In addition, 2% polypropylene, chopped carbon and brass coated micro steel fiber by volume of the total material was used to improve the mechanical, physical and electromagnetic properties of the produced alkali-activated pastes and mortars. Mechanical and physical properties were tested on prism and cube specimens at 2, 28, 90 and 180 days of age, and electromagnetic transmission and reflection properties in the range of 900-6000 MHz were tested on coating materials of 300x300x10 mm size at 90 days of age. In addition, microstructural analyzes were performed on 90-day-old AAH samples. According to the results of the study, the maximum 90-day flexural and compressive strength values are 11.8 MPa and 17.8 MPa, respectively. In electromagnetic measurements, the highest EMF shielding and reflection-induced EMF shielding values for 900 – 6000 MHz frequencies were measured as dB and dB, respectively.

Key Words : Alkali-Activated Materials, Glass Waste, Borax, Zeolitic Tuff, Magnetite, Polypropylene Fiber, Carbon Fiber, Steel Fiber, Mechanical and Physical Properties, Electromagnetism, Microstructural Analysis

Science Code : 91127

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sürecinde ihtiyacım olan her türlü desteği sağlayan, aşladığı motivasyonla yoluma ışık tutan, engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. İlker TEKİN'e, tez yazım aşamasında tecrübelerinden faydalandığım Arş. Gör. Mahfuz PEKGÖZ'e ve beraber çalışmaktan keyif aldığım laboratuvar arkadaşım Mücahit HAYAT, Macid İBRAHİM, Sena ŞENOL, Zabihullah RASOULI 'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni destekleyerek yanımda olan, haklarını ödeyemeyeceğim aileme teşekkürü borç bilirim.

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.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	8
KURAMSAL TEMELLER	8
2.1. ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ MALZEME	8
2.1.1. Alkali Aktive Edilmiş Malzemenin Tarihçesi	9
2.1.2. Alkali Aktivasyonlu Harçlar.....	11
2.1.3. Alkali Aktive Edilmiş Malzeme “Jeopolimer”	11
2.1.4. Alkali Aktive Edilmiş Harçların Kimyasal Özellikleri	13
2.1.5. Alkali Aktive Maddelerin Jeopolimerleri (Kimyası).....	15
2.1.5.1. Alkali Aktivasyon Yüksek kalsiyum sistemleri: (Na,K) ₂ O-CaO- Al ₂ O ₃ -SiO ₂ - H ₂ O.....	16
2.1.5.2. Düşük Kalsiyum Sistemlerinin Alkali Aktivasyonu: (N,K) ₂ O- Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O	20
2.2. ALKALİ AKTİVE BAĞLAYICI BİLEŞENLERİ	25
2.2.1. Puzolanlar	25
2.2.1.1. Doğal Puzolan.....	25
2.2.1.2. Yapay Puzolanlar	28
2.2.2. Alkali Aktivatörler.....	28
2.3. ALKALİ AKTİVE MALZEMELERDE LİF KULLANIMI.....	30
2.4. ELEKTROMANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM	31

2.4.1. Elektromanyetik Dalgaların Oluşturduğu Etkiler.....	33
2.5. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN MADDEYLE ETKİLEŞİMİ	34
2.6. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA.....	35
2.7. CAM VE SERAMİK CAM	36
2.7.1. Cam.....	37
2.7.2. Seramik Cam	40
2.8. CAM VE CAMLAŞMA	41
2.8.1. Cam Dönüşümü	42
2.8.2. Cam Yapıcı Sistemler	43
2.8.3. Camın Yapısı	44
2.8.4. Camların Sınıflandırılması	45
2.8.5. Camı Oluşturan Maddeler.....	46
2.9. LİTERATÜR TARAMASI.....	47
BÖLÜM 3	61
MALZEME VE YÖNTEM	61
3.1. MALZEME	61
3.1.1. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Toz Bileşenler	61
3.1.1.1. Doğal Puzolan (Bayburt Yeşil Trası: BYT).....	61
3.1.1.2. Zeolitik Tüf (Bayburt Beyaz Tüfü: BBT)	63
3.1.1.3. Kalsit	65
3.1.1.4. Toz Halde Boraks.....	65
3.1.2. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Alkali Aktivatörler ve Su ..	66
3.1.2.1. Sodyum Hidroksit (NaOH)	66
3.1.2.2. Sodyum Silikat (Cam suyu: $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$)	66
3.1.3. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Kullanılan Dolgu Bileşenleri	67
3.1.3.1. Yeşil Adi Cam.....	67
3.1.3.2. Şeffaf Cam.....	68
3.1.4. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Kullanılan Lifler.....	68
3.1.4.1. Karbon Lif	69
3.1.4.2. Polipropilen Lif.....	69
3.1.4.3. Çelik Lif	69
3.2. YÖNTEM.....	70
3.2.1. Nihai Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Üretimi	72
3.2.1.1. Malzeme Seçimi ve Karışım Tasarımı	72

3.2.1.2.	Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Numunelerin Üretimi	73
3.2.1.3.	Taze Haldeki Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Deneyleri..	75
3.2.1.3.1.	Yayıma Tablası Deneyi (ASTM C1437).....	75
3.2.1.4.	Sertleşmiş Haldeki Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Deneyleri	76
3.2.1.4.1.	Büzülme Deneyi (ASTM C596 – 18).....	76
3.2.1.4.2.	Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri (ASTM C348-18)	77
3.2.1.4.3.	Su Emme Deneyi (ASTM C1585-13)	78
3.2.1.4.4.	Elektromanyetik Kalkanlama Miktarlarının Ölçülmesi.....	79
3.2.1.4.5.	Mikroyapısal Analizler.....	80
BÖLÜM 4	.....	82
4.1.	DENEME ÜRETİMLERİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	82
4.2.	ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ HAMUR VE HARÇLARIN YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELERİ	84
4.3.	EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	86
4.4.	ÖZGÜL AĞIRLIK, SU EMME VE GÖRÜNEN POROZİTE SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	99
4.5.	BÜZÜLME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	100
4.6.	ELEKTROMANYETİK ÖZELLİK TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	104
4.7.	TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM), ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) VE X-IŞINI DİFRAKSİYONU (XRD) ANALİZİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	120
BÖLÜM 5	.....	133
SONUÇLAR	.....	133
KAYNAKLAR	.....	136
81.	Musdif Their, J., Öazkça, M., " Developing Geopolymer Concrete By Using Cold-Bonded Fly Ash Aggregate, Nano-Silica, And Steel Fiber", 20 (180): 12-22 (2018).142	
EK AÇIKLAMALAR	.....	147
ÖZGEÇMİŞ	.....	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Portland çimento kimyası ve jeopolimer kimyası a:PC'nin basit hidrasyon ile sertleşmesi, b:Polikondensasyon yoluyla jeopolimerin sertleşmesi, c: ²⁹ Si NMR spektrumu [27].....	9
Şekil 2.2. Geopolimer türleri [27].	14
Şekil 2.3. Alkali aktifleştirilmiş çürüfta tepkime mekanizması için teorik model [46].	17
Şekil 2.4. Farklı bağlayıcı türlerinde çökelek ürünleri [46].	18
Şekil 2.5. Al içeren C-S-H Jel modelinin yapısı: (a) doğrusal zincirler, (b) zaman zaman çapraz bağlanabilen, düzlemler oluşturan doğrusal zincirler [50].	20
Şekil 2.6. NASH jel oluşumu için önerilen model [55].	23
Şekil 2.7. Elektromanyetik Spektrum [104].	33
Şekil 2.8. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması [116].	35
Şekil 2.9. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması [124].	37
Şekil 2.10. Işığa duyarlı camlar [126].	39
Şekil 2.11.. Sıcaklık-özgül hacim ilişkisi [130]. Tg:Camın dönüşüm sıcaklığı Tf:Kristaller için dönüşüm sıcaklığı, T: T sıcaklığı.....	42
Şekil 2.12. Ergimiş silika ve üç silika camın viskozitelerinin sıcaklıkla olan değişimi [131].	43
Şekil 2.13. SiO ₂ (silika) tetrahedrasının şematik görüntüsü [134].	45
Şekil 2.14. SiO ₂ 'nin kristal ve amorf yapısı [134].	45
Şekil 2.15. Yarı işlenmiş Obsidiyen camlar [137].	47

Şekil 3.1. AAM hazırlığında kullanılan toz malzemeler: a) Yeşil bayburt tüfü, b) Beyaz Bayburt Tüfü, c) Mikronize Kalsit.	62
Şekil 3.2. BYT'nin minerolojik (XRD) analizi [152].	62
Şekil 3.3. BYT'nin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri [26].	62
Şekil 3.4. BBT'nin minerolojik (XRD) analizi [152].	63
Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobundan elde edilmiş BBT'ye ait resimler [152].	64
Şekil 3.6. BBT, BYT ve kalsitin tane boyutu dağılım grafiği.	65
Şekil 3.7. Pelet sodyum hidroksit (NaOH).....	66
Şekil 3.8. Yeşil Cam.	67
Şekil 3.9. Kırılmış cam malzemelerin elek analizi grafiği.	68
Şekil 3.10. Şeffaf cam.	68
Şekil 3.11. a) Karbon lif. b) Polipropilen lif. c) Çelik lif.	70
Şekil 3.12. Yayılma tablası ve yayılma çapı ölçümü.	75
Şekil 3.13. Büzülme ölçüm aşamaları.	76
Şekil 3.14. a) Eğilme dayanımı deneyi. b) Basınç dayanımı deneyi.	77
Şekil 3.15. Su emme deneyi işlemleri.	78
Şekil 3.16. Elektromanyetik test için kullanılan ekipmanlar: a) Faraday kafesi. b) dalga jeneratörü ve spektrum analizörü (yansıma). c) spektrum analizörü (iletim) ve numune. d) spektrum analizörü.	79
Şekil 4.1. Beyaz ve Yeşil tüf esaslı AAH'lerde yayılma deneyi sonuçları.	85
Şekil 4.2. Yeşil tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.	88
Şekil 4.3. a) Eğilme dayanımı deneyinde, b) PP lifin dağılımı.	89
Şekil 4.4. Yeşil tüf esaslı kırılmış mikro çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.	90
Şekil 4.5. Mikro çelik tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.	91
Şekil 4.6. Yeşil tüf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.	91

Şekil 4.7. Yeşil tuf esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.	92
Şekil 4.8. Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.	94
Şekil 4.9. a) Eğilme dayanımı deneyi sırasında BPD0, b) PP lifin dağılımı.	96
Şekil 4.10. Beyaz tuf esaslı mikro çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.	96
Şekil 4.11. a) Basınç dayanımı deneyi sırasında, b) Çelik lifin dağılımı.	97
Şekil 4.12. Beyaz tuf esaslı kırılmış karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.	98
Şekil 4.13. a) Eğilme dayanımı deneyi sırasında b) Karbon lifin dağılımı.	99
Şekil 4.14. PP lif takviyeli AAH'lerin büzülme sonuçları.	101
Şekil 4.15. Karbon lif takviyeli AAH'lerin hacim değişimi deney sonuçlarının grafikleri.	102
Şekil 4.16. Mikro çelik lif takviyeli AAH'lerin hacim değişimi deney sonuçlarının grafikleri.	103
Şekil 4.17. Yeşil tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	105
Şekil 4.18. Yeşil tuf esaslı ve PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	106
Şekil 4.19. Yeşil tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	107
Şekil 4.20. Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	107
Şekil 4.21. Beyaz tuf esaslı ve PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıtma özellikleri.	109
Şekil 4.22. Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	110
Şekil 4.23. Yeşil tuf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	110

Şekil 4.24. Yeşil tuf esaslı ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıma özellikleri.	111
Şekil 4.25. Yeşil tuf esaslı ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	112
Şekil 4.26. Beyaz tuf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	112
Şekil 4.27. Beyaz tuf esaslı ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıma özellikleri.	113
Şekil 4.28. Beyaz tuf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	114
Şekil 4.29. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	114
Şekil 4.30. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıma özellikleri.	116
Şekil 4.31. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	117
Şekil 4.32. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.	118
Şekil 4.33. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.	119
Şekil 4.34. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.	120
Şekil 4.35. YP kodlu alkali-aktif edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.	121
Şekil 4.36. YP kodlu alkali-aktif edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.	122
Şekil 4.37. YP hamurunun alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analizi.	122
Şekil 4.38. YPB alkali-aktif edilmiş hamurun SEM ve EDS görselleri.	123
Şekil 4.39. YPB alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.	125
Şekil 4.40. YPC alkali-aktif edilmiş harcın SEM ve EDS analiz görüntüleri.	125
Şekil 4.41. YPC alkali-aktif edilmiş harcın XRD analiz sonucu.	126
Şekil 4.42. BP alkali-aktif edilmiş hamurun SEM ve EDS analiz görüntüleri.	127

Şekil 4.43. BP alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.	128
Şekil 4.44. Bor katkılı Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktive edilmiş hamurun SEM ve EDS analiz görüntüleri.	129
Şekil 4.45. BPB alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.....	130
Şekil 4. 46. Cam katkılı Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktive edilmiş harcın SEM ve EDS analiz görüntüleri.....	131
Şekil 4.47. BPC alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.....	132

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin sahip olduğu özellikler [97,98].....	31
Çizelge 2.2. Çeşitli sıvıların ergime noktasındaki viskoziteleri [124].....	41
Çizelge 2.3. Basit cam yapıcı malzemeler [132].....	44
Çizelge 2.4. Cam karışımları [137].....	46
Çizelge 3.1. Deneylede kullanılan katı ve toz malzemelerin kimyasal özellikleri. ..	64
Çizelge 3.2. Öğütölmüş haldeki toz malzemelerin fiziksel özellikleri.	65
Çizelge 3.3. Na ₂ SiO ₃ 'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri.	67
Çizelge 3.4. KL, PP ve ÇL teknik özellikleri.....	69
Çizelge 3.5. Ön deneme AAM karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (Ağırlıkça).....	71
Çizelge 3.6. AAH kompozit numunelerin karışım tasarımı.....	73
Çizelge 4. 1. Ön deneme AAM karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (Ağırlıkça).....	83
Çizelge 4.2. Lifle güçlendirilmiş AAH'lerin yayılma çapı değerleri.....	85
Çizelge 4.3. Yeşil tüf esaslı AAH'lerin mukavemet deneylerinin sonuçları.	87
Çizelge 4.4. Beyaz tüf esaslı AAH'lerde eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.	93
Çizelge 4.5. Sertleşmiş hamurların su emme deney sonuçları.....	100
Çizelge 4.6. Şekil 4.35'te verilen EDS analiz noktalarının elementel tablosu.	122
Çizelge 4.7. Şekil 4.38'de verilen EDS analiz noktalarının elementel tablosu.....	124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: Karbondioksit
Na ₂ O-CaO-SiO ₂	: Züccaciye, düzcam, cam ambalaj
Na ₂ O-B ₂ O ₃ -SiO ₂	: Isıya dayanıklı camlar
%	: Yüzde
K ₂ O- CaO-SiO ₂	: Kristal camı
CaO-MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	: Alkalisi düşük camlar
°C	: Santigrat Derece
kg	: Kilogram
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
s	: Saniye
Ç/T	: Çözelti/Toz
M	: Molar
SiO ₂	: Siliks camı
Al ₂ O ₃	: Alümina
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Na ₂ SiO ₃	: Sodyum Silikat (Cam Suyu)
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum Hidroksit
MPa	: Megapaskal
MHz	: Megahertz
GHz	: Gigahertz

dB	: Desibel
T_c	: Curie Sıcaklığı
M_s	: Doyum Manyetizasyonu
SiO_2	: Silika camı
Na_2O-SiO_2	: Su camı

KISALTMALAR

AAM	: Alkali Aktive Malzeme
AAH	: Alkali Aktive Hamur
PÇ	: Portland Çimentosu
Cy	: Yeşil com
Cş	: Şeffaf cam
ZT	: Zeolitik Tüf
PP	: Polipropilen
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
BYT	: Bayburt Yeşil Trası
BBT	: Bayburt Beyaz Tüfü
NASH	: Sodyum Alümina Silikat Hidrat
CASH	: Kalsiyum Alümina Silikat Hidrat
ASTM	: Amerika Standart Test Metodu
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
EMA	: Elektromanyetik Alan
EMD	: Elektromanyetik Dalga
EMS	: Elektromanyetik Spektrum
SE	: Ekranlama Etkinliği
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işınları Difraksiyonu
EDS	: Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Beton, dünyanın inşaat sektöründe en yaygın kullanılan ve çok önemli yapı malzemesidir. Hesaplamalara göre, yıllık beton üretimi on milyar tondan fazla. Beton, sudan sonra en yaygın kullanılan insan maddesidir. Bu durumda, dünyadaki teknolojinin hızlı ilerlemesi ile artan talep, Portland Çimentosunun dünyanın inşaat sektöründe en yaygın olarak kullanılan, sıradan betonda kullanılan geleneksel bir yapıştırıcı olarak [1].

Çimento üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için çevre dostu bir şekilde çimento benzeri çeşitli yapıştırıcılarla değiştirmeli ve yeni nesil tasarımlar ve sürdürülebilir beton tasarımları için alternatif yapıştırıcılar bulmalıyız. İnşaatta kullanılan geleneksel betonun en önemli bileşeni olan sıradan Portland çimentosu, üretim sırasında atmosfere önemli miktarda CO₂ salmaktadır. 1 ton OPC üretiminin havaya yaklaşık 1 ton CO₂ saldığı tahmin edilmektedir. Bu aşırı karbondioksit emisyonu, küresel ısınmayı ve sera gazlarını önemli ölçüde etkileyebilir. Yılda kişi başına yaklaşık bir metreküp beton kullanılıyor. Bu değer göz önüne alındığında, tüm dünyada büyük miktarlarda beton kullanıldığını göstermektedir. Bu nedenle, çimento üretiminin dünya çapında CO₂ emisyonlarının yaklaşık %7'sini oluşturduğu bildirilmektedir [2].

Endüstriyel yan ürünler ve doğal puzolanların alkali aktivatörler ile aktive edilmesiyle çimentosuz beton üretilebileceğini son zamanlarda yapılan birçok çalışma göstermiştir. Bağlayıcı jeopolimerler, alümina silikat malzemelerinin alkali veya alkali silikat çözeltileri ile aktive edilmesiyle oluşturulur ve ilk kez 1976'da Davidovits tarafından tanıtılmış ve adlandırılmıştır. Yüksek yoğunluklu Kendi kurulan beton ve uçucu kül jeopolimeri üzerine iki farklı çalışmada, Taguchi yöntemi kullanılarak doğrudan istenen karışımlara ulaşmak gerekir

çalışılmıştır [1,3]. Silika ve alümina içeren herhangi bir madde alkaliler tarafından aktive edilebilir. Böylece, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi amorf malzemeler, bir yapıştırıcı oluşturmak üzere bir aktivatör tarafından aktive edilebilir. Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün alkaliler ile aktivasyonu sonucunda çimento bazlı bağlayıcılar gibi kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) gibi bir jel yapısı oluşur. Çimento kullanılmadan alkali kimyasal aktivatör kullanılarak %100 cüruf ve uçucu kül içeren bağlayıcılar, özellikleri ve verimlilikleri nedeniyle modern çimento ikame bağlayıcılarından biri olarak kabul edilebilir [4].

Alkali Aktive Malzemelerin (AAM) bir polimer değildir, bu nedenle "jeopolimerler" olarak adlandırılmazlar. Bilim adamları bunun artık kanıtlanmış olduğu konusunda hemfikirdirler ve AAM ile jeopolimerleri Aynısı tutmanın büyük bir bilimsel hata olduğu konusunda hemfikirdirler. Geopolimer çimento, (NASH) $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ veya KASH gibi CSH'den türetilmez. Bu nedenle bilim adamları, Portland çimentosundan (CSH) $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Kalsiyum Silikat Hidrat terimlerinin kullanılmasının sadece uygun olmadığını, NASH ve (KASH) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Potasyum alümina silika hidrat olarak adlandırmanın da tamamen yanlış olduğunu söylüyorlar. PC kimyası, kalsiyum silikatın hidrasyonu ile başlar ve kalsiyum silikat CSH'nin hidrasyonu ile sona erer. Bilim adamları, jeopolimerler için kalsiyum yerine sodyum ve potasyum kullanarak alkali ile aktive olan çimentolu malzemeler üretiyorlar. Geopolimer için, NASH'ın sodyum-alümina-silikat hidratını ve KASH'ın potasyum-alümina-silikat hidratını elde ettiklerini iddia ediyorlar [5].

Sıvı hidroksit gibi alkali sıvıların veya çok konsantre bir silikat çözeltisinin silisyum (Si) ve alüminyum (Al) ile jeolojik kökenli malzemelerde veya uçucu kül, yüksek fırın gibi yan ürünlerinde reaksiyona sokulması için kullanılan beton bir jeopolimerdir. Cüruf külü ve pirinç kabuğu tipi [30]. Sıradan Portland çimentosunun aksine, bu tip beton bir jeopolimer matrisi ve hidrat mukavemeti oluşturmak için kalsiyum silikat ile oluşmaz, ancak silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) ile mukavemet için polikondansasyon yapar. Geopolimerlerin iki ana bileşeni, alümina silikat bazlı malzemeler ve alkali çözeltilerdir. Yapıştırıcı olarak silika ve alüminadan zengin alüminosilikat bazlı malzemeler kullanılmalıdır. Geopolimer betonda uçucu kül, silis

dumanı, pirinç kabuğu külü, yüksek fırın cürufu (FFC) ve metakaolin gibi PC'ye alternatif olarak kullanılır. Bu çalışmada alternatif yapıştırıcı olarak uçucu kül ve FFC kullanılmıştır. Geopolimer, FFC ve uçucu kül gibi endüstriyel atıkları beton için yapıştırıcılara dönüştüren harika bir alternatiftir. Geopolimer bağlayıcılar, jeopolimer beton üretmek için agregalarla birlikte kullanılır. Çok yüksek başlangıç mukavemeti nedeniyle altyapı ve prefabrik ünitelerin yapımı ve onarımı için ideal bir malzemedir. Ayar süreleri kontrol edilebilir ve uzun süre bozulmadan kalabilir. Bol hammadde temini, daha düşük CO₂ emisyonu, daha düşük enerji tüketimi, daha düşük üretim maliyetleri, yüksek ön dayanım ve hızlı priz alma gibi özelliklere sahiptirler [6,7].

Geopolimerler minerallerdir ve ticari olarak üretilen jeopolimerler kaplamalar, refrakterler ve yapıştırıcılar için kullanılabilir. Geopolimerler iki ana gruba ayrılır saf mineral jeopolimerler ve büyük doğal moleküller içeren organik jeopolimerler. Genellikle uçucu kül (UK), silis dumanı (SD), pirinç kabuğu külü (PK), yüksek fırın cürufu (FFC), kırmızı kil vb. Geopolimerlerin yapımında kullanılan malzemelerden kaynak olarak seçilebilecek malzemeler olarak değerlendirilebilir ve uygunluk, maliyet, tip, uygulama ve özellikler gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilirler. Geopolimerizasyonda kullanılan en yaygın alkali çözeltiler, kimyasal sembolü NaOH olan sodyum hidroksit (SH) veya kimyasal sembolü KOH olan potasyum hidroksit ve kimyasal sembolü Na₂SiO₃ veya K₂SiO₃ silikat olan sodyum silikatın (SS) karışımıdır. Yüksek alkali koşullarda, bir alkali hidroksit çözeltisi ve silikat varlığında, silikat alüminatlar çözelti içinde serbest bırakılan dörtgen birimleri hızla ve serbestçe çözdüklerinde polimerizasyon meydana gelir. Geopolimer çerçevesi, bu yapıların bağlanmasından elde edilir [8,9].

PÇ betonu gibi nedenlerle AAM'de çatlama eğilimli kırılma yapı görülür. Çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle çatlama eğilimlidir, bu da malzemeyi dış yük faktörlerine karşı zayıflar. Kalıcılığını kaybetmesine ve bütünlüğünü kaybetmesine neden olur. Geçirgenliği arttıkça sülfat ve klorür gibi agresif iyonlar, betona nüfuz etmeye çalışan su ile birlikte betona nüfuz ederek büyük bir soruna neden olur, bunu önlemenin yollarından biri de onu kullanmaktır [10]. Karışımda lif kullanımı gerilme mukavemetini artırır, büzülme çatlaklarını önler ve çatlaklar meydana gelse bile önlenir. Bu nedenle dış yüklere karşı direnç belli bir oranda

artar. Aynı zamanda lif, gerilimi malzeme üzerinde eşit olarak dağıtarak yapıya süneklik kazandırır ve kırılma karakteristik etkisini kaybeder [11].

Bor, Arapça 'da Burak (baurbach) ve Farsça 'da Burah kelimelerinden oluşan bir elementtir. Periyodik tablonun üçüncü grubunun başında yer alan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numarası 10 ve 11 olan iki kararlı izotoptan oluşur. Kimyasal sembolü "B" olan bor, metal ile ametal arasında yarı iletken bir elementtir. Babil tarihinde ilk kez altın elde etmek için bor kullanıldı. Bor rezervleri dünyanın sadece birkaç bölgesinde yoğunlaşmakta ve Türkiye'deki görünür rezervlerin %72'sini ve toplam rezervlerin %70'ini oluşturmaktadır. Bigadiç, Emet, Kırka ve Balıkesir bor yataklarının dünyanın en büyük rezervlerine sahip olduğu tahmin edilmektedir [12].

Bor bileşiklerini farklı endüstriyel uygulamalara uygun hale getirmek için gereken işleme derecesi büyük ölçüde değişmektedir. Bazı endüstriler mineral konsantreleri kullanırken diğerleri rafine bor ürünleri kullanır. Bazı durumlarda tüketiciler, bulunabilirlik ve fiyata bağlı olarak mineral konsantresi veya rafine bor ve rafine bor arasında seçim yapabilir. Boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks, borik asit, bor oksit, güçlendirilmiş kelesmanit, zenginleştirilmiş üleksit gibi bor ürünleri toplam boru tüketiminin üst kısmını oluşturmaktadır. Bor minerallerinin ve farklı sektörlerde kullanılan ürünlerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Bu malzemenin yaklaşık %10'u doğrudan mineral olarak, geri kalanı ise bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Hafifliği, çekme mukavemeti ve kimyasal etkilere karşı direnci nedeniyle; Plastiklerde, endüstriyel elyaf üretiminde, lastik ve kağıt endüstrisinde, tarımda, nükleer santrallerde, roket yakıtında da kullanılmaktadır. Ayrıca sıcaklığa dayanıklı cam kaplarda, elektronikte ve uzay araştırmalarında kullanılmak üzere kaliteli cam üretiminde önemli bir rol oynar çünkü camın sıcaklıkla birlikte genişmesini önemli ölçüde azaltır, camı asit ve çizilmelere karşı korur ve korur. Titreşim, yüksek ısı ve sıcaklık şokuna karşı direnç. Bazı bor bileşikleri yüksek derecede sertliğe sahiptir. Bu nedenle metallerin ve süper alaşımların kesilmesinde, bilenmesinde ve parlatılmasında aşındırıcı ve kırıcı olarak kullanılır [12–15].

Atık maddeler arasında önemli bir yere sahip olan katı atıklar çeşitli insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve bertaraf edilmesi gereken malzeme ve kütlelerdir ve bu malzemeler genel olarak tıbbi atıklar ve endüstriyel atıklar evsel atıklardan oluşmaktadır. Bu katı atıklar arasında önemli bir yer tutan inşaat atıkları; kum, taş, çakıl, kiremit, seramik, mermer, cam, alüminyum, ahşap, plastik, kağıt, boya, sıhhi tesisat boruları, elektrik bileşenleri, asbest ve diğer malzemelerden oluşmaktadır [16].

Cam, esas olarak kum (SiO_2) ve soda külünden (Na_2CO_3) oluşan iç yapısını korurken kristalleşmeyen ve sertleşen bir katıya çok hızlı bir şekilde soğuyan erimiş sıvı karışımının bir ürünüdür [16]. İnşaatı yoğun olarak kullanılan cam, yüzyıllardır ürünleri bir arada tutan evrensel bir saklama ve muhafaza malzemesi olarak kullanılan ve günümüzde soda şişelerinden parfümlere, bardaklardan tabaklara kadar pek çok kullanım alanına sahip bir malzemedir. Hatta pencerelerden binadaki dış cephe kaplamalarına kadar bu malzemedeki yararlanılmaktadır [17]. Fakat bu malzeme zamanla çevre kirliliğinin de kaynağı haline gelmiş ve bunun sonucunda artan cam ürünleri kullanımı sayesinde büyük miktarlarda cam atığı ortaya çıkmıştır. 2005 yılında dünya çapında yapılan bir araştırma, yaklaşık 130 megaton cam kullanıldığını ve kullanılan camın yaklaşık üçte birinin düz camdan yapıldığını buldu. Toplamda, AB yaklaşık 33 megaton cam üretirken, Çin ve ABD sırasıyla yaklaşık 32 ve 20 megaton cam üretti [18].

Beton endüstrisi, çimento ve beton üretmek için önemli doğal kaynakları kullanmalıdır. Atık cam doğada kolayca ayrılan bir malzeme değildir ve atık depolama camlarının çoğu henüz yeniden kullanıma hazır değildir ve çöplüklerde toplanmaktadır. Cam atıkları yapı malzemesi alanında jeopolimer üretimi için alkali aktivasyon teknolojisinde kullanılabilir. Cam atıklarında yüksek oranda amorf SiO_2 içermesi nedeniyle jeopolimer üretiminde yapıştırıcı olarak potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, jeopolimerlerde bir öncü olarak cam atığı üzerinde şimdiye kadar sadece sınırlı araştırma yapılmıştır. Şu anda, jeopolimer sistemlerinde cam atığının kullanılması olasılığı hala büyük ölçüde bilinmemektedir. Bu nedenle son yıllarda alternatif yapı malzemeleri üzerine araştırmalar yapılmakta

ve bu araştırma atık veya geri dönüştürülmüş malzemelerin betonda potansiyel kullanımını alanında önemli bir yer tutmaktadır [19–22].

Günlük hayatımızda kullanılan birçok elektrikli ve elektronik cihaz elektromanyetik radyasyon yayar (cep telefonu, Tv, Bilgisayar, radyo saç kurutma makinası,). [23]. Biyolojik etki ile yan etki arasındaki fark önemlidir. Biyolojik etkiler, EMD'ye maruz kalmanın bir sonucu olarak veya sistemde önemli fiziksel değişiklikler olduğunda ortaya çıkar. Öte yandan, biyolojik etki vücudun toleransını aştığında, yan etkiler meydana gelir ve sonuçta zararlı etkilere yol açar. Bugün vurgulanan konulardan biri, düşük frekansla çalışan radyo ve cep telefonu dalgalarının kullanım sıklığını arttırmak ve mikrodalga özelliklerini göstermektir. İnsanların bu tür dalgalar hakkında yeterli bilgiye sahip olmamaları şüpheler yarattı. Ülkemizde, kurulan cep telefonu şirketleri ve baz istasyonları sayısındaki artış ve bunların düzensiz yerleştirilmesi ve bu huzursuzluk üzerinde kontrol eksikliği artacaktır. Öte yandan, alternatif akım veya yüksek voltaj hatları ile çalışan tüm cihazların etrafında bir elektromanyetik alan oluşur. Çalışmalarda, EM bölgesine maruz kalan deney hayvanlarında çeşitli yan etkiler tespit edilmiştir. Ek olarak, EM alanlarında çalışan insanlarda depresyon, lösemi, merkezi sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri arasındaki ilişkiyi belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla yapılan birçok deneyde, tekrarlanabilirlik açısından sorunlarla karşılaşmaktadır. EM frekansı ve hücre biyolojisi arasındaki ilişki hakkındaki bilgimiz çok sınırlıdır. Tüm faktörlerin uygun şekilde kontrol edilip edilmediğine dair kesin bir karar vermek zordur [24].

Mevcut yapı malzemeleri, EMF riskini kontrol etme yöntemlerinden biri olabilir. Yapı malzemelerinin yapısı ve bileşimi, bu dalgaları emme özelliklerinden dolayı EMF'nin mevcut yapı malzemeleri üzerindeki etkisini azaltır. Yapı malzemelerinde en yaygın olarak kullanılan elektromanyetik emiciler, metal fiber, Ferrit, Grafit, grafen oksit, karbon nanotüpler, karbon filament ve karbon fiber. Bu emicilerin çoğu, pahalı olmalarına rağmen çimento ile uyumludur. Bazı araştırmacılar elektromanyetik dalgayı emen çimento türleri için yeni ekonomik soğurucuların geliştirilmesine dikkat etmeye başlar [25].

Bu çalışmanın temel amacı; çelik, polipropilen ve karbon lifle güçlendirilmiş malzemelerin eğilme-basınç mukavemeti, su emme, büzülme gibi mekanik ve fiziksel özelliklerinin 2, 28, 90 ve 180 gün sonunda belirlenmesidir. Ayrıca, aynı karışım tasarımı dahilinde üretilen kaplama malzemelerinin 90 gün sonunda 900-6000 MHz elektromanyetik özellikleri incelenerek yansıma , absorpsiyon davranışları incelenmiştir.

BÖLÜM 2

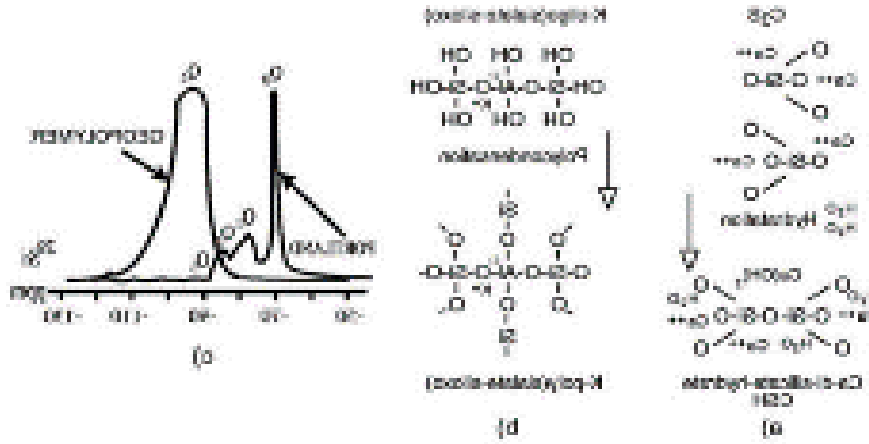
KURAMSAL TEMELLER

2.1. ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ MALZEME

Hem silikon hem de alüminyum, Dünya'da bulunan en yaygın elementlerdir. Dünyanın kıtasal kabuğunun %75'inden fazlası silikatlardan ve alüminosilikatlardan oluşur. Silika, ortamda +4 (H_2O_2) oksidasyon durumuna sahiptir. Normal sıcaklık ve basınçta, her silikon atomu hemen hemen her zaman dört oksijen atomuna bağlıdır. Bu nedenle silikatlar ve alüminosilikatlardaki ana Si birimi sadece SiO_4 olarak yazılabilir. Si tetrahedral yapılar, silikat mineralleri oluşturmak için bir oksit iyonunu uzaklaştırarak ve diğerini paylaşarak birbirini polimerize etme eğilimindedir. Polimerizasyon derecesi arttıkça, Si/O oranı tek bir SiO_4 yapısı içeren ortosilikatlar için 1:4'ten tamamen polimerize edilmiş üç boyutlu bir çerçeve yapısı için 1:2'ye düşer. Çerçeve yapısındaki her oksijen atomu (O_2) iki silikon atomu arasında paylaşılır. Alüminyum oldukça elektromanyetik bir elementtir ve sadece Al^{+3} formundaki oksijen atomları ile bulunur. $(SiO_4)^{-4}$ 'ün polimerizasyonu sırasında silisyum ve alüminyumun kovalent yarıçapları sırasıyla %1,17 ve %1,26 olduğundan, Al atomları atom boyutuna göre Si atomlarının yerini alabilir. Ancak, negatif yük artar. Örneğin, dört silikon atomundan biri alüminyum ile değiştirildiğinde, $(Si_2O_5)^{-2}$ tabakası $(Si_3AlO_{10})^{-5}$ olur. Bu nedenle, bu yükleri telafi etmek için metal katyonlarına ihtiyaç vardır, bu nedenle metal katyonlar, alüminosilikat iyonları için çok çeşitli formüller ve yapılar sağlar. Alüminosilikat mineralleri, Al ve Si oksitleri içeren büyük bir mineral grubudur, ancak kimyasal bileşim, kristal yapı, yoğunluk, sertlik ve parajenez açısından farklılık gösterirler. [26].

(AAM) bir polimer değildir, bu nedenle "jeopolimerler" olarak adlandırılmazlar. Bilim adamları bunun artık kanıtlanmış olduğu konusunda hemfikirdirler ve AAM ile jeopolimerleri eşit tutmanın büyük bir bilimsel hata olduğu konusunda

hem fikirdirler. Geopolimer çimento, NASH veya KASH gibi CSH'den türetilmez. Bu nedenle bilim adamları tarafından, sadece Portland çimentosundan gelen CSH terimlerinin kullanılmasının uygun olmadığı, NASH ve KASH olarak adlandırmanın da tamamen yanlış olduğu dile getirilmiştir.



Şekil 2.1. Portland çimento kimyası ve geopolimer kimyası a:PC'nin basit hidrasyon ile sertleşmesi, b:Polikondensasyon yoluyla jeopolimerin sertleşmesi, c:29Si NMR spektrumu [27].

Bilim adamları, jeopolimerler için kalsiyum yerine sodyum ve potasyum kullanarak alkali ile aktive olan çimentolu malzemeler üretiyorlar. PC kimyası, kalsiyum silikatın hidrasyonu ile başlar ve kalsiyum silikat (CSH'nin) hidrasyonu ile sona erer. Geopolimer için, (NASH'ın) sodyum-alümina-silikat hidratını ve (KASH'ın) potasyum-alümina-silikat hidratını elde ettiklerini iddia ediyorlar [28].

2.1.1. Alkali Aktive Edilmiş Malzemenin Tarihi

Altmış yıl önce, bireyler tarafından gereksiz bir varsayım olarak nitelendirilen doğal Portland Çimento Matrisi PO içinde alkali serbest bırakılabileceğini düşündü. Victor Glukhovsky, "Alkali" adı verilen yeni bir malzemenin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi için bir temel olarak kabul etti ve çimento bazlı çimento. Bu fikrin geçerliliği, altmış yıldan fazla evrimsel kalkınma ve bu yeni büyük ölçekli malzemelerin pratik kullanımı; Uygulamalarda onaylanan deneyim ile. Alkalin aktif çimento malzemelerinin alkalin ve beton yapıların yanı sıra alkalin fonksiyonu ve alümina silikat bileşeninin tipi olduğu bildirilmiştir [29].

Uzun bir süre sonra alkalın tarafından aktive edilen bağlantıların ve betonun başarılı bir şekilde uygulanması, 1990'larda bu ürünün geliştirilmesinde önemli bir azalma olduğu anlaşılabilir. Bununla birlikte, son 10 yıldaki yeşil istikrarlı yapılarıdaki karbon ve alkalın dioksit emisyonlarının geri kazanılması artmaktadır. "Beton jeopernimerin" imhası, farklı ülkelerdeki çeşitli yatırımlarla ilgili AAS ve teknolojilerin yeniden düzenlenmesine yol açmıştır. Alkali aktif bağlantı teknolojisi, Doğu Avrupa ülkelerinde çok hızlı bir ilerlemede genişletti. 15-20 yıllık fırın Romanya ve diğer prefabrik elementlerde çok iyidir. AAS formülasyonlarına dayanarak, birçok yolun ve karayolu karayolunun bazı bölümleri, Doğu Avrupa'da ve Fransızca 'da, 10 ila 25 yıl boyunca iyi koşullarda görünmüyor [30].

Son zamanlarda yapılan birçok çalışma, granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu külün, çimentoya ihtiyaç duymadan beton üretmek için alkali aktivatörler ile birleştirilebileceğini göstermiştir. Silika ve alümina içeren herhangi bir madde alkaliler tarafından aktive edilebilir. Böylece, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi amorf malzemeler, bir yapıştırıcı oluşturmak üzere bir aktivatör tarafından aktive edilebilir. Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün alkaliler ile aktivasyonu sonucunda çimento bazlı bağlayıcılar gibi kalsiyum silikat hidrat C-S-H gibi bir jel yapısı oluşur. Kimyasal alkali aktivatörlerin kullanıldığı, çimento içermeyen %100 cüruf ve uçucu kül bağlayıcılar, özellikleri ve performansları nedeniyle, çimento için modern bir bağlayıcı malzeme olarak kabul edilebilir [22,31].

AAMS ile ilgili ilk yayınlanan çalışmalar 1908 yılında Alman kimyager Kühl tarafından yapıldı. Kühl, temel patlama fırın cürufu ve alkalın bileşenlerinin karışımları ile üretilen bir bağlayıcının ayar davranışını inceledi. Bununla birlikte, bu tür malzeme yalnızca on yıllardan sonra dikkate değer bir değerlendirme almadı. 1940'taki Purdon, yüksek fırının cürufularının çeşitli kimyasal aktivatörlerle etkileşimini açıklayan ayrıntılı bir çalışma yayınladı. AAM'lerin gelişmesine ilişkin araştırma ve soruşturma faaliyetleri, 1980'lerde ve 1990'larda oldukça fazla artmaya başladı. Bu alan şimdi araştırmacılar için oldukça aktif bir alan olarak kabul edilir. Bu malzeme günden güne geliştirilmekte ve bu gelişme, bilimsel araştırma çabalarını, ticari malzemelerin dağıtımını ve ulusal ve uluslararası standardizasyonları içermektedir [25].

2.1.2. Alkali Aktivasyonlu Harçlar

Alkalin aktivatörleri, malzemeleri bağlayan alkali aktivatörler ve bu malzemelerin aktivasyonundan oluşur. Alkalin şarjları ayrıca ferrokrom cürufu, sinek kül, yüksek fırın cürufu, volkanik tüfler, meta-galane, silika silika kullanırken aktive olarak alkalin tuzları ve kostik alkali bağlamak için kullanılır [32].

Bağlayıcı malzemelerin çeşitlerine göre alkali aktivatörlü harçlar beş gruba ayrılmıştır:

- Alkali aktivatörlü puzolan harçlar
- Alkali aktivatörlü cüruf/puzolan-kireç harçlar
- Alkali aktivatörlü cüruf harçlar
- Alkali aktivatörlü hibrid harçlar
- Alkali aktivatörlü kalsiyum aluminat harçlar

Uçucu kül, cüruf ve silis dumanı bağlayıcı olarak alkali aktive edilmiş harçlarda en çok kullanılan malzemelerdir [33].

Alkali aktivatörler, Glukhovsky ve meslektaşları tarafından kimyasal bileşime göre altı gruba ayrılır. Alkali hidroksitler veya alkali tuzlar, alkali ile aktifleştirilmiş harçlarda ve betonlarda alkali aktivatörler olarak yaygın olarak kullanılır. Son zamanlarda, potasyum bazlı alkali aktivatörler laboratuvar deneylerinde de kullanılmıştır, ancak doğadaki maliyet ve potansiyel nedeniyle uygulamaları sınırlıdır. Tüm alkali grupları arasında NaOH, Na₂CO₃, Na₂O.nSiO₂ ve Na₂SO₄, geniş bir uygulama yelpazesine sahip ekonomik alkali aktivatörlerdir. Potasyum bazlı alkali aktivatörlerle yapılan deneysel çalışmalar, sodyum bazlı alkali aktivatörlere benzer sonuçlar göstermiştir [34].

2.1.3. Alkali Aktive Edilmiş Malzeme “Jeopolimer”

İlk olarak 1978 yılında Joseph Davidovitz tarafından tanımlanan jeopolimerler, mineral polimerler olarak da adlandırılır ve amorf veya yarı kristal olabilen alüminyum oksit ve silikon oksit bazlı malzemelerdir. son on yılda dünya çapındaki

araştırmacıların ilgisini çeken alternatif çimento esaslı malzemelerdir. Ayrıca jeopolimerler, hızlı sertleşme, yüksek başlangıç mukavemeti, kimyasal saldırılara karşı direnç, yüksek sıcaklık dayanımı ve düşük geçirgenlik gibi özel uygulamalar için çekici özelliklere sahiptir. Geopolimerler, alkali veya asidik çevre koşulları altında çeşitli alüminosilikat kaynaklarından sentezlenebilen mineral polimerik malzemelerdir. Sodyum silikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi yapıştırıcı ve çözeltilerin karışımlarından jeopolimerler, uçucu kül, cüruf, kaolin, metakaolin vb. elde edilir. Bu bileşiğe jeopolimer macun da denir. Uçucu kül bazlı jeopolimerlerde, uçucu kül içindeki silikon ve alüminyum, alkali çözeltilerin birleştirilmesiyle aktive edilir. Jeopolimerizasyon için kullanılan ana malzeme, tek bir malzeme veya birkaç farklı malzemenin bir kombinasyonu olabilir Sodyum Silikat ,Sodyum Hidroksit ve Sodyum Silikat, Potasyum Hidroksit Karışımları Yaygın olarak kullanılan alkali aktivatörler “Palomo ve diğerleri 1999 Xu ve Van Deventer 2000 Van Jaarsveld ve diğerleri, 2002 -Swanepoel ve Strydom” [35].

Geopolimerler, yoğun amorf veya yarı kristalli üç boyutlu bir yapı oluşturmak için SiO_4 ve AlO_4 dörtgen yapılarının ortak bir oksijen atomu ile bağlandığı kovalent bağlı kristal olmayan Si-O-Al ağları olarak tanımlanabilir. Jeopolimerizasyon reaksiyonları, çözünme, oligomerizasyon, polikondenzasyon ve sertleşme aşamalarını içerir. Geopolimerlerin kimyasal bileşimi zeolite çok benzer olmasına rağmen, jeopolimerler amorf bir mikro yapıya sahiptir “Xu ve Van Deventer, 2000”. Geopolimerler Si-O-Al-O polimer ağından oluşur ve bu ağ SiO_4 ve AlO_4 bileşiklerinden oluşur. Burada bileşikler tüm oksijen atomlarını paylaşır. Alüminyum için denge değeri 4, oksijen ile negatif bir denge oluşturur, bu nedenle matriste dengeyi korumak için K^+ , Na^+ ve Ca^{+2} gibi katyonların varlığı esastır [8,36].

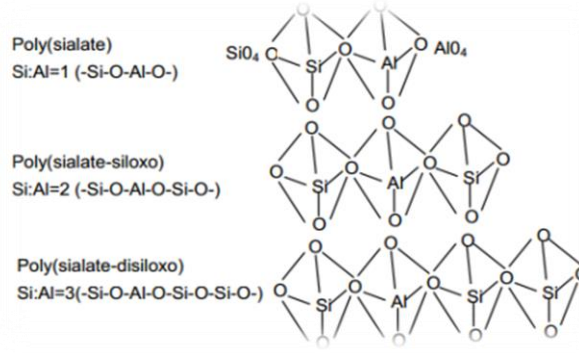
Geopolimerlerin üretimi sırasında, kimyasal yapılar, kimyasal bağlar, alüminyum ve silikon oksit içeren doğal mineral bileşikleri yöntemlerle değiştirilerek, düşük sıcaklıkta, alkali ortamda doğal kaya oluşumuna benzer bir işlem gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda kimyasal dayanımı ve yangın dayanımı yüksek bir malzeme elde edilir jeopolimer beton hazırlama ve dökme yöntemine ilişkin bir patente sahiptir. Jeopolimerin oluşumu sırasında hammaddeler serbest silika ve alümina içerir. Sodyum hidroksit NaOH, sodyum silikat Na_2SiO_3 , potasyum hidroksit KOH,

potasyum silikat K_2SiO_3 gibi alkalilerle aktive edilerek bağlanır. Geopolimer hammaddesi olarak metakaolin, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi puzolanik malzemeler kullanılabilir. Geopolimer üretiminde Si, Al oranı değiştirilerek jeopolimerin özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Alkali ile aktifleştirilen cüruf harç ve betonların mekanik özelliklerinin gelişimini etkileyen ana faktörleri araştırmak için çok sayıda deney yapılmıştır aktivatör tipi ve dozun alkali ile aktifleşen cüruf beton üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, aktifleştirici silikatın daha yüksek doz ve daha yüksek modül değerlerinin betonda daha yüksek dayanım oluşturduğunu belirtmiştir [11,34,36].

2.1.4. Alkali Aktive Edilmiş Harçların Kimyasal Özellikleri

Alkali aktivasyon teknolojisinde alüminosilikat kaynağı olarak hem endüstriyel hem de doğal ürünler kullanılabilir. Alkali aktive malzemeler, alüminosilikatlı hammaddenin alkalilerle aktivasyonu sonucu zamanla sertleşme davranışına sahip malzemelerdir. Malzemenin sertleşme süreci jeopolimerizasyon reaksiyonlarını gerektirir. Jeopolimerizasyon, silisyum moleküllerinin yüksek pH'lı alkali ortamda alüminatlarla çözünme, taşınma, yönelme ve Polikondensasyon davranışlarını bir tür çoklu yoğunlaşma ile kapsayan ekzotermik bir kimyasal işlemdir.. Bu farklılıklardan dolayı, alkali aktivasyon prosesi iki farklı model ile tanımlanmaktadır. Alkali aktivasyon ile aktive edilecek hammaddenin tipine bağlı olarak farklı mikro yapıya sahip farklı reaksiyon ürünleri oluşturabilmektedir. İlk model $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO$ dördümlü sistemi olup, CaO açısından zengindir. SiO_2/Al_2O_3 ve CaO/Al_2O_3 oranı yaklaşık 3'tür. İkinci modelde orijinal malzeme düşük CaO içeriğine, yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğine sahiptir. Çeşitli araştırmacılar, kullanılan malzemenin Al_2O_3 içeriğinin belirli bir orana kadar yüksek olmasının basınç dayanımına olumlu etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, kullanılan aktivatör tipinin de mekanik özellikler üzerindeki etkilerinin büyük olduğunu belirten çok sayıda çalışma göze çarpmaktadır. Örneğin, bu yazı dahilinde incelenen çalışmalar ışığında, Al_2O_3 içeriğinin %18 dolaylarında olması ve aktivatör olarak $NaOH+Na_2OSiO_3$ kombinasyonu tercih edilmesi durumlarında en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği söylenebilir [38].

1976 ve 1979 yılları arasında Davidovits, geocement Gluchovskij teriminden neredeyse 20 yıl sonra jeopolimer terimini kullandı. Davidovits, bir jeopolimeri, alümina silikat malzemelerin poli-yoğunluğu nedeniyle jeopolimerizasyon olarak tanımlamıştır. Davidovits modeli aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi literatüre girmiştir.



Şekil 2.2. Geopolimer türleri [27].

Alkali aktivasyon sırasında oluşan jeopolimer reaksiyonunda yer alan moleküler gruplar, Davidovits tarafından aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- Si-O-Si-O-siloxo, polysiloxo “camsuyu alkalı-silikatlar” bağlayıcılık kazandırıcı hammadde
- Si-O-Al-O- sialate, poly “sialate”
- Si-O-Al-O-Si-O- sialate-siloxo, poly “sialate-siloxo”
- Si-O-Al-O-Si-O-Si-O- sialate disiloxo poly “sialate-disiloxo”
- P-O-P-O- phosphate, poly “phosphate”
- P-O-Si-O-Al-O-P-O- phospho , sialate poly “phospho-sialate”
- (R)-Si-O-Si-O-(R) organo-siloxo, poly-silicone

Alkali aktive malzemelerin sınıflandırılması ise şu şekildedir;

- ❖ Kostik alkaliler (Alkali Hidoksitler): MOH
- ❖ Silikatlar: M₂O.nSiO₂
- ❖ Zayıf asitli tuzlar: M₂CO₃, M₂SO₃, M₃PO₄ vd.
- ❖ Alüminatlar: M₂O.nAl₂O₃
- ❖ Alüminosilikatlar: M₂O.nAl₂O₃.(2-6).SiO₂
- ❖ Güçlü asitli tuzlar: M₂SO₄

Aktivatörleri NaOH, Na₂SO₄, cam suyu, Na₂CO₃, K₂CO₃, KOH, K₂SO₄ en çok kullanılan alkali aktivatörler sodyum ya da potasyum bir karışımı olan hidroksitler (NaOH, KOH) , sodyum silikat (nSiO₂Na₂O) ve potasyum silikat (nSiO₂K₂O) [39].

2.1.5. Alkali Aktive Maddelerin Jeopolimerleri (Kimyası)

Alkali çimentolar, amorf alümina veya cam alüminatlara alkalın saldırı sonucu oluşan çimentolu malzemelerdir. Alkali aktivatörlerle karıştırıldığında, bu malzemeler iyi yapışan bir madde oluşturmak üzere sertleşir. Alkali aktivasyon teknolojisinin en belirgin özelliklerinden biri, ama malzeme olarak doğal yan ürünlerin (kil veya feldispat) ve endüstriyel yan ürünlerin (cüruf, kül ve kağıt çamuru) kullanılabilmesidir. Son zamanlarda çok çeşitli alkali aktive edilmiş çimentolar geliştirilmiştir. Çimento esaslı bileşenlerin (CaO SiO₂ Al₂O₃ sistemi) doğasına bağlı olarak, alkali çimentolar iki ama kategori altında gruplandırılmaktadır: (a) yüksek kalsiyumlu (b) düşük kalsiyumlu çimentolar.

(Na,K)₂O-CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: Bu modelde, yüksek fırın cürufu (SiO₂ + CaO > %70) gibi kalsiyum ve silikondan zengin malzemeler, belirli (orta) alkali koşullar altında aktive edilir. Ancak bu durumda reaksiyon ürününün yapısında Al alabilen PÇ'nin hidratasyonunda elde edilen ürün, jel benzeri bir C-A-S-H (kalsiyum-alümina-silikat-hidrat) jelidir [40].

(Na,K)₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O : Bu modeldeki aktifleştirilmiş malzemeler öncelikle Al ve Si'den oluşur. Metakaolin ve F tipi uçucu kül gibi ikinci alkali aktivasyon yönteminde kullanılan malzemeler küçük bir içeriğe (CaO) sahiptir. Bu durumda reaksiyonların başlaması için daha agresif bir ortam gerekir. (yüksek alkali ortam ve pişirme sıcaklığı 200-60 santigrat derece). Bu durumda oluşan reaksiyon ürünü, bir zeolit yapısı olarak kabul edilebilecek bir N-A-S-H jeli (veya alkalın alümina silikat hidrat) olan üç boyutlu bir inorganik alkalın polimeridir. Bu jel, diğerleri arasında jeo veya mineral polimer olarak da bilinir [41].

Bugün, üçüncü alkali aktivasyon modeli, önceki ikisinin bir kombinasyonu olarak da tanımlanabilir. Burada üretilen ürün, CaO+SiO₂+Al₂O₃ içeriği %20'den fazla olan

malzemelerin alkali aktivasyonu sonucu oluşan, karma ve hibrit alkali çimento olarak bilinen yeni bir bağlayıcı çeşididir. Bu klasörler 2 gruba ayrılır.

- ✚ Kompoze Portland çimentosu gibi (CEM IIIb- CEM IV - CEM V) düşük oranda PÇ klinkeri içeriğine ve yüksek oranda (%70'in üzerinde).
- ✚ PÇ klinkeri içermeyen karışımları kapsamaktadır: Yüksek Fırın Cürufu, Fosforlu Cüruf, Yüksek Fırın Cürufu ve Kül vb.

Bu üçüncü grupta kibritle çimentosu biriken reaksiyon ürünleri oldukça karmaşıktır. (C-A-S-H) jelleri sodyum içeren çimento jelleri (N, C) -A-S-H yüksek kalsiyum içerikli (N-A-S-H) jelleri) karışımı [42].

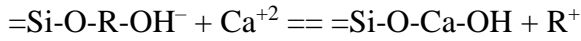
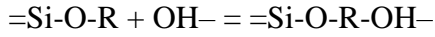
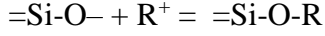
2.1.5.1. Alkali Aktivasyon Yüksek kalsiyum sistemleri: (Na,K)₂O-CaO-Al₂O₃-SiO₂- H₂O

Beton hazırlamak için kullanılan en yaygın malzeme yüksek fırın cürufu ve Kalsiyum bakımından zengin alkali çimentodur. Cürufun ana bileşenleri %25-35 SiO₂ , %5-10 MgO , %35-40 CaO , %5-15 Al₂O₃'tir. Geriye kalan bileşenler %1'in altında olmak üzere S, Fe₂O₃, MnO, K₂O bileşikleridir. Yani cüruf ağır oluşturu anyonlar (SiO₄)-4, (AlO₄)-5ve (MgO₄)-6 hem de ağ değiştirici katyonlar (Ca+2),(Al+3) (Mg+2) içermektedir.

Alkali aktivasyon proseslerinde cürufun reaktivitesi, büyük ölçüde camsı faz içeriğine bağlıdır ve %90'ın üzerindeki değerler tavsiye edilir. Ancak %30-65'lik düşük camsı faz içeriğine sahip cüruf da iyi sonuçlar verebilir. Değeri genellikle (1.3 - 1.5) arasında değişen bir parametre olan polimerizasyon derecesi (DP), cüruf reaksiyonu ile doğrudan bir ilişkiye sahip gibi görünmektedir [43] .

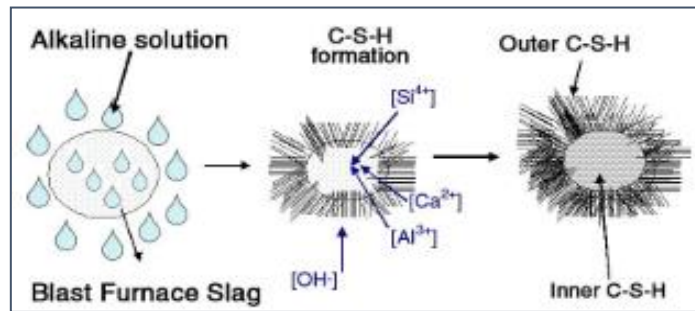
Reaksiyon Mekanizması

Aşağıda özetlen reaksiyon serileri aracılığıyla yüksek fırın cürufu gibi silika ve kireç açısından zengin malzemelerin alkali aktivasyonunu açıklayacak bir model önermişlerdir [44].



Alkali katyonu R^+ Ca^{+2} iyonlarıyla katyonik değişim yoluyla hidrasyonun ilk evrelerinde sadece bir katalizör görevi görmektedir. çözeltilerdeki anyonun doğasında, özellikle erken yaşlarda ve hamurun priz almasının aktivasyonunda etkili bir rol oynadığını belirtmiştir [45].

PÇ'nin hidrasyonundaki sonraki reaksiyonun ürünü, malzemesi öncelikle mekanik özelliklerine bağlı olan bir C-S-H tipi jeldir. İkincil ürünler arasında portlandit, etrenjit ve kalsiyum monosülfalüminat bulunur. Bu işlem alkali çimentolar için benzerdir. Reaksiyonun ana ürünü, bir jel (bileşimi ve yapısı OPC hidrasyonunda üretilen C-S-H standardına göre değişen) bir dizi ikincil ürünle birlikte oluşur. Üretilen ikincil ürünün tipi, ham maddenin bileşimine, aktivatörün tipine ve konsantrasyonuna, pişirme koşullarına ve pH'a bağlıdır [41]. Şekil 1'de, OPC hidrasyonunda oluşan en yaygın tepkime ürünleri (yüksek ve düşük kalsiyumlu) ile alkali çimento aktivasyon ürünleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.3. Alkali aktifleştirilmiş cürufu tepkime mekanizması için teorik model [46].

Genel olarak, malzemelerin alkali ile aktivasyonu sırasında oluşan reaksiyon ürünlerinin doğası, bileşimi, araştırmanın bu alanının en tartışma yönleri en çok çalışmaya muhtaç alanlar arasındadır.

- Ana hidratasyon ürünü C-A-S-H jelidir. Bu jel PÇ hamurunda oluşan jelden biraz daha farklıdır, çünkü daha düşük bir C/S oranına $C/S = (0.9-1.2)$ sahiptir. C-A-S-H jelinin yapısı ve bileşimi ile diğer ikinci fazların ve bileşiklerin varlığı kullanılan aktivatör türüne veya miktarına, ve bileşimi ile maddenin sertleştiği kür koşullarına bağlıdır.
- Camsuyu aktive olan cürufta hidrotalsit ($Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4H_2O$) olarak bilinen bir faz tespit edilmiştir.
- Bir tek NaOH ile aktive olan cürufta C_4AH_{13} fazlar tespit edilmiştir. Bu fazlar (0.1-0.2)mm kalınlığında ve yaklaşık 1.5 mm çapında levhacıkları ve trombositleri oluşturur. Cüruf hamurlarında NaOH ve Ca (OH)₂ ile aktive olan $C_4AcH_{11} - C_8Ac_2H_{24}$ gibi karbonatlı fazlar gözlemiştir [47].

Binder type		OPC	Alkaline cement	
			$(Na,K)_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$	$(Na,K)_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$
Reaction product	Primary	C-S-H	C-A-S-H	N-A-S-H
	Secondary	Ca(OH) ₂ AF _m AF ₁	Hydrotalcite [$Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4H_2O$] C_4AH_{13} CASH ₈ C_4AcH_{11} $C_8Ac_2H_{24}$	Zeolites: hydroxysodalite, zeolite P, Na- chabazite, zeolite.Y, faujasite

C = CaO, S = SiO₂, A = Al₂O₃, N = Na₂O, H = H₂O, c = CO₂

Şekil 2.4. Farklı bağlayıcı türlerinde çökelek ürünleri [46].

Yüksek fırın cürufunun alkali aktivasyonu, cürufun kimyasal ve mineralojik bileşiminin yanı sıra aktivatörün tipi ve bileşimine bağlı olarak biraz değişebilir. NaOH ve damıtılmış su iki yaygın aktivatördür. Wang ve Scrivener'in (1995) SEM+EDX analizi ile belirlediği gibi, aktivasyonun erken aşamalarında, hidrasyon ürünleri başlangıçta alkali çözelti ile doldurulmuş partiküller arası boşluklarda

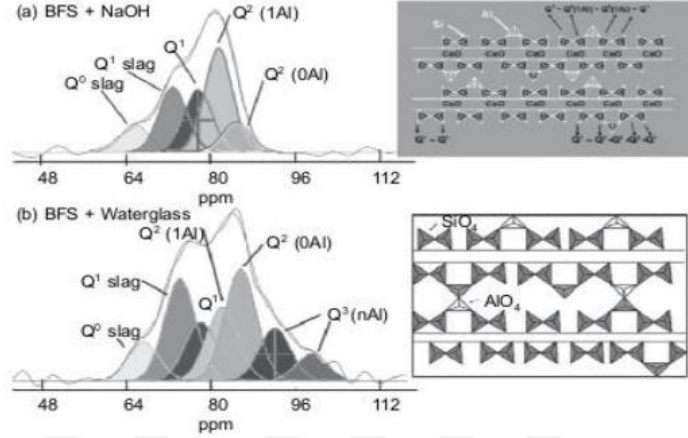
çökelmiştir. Aktivasyon ilerledikçe (5-7 gün), daha hafif ve daha ince cüruf halkalarının etrafında koyu halkalar (0,5-1 mm) oluşur. EDX mikroanalizi, aktivatörün türünden bağımsız olarak, esas olarak az miktarda Na, Mg, Al ve S içeren düşük Ca/Si oranına sahip bir C-S-H jel olduğunu doğruladı. Aktivatör olarak NaOH kullanıldığında, reaksiyonun ilk aşamalarında yarı kristalli bir C-S-H (I) jeli gözlenirken, tam bir yıl hidrasyondan sonra bile su bardağı kristalizasyonunda çok az şey kalmıştır.

Ayrıca bu malzemeleri incelemek için zıt mikroskopik teknikler kullandılar. Şekil 2, başlangıç cürufunun ve bunun NaOH ve su bardağı ile aktivasyon ürünlerinin bir dizi transmisyon elektron mikrofrafını (TEM) içerir. Elektron kırınım (EDX) modellerinin analizi, reaksiyonun ana ürünü olarak yaprak şeklinde yarı kristal bir C-S-H'nin varlığını doğruladı. 7 günlük malzemelerin EDX mikroanalizinde, cam suyu ile yapılan pastaların NaOH pastalarına (0.9-1.0) göre daha düşük kalsiyum-silika oranına (0.6-0.7) sahip olduğu bulundu. Tüm macunların bileşiminde alüminyum ve sodyum tespit edildi. Hidrotalsit adı verilen magnezyum ve alüminyumdan zengin ikincil bir faz da görüldü [48].

Çimento jellerinin nano yapısı, amorf yapıları nedeniyle kolayca tanınmaz. Son yıllarda birçok karakterizasyon tekniğinin uygulanmasının bir sonucu olarak, nükleer manyetik rezonans (NMR) (Engelhardt ve Michel), oluşan çeşitli jellerin yapısını belirlemek ve karakterize etmek için model geliştirmede faydalı olduğunu kanıtlamıştır. Al³⁺'ün varlığının zincirler arası dağıtıcı bağların (Si-O-Al) ve dolayısıyla iki boyutlu yapıların yanı sıra daha uzun lineer zincirli jellerin olası varlığına yol açtığı da gösterilmiştir. (C-S-H) koşullarında jeller, C-(A)-S-H jelleri haline gelir. Yapılan çalışmalarda aktivatör tipinin jel yapısındaki silikat türlerinin yoğunluğuna doğrudan etkisi olduğu tespit edilmiştir. Camsı su kullanıldığında çok yoğun yapıların oluştuğu kanıtlanmıştır.

NaOH çözeltisi ile aktive edilen cüruftan (C-A-S-H) oluşan jellerde, silikat zincirlerinde köprü pozisyonlarında tetrahedral alüminyumun varlığı, Q² birimlerinin (IAI) sayısında önemli bir artışa eşlik etmekte ve az miktarda Q³ (nAl) alınmıştır.) jellerin (C-A-S-H) aktivatörü olarak camsı su kullanıldığında üniteler, tetragonal ve

çapraz zincirli köprü konumlarında daha yüksek alüminyum içeriğine sahiptir. bağlanmasına neden olur ve bazı alanlarda katmanlı yapıların oluşumu ile birlikte Q3 birimlerinin (nAl) yüzdesini önemli ölçüde artırır [49].



Şekil 2.5. Al içeren C-S-H Jel modelinin yapısı: (a) doğrusal zincirler, (b) zaman zaman çapraz bağlanabilen, düzlemler oluşturan doğrusal zincirler [50].

Bu jelin, Si'yi bir Al tetrahedron ile değiştirirken oluşan yük dengesizliğini nötralize eden, genellikle Na⁺ olmak üzere az miktarda alkali içerdiği gözlemlenmiştir. Aslında bunlar C-(N)-A-S-H jelleridir. jeli çapraz bağlı ve çapraz bağlı olmayan tubermorite dayalı yapıların bir karışımı olarak tanımlamak için bir model önerdi (çapraz bağlı ikame edilmiş tubermorit modeli, CSTM) [51].

2.1.5.2. Düşük Kalsiyum Sistemlerinin Alkali Aktivasyonu: (N,K)₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O

Metakaolin, kaolinit kilinin (CaCO₃) killerin saflığına ve kristalleşme derecesine bağlı olarak (650 ile 850) santigrat derece arasındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi sonucu oluşan puzolanik bir maddedir. [52].

Genel olarak, metakaolin, alüminyum sayıları 4, 5 ve 6 olan, silikanın koordinasyon sayısı 4'e (tetrahedral) sahip olan alternatif bir silikat ve alüminat dizisi etrafında inşa edilmiştir. Alkali aktivasyonda bir alümina silikat kaynağı olarak metakaolin mevcudiyeti. Kaolinit parçacıklarının başlangıç boyutu, saflık ve kristal yapı gibi

kriterlere bağılıdır. Kural olarak, metakaolin partikülleri 5 mm'den küçük olmalı ve iç kil tane boyutu 20 nm olmalıdır [53].

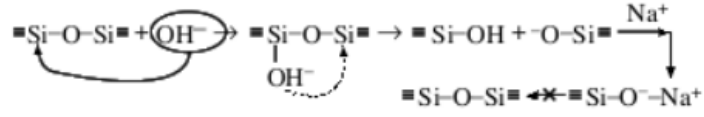
Uçucu kül morfolojisi, diğer küçük küreleri içerebilen içi boş küreler ile karakterize edilir. Aslında, bir dizi camsı fazdan ve kuvars (%5-13), mullit (%8-14) ve manyetit (%3-10) gibi bazı kristal fazlardan oluşur [54]. Bununla birlikte uçucu kül bileşimi kullanılan kömür türüne ve santralde yer alan yakma işlemine bağılı olarak değişebilir. Çok sayıda külün kapsamlı bir incelemesinden sonra, bir F tipi külün alkali çimentoların üretiminde kullanılmaya uygun olması için aşağıdaki şartları yerine getirmesi gerektiği sonucuna varmışlardır:

- ❖ Yanmamış yüzde <5%
- ❖ $[Fe_2O_3] \leq 10\%$
- ❖ Reaktif $[SiO_2] > 40\%$
- ❖ % (80-90) partiküller <45 mm
- ❖ Vitröz faz içeriği > %50
- ❖ $a(SiO_2)_{reaktif} / (Al_2O_3)_{reaktif}$ oranı > 1.5

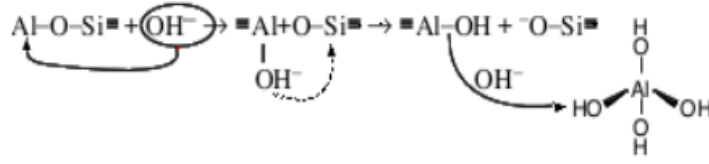
Alkali silika ve alüminyum açısından zengin malzemelerin aktivasyonundan bu yana daha az çalışma, cüruf aktivasyonundan sonra keşfedilen yeni araştırma alanlarıdır [53]. Puzolanik malzemelerin aktivasyon reaksiyonları için genel bir mekanizma önermiştir: Bu mekanizma üç aşamadan oluşmaktadır:

- Tahribat-koagülasyon
- Koagülasyon (topaklaşma)-yoğunlaşma
- Yoğunlaşma-kristalleşme

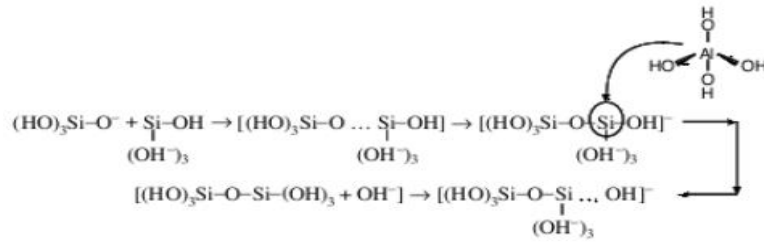
İlk olarak, denklem 1'de, alkali aktivatördeki OH⁻ iyonları Si-O-Si bağlarını kırdığında reaksiyon başlar. İyonlar elektronları silikon atomları etrafında yeniden dağıtarak Si-O-Si bağlarını zayıflatır ve kırılmalarını zorlaştırır. Bu saldırıda silanol (-Si-OH) ve sıvı (-Si-O-) türleri vardır. Si-O-Na⁺ bağlarının oluşumu siloksanın (Si-O-Si) geri dönüşümünü engellerken, ortamda alkali bir katyon bulunması negatif yükü nötralize eder.



OH-grupları Si-O-Al bağlarını aynı şekilde etkilemektedir: çözünmüş alüminyum türleri kompleks türler, ağırlıklı olarak Al (OH)⁻⁴ anyonları oluşturmaktadır.



İkinci aşamada, Denklik 2’de koagülasyon-yoğunlaşma, iyonik türlerin birikimi, ayrıştırılmış ürünler arasındaki bağı desteklemekte ve topaklaşmış yapılara neden olan Polikondensasyon başlamaktadır. Silika monomerleri, reaksiyona girerek dimerleri (Si-O-Si bağları) oluşturmakta ve bu da diğer monomerlerle polimer oluşturmak için reaksiyona girmektedir (Şekil 5). Bu adım OH⁻ iyonları tarafından katalize edilir. Silisik asidin polimerizasyonu ile oluşan kümeler her yönden büyümeye başlar ve kolloidler oluşmaktadır. Alüminatlar aynı zamanda silisyum tetrahedrayı izomorf olarak değiştiren polimerizasyona katılmaktadırlar. Alkali metal; reaksiyonu birinci aşamada katalize etmekte, ikincisinde ise yapısal bir bileşen olarak işlev görmektedir.

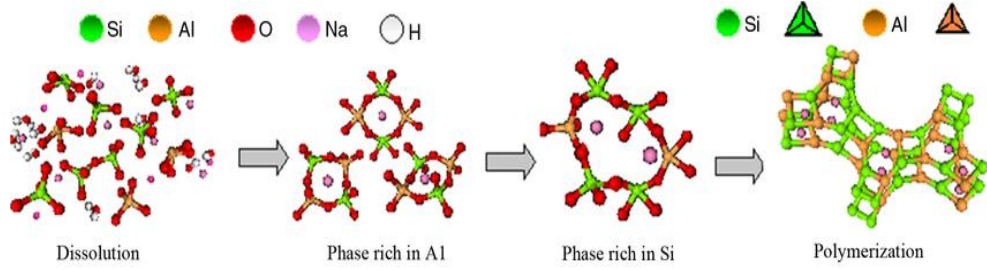


Son olarak, denklem 3’teki üçüncü adım olan yoğunlaşma-kristalizasyonda, ilk katı fazda parçacıkların varlığı, reaksiyon ürününün çökmesine neden olur. Bu ürünlerin bileşimi, inert malzemenin mineralojisine ve kimyasal bileşimine, aktivasyon koşullarına ve kullanılan alkali kürlemeye bağlıdır. Metakaolin ve uçucu külün alkali aktivasyonunda yer alan mekanizmalar genellikle yukarıda açıklanan adımları takip eder, ancak aşağıda açıklandığı gibi değişir.

Araştırmacılar, zeolit sentezine dayalı olarak uçucu külün alkali aktivasyonunu tanımlayan bir model önerdiler [53]. Bu modelde süreç iki aşamadan oluşmaktadır:

- Çekirdeklenme, kül içinde bulunan alüminatların çözünmesi ve polimerizasyon yoluyla kompleks iyonik türlerin oluşumu
- Büyüme çekirdekler kritik bir boyuta ulaştığında kristal büyümeye başlar. Deneysel koşullar nedeniyle bu aşama çok yavaştır. Külün alkaliyle aktive edilmesinin sonucu ana bileşeni N-A-S-H jel veya 'zeolit öncüsü' olarak bilinen bir alümina silikat jel olan çimento özellikli amorf bir matris oluşur. Varsayımsal olarak, bu jel sonunda bir zeolite dönüşebilir.

Yeni modele göre (şekle bakınız...), N-A-S-H jelinin oluşumu aşağıdaki gibi özetlenebilecek bir dizi adımdan oluşur. Alüminosilikat kaynağı bir alkali çözelti ile temas ettiğinde, silika ve alümina monomerleri dahil olmak üzere çeşitli biçimlere dönüştürülür. Bu monomerler, sırayla trimerler, tetramerler vb. olabilen dimerler oluşturmak üzere etkileşime girer. oluşturmak için diğer monomerlerle reaksiyona girer.



Şekil 2.6. NASH jel oluşumu için önerilen model [55].

Bu jellerin başlangıçta alüminyum bakımından zengindir. Oluşumu, reaksiyonun erken aşamalarında alkali ortamda yüksek Al^{3+} iyon içeriği ile açıklanabilir. Al-O bağları Si-O bağlarından daha zayıf olduğu için reaktif alüminyum silikadan daha hızlı çözünür. Reaksiyon ilerledikçe, Si-O grupları ana alüminosilikat kaynağında çözülür ve reaksiyon ortamındaki silikon konsantrasyonu artar, NASH jelindeki oranını artırır. Bu yapısal düzenleme, oluşturulan çimentonun birçok fiziksel

özelliğinin yanı sıra malzemedeki gözenek mikroyapısı ve dağılımının gelişimine aracılık eden polimerin nihai Kompozisyonu belirler.

Bu tür sistemlerdeki ikincil reaksiyon ürünleri, hidroksisodalit, zeolit P, Na (kabazit), zeolit Y ve fugasit gibi zeolitlerdir. Uçucu kül ve metakaolin gibi alkali silika ve alümina açısından zengin malzemelerin aktivasyonunda üretilen ana reaksiyon ürünü, NASH jel $Mn-SiO - AlO_2, H_2O$ olarak bilinen amorf bir alkalin alüminosilikat hidrattır. Bu ürün aynı zamanda AIP, alkali inorganik polimer olarak da bilinir. Silika ve alüminyum tetrahedra, üç boyutlu bir iskelet oluşturmak için rastgele dağıtılır [55–57].

Aslında, alkali aktivatör olarak yaygın olarak kullanılan sodyum silikattaki silika çok çözünürdür ve bu nedenle NASH jeli tarafından kolayca emilir. SiO_2 / Na_2O oranına doğrudan bağlı olan bu tür sodyum silikattaki polimerizasyon derecesi, NASH jel oluşumu ile ilişkili farklı aşamalarda meydana gelen jellerin yapısını belirler. Ayrıca NASH'ın hammaddelerde ana ürün olarak ürettiği silika jel bileşeni tek kaynak değildir. Bu nedenle, bu kısım aktif cam su, sodyum silikatta da bulunabilir [58].

Criado, Fernandez Jimenez, De La Torre, Aranda ve Palomo (2007) tarafından esansiyel külün alkali aktivitesi sonucu oluşan ara ürünler üzerinde farklı derecelerde aktivatör polimerizasyonunun (0.17, 0.60, 1.90) etkileri incelenmiştir. Araştırmacılar, polimerizasyon derecesinin jelin yapısında, bileşiminde ve kinetiğinde önemli bir rol oynadığı sonucuna vardılar. Nihai reaksiyon ürünlerinin çözünmüş gümüş ilavesinden etkilenmediğini, ancak ara ürünlerin etkilendiğini kaydettiler. NASH için Si/Al değeri ideal olarak 2'dir, jelde bu oran artmaz ve termodinamik stabilite süreci erken aşamalardan bağımsız olarak ifade edilir. Ayrıca zeolit ve geciktirici külün kristalleşme reaksiyonu, yüksek derecede polimerizasyon ile jel oluşum mekanizması, mekanizma etkisi sonucu gösterilmektedir [59].

2.2. ALKALİ AKTİVE BAĞLAYICI BİLEŞENLERİ

2.2.1. Puzolanlar

Bunlar, ince bir ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlanan ve çok küçük veya çok az olan ve nemli bir ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirilen silikon veya silikon alümlü malzemelerdir. Yapısı açısından zengin olan silika ve alümine ek olarak, bazı kalsiyum oksit, cam, karbon ve alkalis de dahil edilebilir [60]. Genellikle iki gruba ayrılırlar:

2.2.1.1. Doğal Puzolan

Doğada bulunan ve ince taneli olmaları koşuluyla kalsiyum hidroksit ve su ile reaksiyon gösterdiklerinde bağlayıcılık özelliğine sahip olabilen malzemelerdir. Volkanik Tuff, Metakosin, Volkanik Cam, Diatoma Toprakları, Traras ve bazı killer ve utançlar doğal puzes [60,61]. Bugün alkalin aktif malzemeler üretmek için kullanılanlar genellikle tüfler, tras metakolinlerdir.

Doğal puzolanların çoğunluğunu oluşturan volkanik esaslı malzemeler, puzolanik özellikler sergilemek için çok ince taneli olmalı ve en azından PC inceliğinde öğütülmelidir. Öte yandan, kil, şeyl ve diyatumlu toprak gibi hammaddeler önce ısıtılmalı ve işleme tabi tutulmuş, daha sonra gerekirse öğütülmüştür [60]. Doğal Puzolan'ın aktivitesi; Doğrudan mineralojik yapılar, kimyasal bileşimler ve spesifik yüzeylerle ilişkilidir. Aynı zamanda puzolanın tahrip ettiği kireç miktarı ve içerisindeki aktif fazların yapısı ve miktarı, karışımdaki kirecin puzolana oranı, SiO_2 içeriği ve işlem süresi de önemlidir [62].

Bol tortular, bulunabilirlik kolaylığı için tarih öncesi çağlardan beri volkanik patlamalardan kaynaklanan tuf ve külden oluşan bir volkanik kaya türüdür. Alkali ve alkali toprak metallerin hidratlı alümina silikatı olarak bilinir. Çok miktarda silika ve zeolit içerirler. Tuf cam yapısının zeolitleşmesinin nedeni havanın malzeme üzerindeki etkisidir. Bu nedenle kimyasal ve fiziksel özelliklerin oluşumunda rol oynar. Zeolit oluşumları yaygınlaşır, bu da TÜFE endüstriyel değeri verir [63].

Zeolitlerin mikro bir yapıya sahip olması, ZTS'yi -zzitik olmayan doğal PUZO'lardan daha aktif hale getirir. Çok küçük gözenekli yapı nedeniyle, zeolitlerin topokimyasal (partikül yüzey üzerinde oluşturulan) reaksiyonu sayesinde çevredeki kireç ile etkili bir şekilde birleştirilerek bağlayıcı jeller oluşturması muhtemeldir [64]. Zeolitlerin kimyasal özellikleri ve kristal yapıları. seçici adsorpsiyon, moleküler tarama ve katalitik uygulamalar gibi uygulamalarda değerlendirilmelerine izin verir [65].

Bu çalışmada ise silisce zengin bir zeolitik tüf olan Bayburt Taşından (BT) yararlanılmıştır. BT'nin ana bileşen Tekin (2016) tarafından %68.9 SiO₂, %12 Al₂O₃, %3.85 CaO, %0.34 Fe₂O₃ şeklinde bulunmuştur. Diğer bileşenler SO₃, Na₂O, K₂O, MgO olarak tespit edilmiştir [66]. BT'de toplam SiO₂+CaO>%70, SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃>%70 olmaktadır. 2.koşul, bu hammaddenin ASTM C618'e göre puzolanik özelliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Almanya'da Ren Vadisi'nde TRAS olarak bilinen en önemli doğal puzolandır. Bu puzolanların üstün özelliklerinden dolayı ülkemizde ve diğer ülkelerde kullanılan puzolan genellikle Terrara dönemi olarak adlandırılmıştır. Puzolan eklenen çimentoya da izli çimento denirdi [67].

Teras esas olarak silika ve alümenyum oksitten oluşur ve az miktarda kireç içerir. Traras tek başına hidrolik bağlanma özelliklerinde değildir. Silika ve kireç arasındaki puzolanik reaksiyonu almak ve hidrolik bağlanmaya sahip olmak için nemli bir ortam ve kireç gereklidir. Bir katkı maddesi olarak kullanılırsa, tepsinin ihtiyaç duyduğu bu kireç, çimento ana bileşenlerinin su ile hidrasyonu sonucunda serbest bırakılır. Bu Puzolan, PC'ye göre, katkı çimentosunun geçirgenliğini düşürürken, malzeme sülfat etkisini ASR gibi zararlı kimyasal etkilere daha dirençli hale getirir. [68].

Zeolit: Zeolitler, doğal veya Sentetik elementler, alkali (Na ve K) ve alkali toprak (Ca), mavi alümina silikat kristalli bileşiklerdir, atomik seviyede üç boyutlu ve gözenekli bir yapıya sahip, oksijen atomunun ortak bir kullanımından oluşan, Tetrahedral yapı, tetrahedral yapı [69,70]. Su ve katyonlarla dolu mikro gözeneklere

sahip bir bal peteğine benzer. 1756 yılında keşfedilen zeolit, “pota ısıtıldığında hızlı su kaybı nedeniyle mineral buharlarının serbest kalmasıyla bu görünüme kavuşur. Günümüz endüstrisinin değerli hammaddelerinden biri olan zeolit, 1750 yılından beri mineral olarak bilinmekte olup, kristal yapısı ilk kez 1930'larda tanımlanmıştır. Katyon tipinin ve yapı içindeki miktarın içeriği, Si/Al yapısındaki oranı (M^+ , M^{+2}) $O.AL_2O_3.9SiO_2.NH_2O$ formundadır. [71].

Günümüzde sentetik zeolitler iyon değiştirici, adsorban ve katalizör olarak kullanılırken, inşaat sektöründe doğal zeolitler çimentodan daha fazla doğal yüzey alanı ve düşük yoğunluğu nedeniyle betonda kullanılmaktadır [72]. Zeolit kullanılarak üretilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliklerinden dolayı önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlar. Ek olarak, yüksek reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'ü nedeniyle, söndürülmüş kireç ($Ca(OH)_2$) girerek ve betonda doğal Puzolan olarak su ile reaksiyona girerek bağlanabilen bu zeolitleri kullanmak mümkündür [73].

Her ne kadar endüstriyel alanlarda zeolitlerin yararlanıcıları 1940'larda bahsedilmiş olsa da, volkanik kayalarda bulunan boşluklarda ve çatlaklarda bulunan bilgiler sadece kullanım alanının büyümesini önledi. 1950'li yıllardan itibaren kullanım alanının hızlı bir şekilde artmasının nedeni ise zeolitinin deniz ve göllerdeki tüflerde de bulunması bilgisindedir [71].

Metakaolin: Killer, zengin feldspat içerikli volkanik kayaçların, mekanik ve kimyasal değişimleri sonucunda meydana gelir. Kaolin ise gnays, feldspat, parfir, syenit ve pegmatit gibi magmadan çıkıp donan kayaçların doğal bir şekilde ve ilaveten fiziksel ve kimyasal etkenlerle aşınıp, bozunup, dağılıp, ufalanıp sürüklenmesi sonucuyla oluşmaktadır [74]. Kaoline, atmosferik CO_2 ve su kaynaklı feldspat ayrışmasının ürünü de denebilir. Metakaolin ise saflaştırılmış kaolin kilininin 600-800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda kalsine edilerek üretildi, amorf yapıya ve yüksek puzolanik özeliğe sahip olan beyaz renkli alüminosilikatlı bir malzemedir. Kil mineralleri 100-200 °C'lerde adsorbe suyunu kaybeder. Kaolin kilininin dehidrolize olarak bağıl suyunu yitirdiği sıcaklık aralığı ise 600-800 °C'dir. Bu sıcaklıkta bağıl suyun yaklaşık %10-14'ü kaybedilir ve kaolin metakaoline dönüşür. Dönüşüm sonucunda silika ve alümina tabakalarının kristal yapılarındaki düzen

bozular. Böylece kaolin, kimyasal olarak reaktif bir yapı kazanır. Yeni oluşan ürün amorf yapıya ve yüksek puzolanik özelliğe sahip hale gelir [75,76]. Metakaolin, %40-70 SiO₂ ve %20-35 Al₂O₃ içermekle birlikte düşük oranlarda Fe₂O₃ ve TiO₂ (<%1) ve Na₂O, K₂O alkali oksitlerini bulundurur. Kaolinitin ısıtılmasıyla, metakaolinin yanı sıra illit veya kuvars gibi kristal bileşikler de oluşabilir [30,77].

2.2.1.2. Yapay Puzolanlar

Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, sentetik puzolanların örnekleridir.

2.2.2. Alkali Aktivatörler

Alüminosilikat malzemelerin alkali aktivasyonunun bir sonucu olarak, bir birleştirme ürünü elde etmek için alkali gereklidir. Bu işlem için çoğunlukla kostik alkaliler veya alkali tuzlar kullanılır. Kimyasal bileşenlerine göre; kostik alkaliler (MOH), silikat içermeyen zayıf asitlerin tuzları (M₂CO₃, M₂SO₃, M₃PO₄, MF), silikatlar (M₂O + nSiO₃), alüminatlar(M₂O + nAl₂O₃), alüminosilikatlar (M₂O + Al₂O₃ + (2-6)SiO₂) ve silikatsız güçlü asit tuzları (M₂SO₄) şeklinde altı gruba ayrılırlar [78,79].

NaOH, Na₂CO₃, Na₂O.nSiO₂ ve Na₂SO₄ aktivatörleri En ekonomik ve yaygın olarak kullanılanlardır. Potasyum bileşenlerinden bazıları laboratuvar ortamında kullanılmaktadır. Ancak, uygulamaları kullanılabilirlik ve maliyet açısından sınırlıdır. Öte yandan, sodyum ve potasyum bileşenlerinin özellikleri oldukça benzerdir [80]. Mineraller, artan NaOH konsantrasyonlarında KOH içeren çözeltilerden daha fazla çözünür. Bu şekilde aktive edilen malzemeler daha yüksek basınç direncine ve asitler ve sülfatlar gibi kimyasal etkilere karşı dirence sahiptir. Aynı zamanda bu malzemelerin dayanımları Portland çimento bağlayıcılara göre daha yüksektir ve büzülme davranışları nispeten düşüktür [80–82].

Alkali aktivatörleri olarak reaksiyonlarda en yaygın olarak kullanılanlar, sodyum hidroksit veya potasyum hidroksitin sodyum silikat veya potasyum silikat ile karıştırılması sonucu oluşan aktivatörlerdir [83,84]. Bazı çalışmalar ayrıca tek bir

aktivatörün kullanımını da göstermektedir. Alkali kombinasyonu sodyum silikat, silikat veya potasyum içerdiğinde, tek bir alkali kullanımına kıyasla zamanla reaksiyonların arttığı tespit edilmiştir. NaOH'un Na₂SiO₃ ile kullanıldığı bağlayıcının mukavemet gelişimi, NaOH'un tek başına kullanımı sonucu üretilenden daha yüksektir. Tek başına kullanımda özellikle düşük konsantrasyonlarda değerler daha da düşük olmaktadır. Ancak dayanımdaki ana faktör kullanılan alüminosilikat kaynağı ile ilgilidir [85].

Alkali aktivatörlerin molaritesi, dozajı ve oksit molar oranları büyük önem taşımaktadır. Bu özellikler, kullanılan alüminosilikat kaynağının tipine, kimyasal özelliklerine ve çözeltinin durumuna bağlı olarak farklılık gösterebilir [86]. Yapılan çalışmalarda NaOH aktivatörünün ideal konsantrasyon değeri 1-10 M arasında ve bu değer KOH aktivatörü için 5-10 M arasında olduğunda tatmin edici sonuçlar elde etmek mümkün olmuştur. Sonuç olarak, iyi güçler elde edildi. Belirli bir miktardan sonra çözeltinin molaritesinin artırılması kötü bir etkiye sahiptir. Bu, malzemenin daha hızlı sertleşmesini sağlar, ancak işlenebilirliği önemli ölçüde azaltır. Sonraki adımlarda, bağlayıcının gücünü azaltır [80,82,87].

I. Sodyum Hidroksit (NaOH): "Kostik soda" olarak da bilinen Sodyum hidroksit kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir hammaddedir ve pH'ı 13,5 olan güçlü bir bazdır. Rengi beyazdır, nemi emer ve suda kolayca çözünür. Çözündüğünde sabun gibi hissedilen pürüzsüz, kaygan bir çözelti oluşturur. Sonuç olarak, reaksiyon kısa sürede ısınır ve sıcaklığını uzun süre korur. Ciltte kaşıntı ve tahriş edici etkiye sahiptir. Saflığına göre özelliği değişir. CO₂ emisyonları açısından NaOH, Na₂SiO₃'ten daha çevre dostudur [88].

II. Sodyum Silikat (Na₂SiO₃): Na₂(SiO₂) Bu, kimyasal formül no. 2 ile temsil edilen bileşiklerin ortak adıdır. En iyi bilinen ve en çok kullanılanı sıvı su bardağı olarak da bilinen sodyum metasilikattır (Na₂SiO₃). Katı veya sulu çözeltide kullanılırlar. Saf bileşikler beyaz veya renksiz olabilir [89]. Daha düşük modüllü (SiO₂/Na₂O) sodyum silikat çözeltisi elde etmek için çözeltiye NaOH eklenir. Belirli bir modüle ve konsantrasyona sahip olması istenen çözelti, NaOH'den farklı türlere sahip olabilir. Modülü 1'den büyük olan alkali silikat üretimi için bir yöntem belirlenmiştir. Bu yöntemde, sulu silikatın bir çözücü içinde çözülmesinden sonra hidratlı silikat elde

etmek için suyla karıştırılmış organik çözücüler kullanılır. Bu yöntem, optimum modül ve konsantrasyon ile doğrudan cam su üretimine izin verir. [90,91].

III. Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH)₂): Sönmemiş kireç (CaO), kalsiyum karbonat içeren kireçtaşının yaklaşık 900-1000 santigrat derece sıcaklıkta kalsine edilmesiyle elde edilir. Kalsiyum hidroksit, sönmemiş kirecin suyla reaksiyona girmesiyle oluşur. Kireç, tarih öncesi çağlardan beri bilinen ve kullanılan çok yönlü bir malzemedir.

Günümüzde sanayi, çevre ve tarım sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu, üretim teknolojisinin daha da gelişmesiyle, kireç üretim tesislerinin yaygınlığının ve maliyetinin diğer yapıştırıcılara göre daha düşük olmasını sağlar [26].

2.3. ALKALİ AKTİF MADDELERDE LİF KULLANIMI

Lifler, eski çağlardan beri yapı malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanılan ve güçlendirici etkisiyle ön plana çıkmış ürünlerdir. Günümüzde inşaat sektöründe önemli bir yere sahip olan ve farklı türleri bulunan lifler, geçmişte saman, at kılı vb. olarak kullanılmaktaydı. Çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle kullanıldığından sürekli veya kısa lifli donatı olarak betonda çatlakların oluşmasını ve oluşmasını ve bunların gevrek yapısal betonla bütünleşmesini engeller. Bunun nedeni, rastgele dağılmış liflerin çekme enerjisi transfer yeteneğidir. Çatlaklar üzerinde köprü görevi gören lifler zeminde oluşan gerilmelerin bir kısmını taşır ve diğer kısmını çimento zeminli alanlara aktarır. Yük-deplasman eğrisi incelendiğinde, normal beton doğrudan kırılma bile fiber betonun ilk çatlak oluşumundan sonra da yüklenmeye devam ettiği ve eğilme dayanımını arttırdığı görülmektedir [92,93]. Matriste bulunan bu lifler, çekme eğilme mukavemeti, tokluk, aşınma ve darbe direnci gibi mühendislik özelliklerini iyileştirir. Ayrıca büzülme davranışı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptirler. Sağladıkları faydalar sonucunda malzemenin dayanıklılığını artırarak çevresel etkilere karşı dayanıklı hale getirirler. Bu amaçla kullanılan lif türleri arasında çelik, sentetik, karbon, ahşap, cam ve doğal lifler bulunur [94].

Bağlayıcının yapısal özelliklerini etkileyen önemli faktörler arasında narınlık oranı (lif uzunluğu/lif çapı) ve lif içeriği yer alır. Artan lif içeriği veya inceliği mekanik

performansı iyileştirse de, yerleştirme ve karıştırma sorunları mümkündür. Bu nedenle bu değerlerin optimal düzeyde tutulması gerekir. Öte yandan, karışımdaki liflerin dağılımı homojen olmalıdır [95,96].

Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin sahip olduğu özellikler [97,98].

Lif Tipi	Çekme Dayanımı (ksi*)	Young Modülü (10^3 ksi*)	Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Polietilen	~100	0.02-0.06	~10	0.95
Taş Yünü	70-110	10-17	~0.6	2.7
Polipropilen	80-110	0.5	~25	0.9
Naylon	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester	105-125	1.2	11-13	1.4
PVA	125-230	3.5-6	6-10	1.3
Çelik	40-400	29	0.5-35	7.8
Cam	150-550	10	1.5-3.5	2.5
1 ksi=6.9 MPa				

Alkali aktive malzemeler de normal beton gibi gevrek bir özelliğe sahip olup çatlamaya karşı hassastırlar. Söz konusu kompozit üretiminde liflerin kullanılması malzemede çatlakları önleyecek, süneklik oluşturacak ve AAM'yi performans açısından daha üstün kılacaktır [92]. Ayrıca, lifler elektromanyetik dalgaların absorplanması ya da yansıtılmasında görev alarak oluşabilecek tehlikeleri önlemede yardımcı olabilir [99]. Alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcıların mekanik özellikleri üzerinde fiber katkıların etkisi hakkında literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada üretilen AAM'ler için polipropilen, çelik ve karbon lif katkıları kullanılmıştır.

2.4. ELEKTROMANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

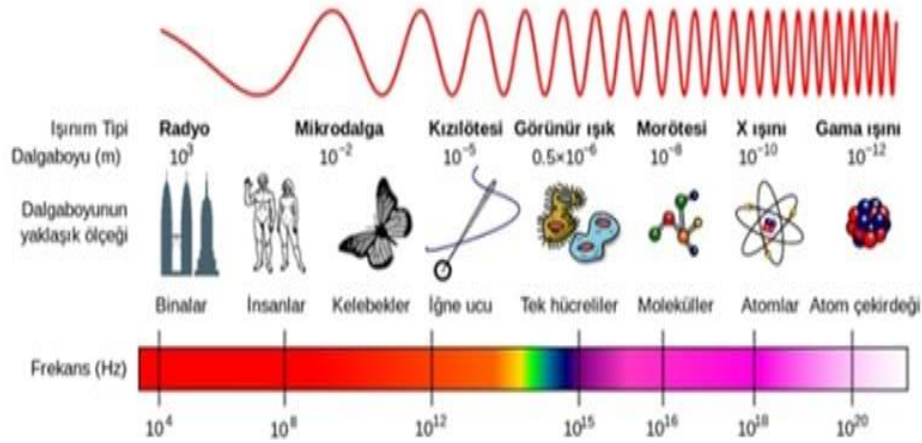
Atomları, maddeyi ve Dünya'yı bir arada tutan dört temel doğa kuvvetinden biri olan elektromanyetizma, elektrik yüklü parçacıkların etkileşimini inceler. Elektrik ve manyetik alanların birleşimidir. Elektronik aktarım sayesinde atomlar pozitif (+)

veya negatif (-) yüklü hale gelir. Sonuç olarak, bir elektrik alanı (E) oluşur. Elektrik yüklü bu parçacıklar hareket etmeye başlarsa alan elektrik akımına dönüşür ve parçacıkların etrafında bir manyetik alan (B) oluşur. Kısaca elektrik alanı, elektrik yüklerinin birbirini çekme-itme etkisinin sonucu, manyetik alan ise elektrik yüklerinin hareketiyle oluşturulan elektrik akımının sonucudur [100]. Elektromanyetik alan, elektrik ve manyetik alanların birleşiminden oluşur. Doğru koşullar altında, karşılıklı elektrik ve manyetik alanlar sürekli olarak birbirini üretebilir ve sürdürebilir. Bu, elektromanyetik enerji dalgalarını veya radyasyonu (enerjinin dalgalar veya parçacıklar şeklinde transferi), Dünya boyunca ve uzaya yayan bir elektromanyetik alan yaratır. Örneğin, Dünya'nın çekirdeğinde oluşturulan manyetik alan ve hareket eden sıvı metallerin ürettiği elektrik akımları, Dünya'yı kaplayarak Dünya'yı bir dipol mıknatısa dönüştürür. Ayrıca bu tabaka bizi güneşin UV ışınlarından koruyan koruyucu bir tabakadır [101].

Bilim adamları, yük veya akım uygulamadan E ve B'yi yapmanın yollarını aradılar ve bir bölgede zamanla değişen bir E varsa, akıma ihtiyaç duymadan B'nin oluştuğunu ve B'nin zamanla değişen B ile mevcut olması durumunda, E olduğunu buldular. olmak Var. Sahip, bir yüke ihtiyaç duymadan oluşturulur. Bu nedenle Maxwell dalga oluşturabilen bir zincirleme reaksiyon yaratmış ve elektromanyetik dalgaların akımdan ve yükten bağımsız olarak var olduğunu belirtmiştir. Bir elektrik alanının, Gauss yasasının matematiksel ifadeleri olan Maxwell denklemleri olarak bilinen dört temel denklemlerle manyetik alana dönüştürülebileceğini açıklar. Bir süre sonra Heinrich Rudolf Hertz bu dalgaların varlığını doğruladı ve radyo dalgalarının mucidi oldu. [102,103].

Elektromanyetik dalgalar (EMD), yüklü parçacıkların hızlandırılmış hareketiyle üretilir. Elektrik ve manyetik alanlar birbirine diktir. Doğal veya yapay kökenli olabilirler. Yayılması için bir ortama ihtiyaç duymayan EMD, enine dalgalardır ve yükü yoktur. Polarizasyon ve iyonlaşma özelliğine sahip bu dalgaların boşluktaki hızı $c=3.108 \text{ m/s}$ 'dir. Spesifik dalga boyuna ($\lambda(\text{m})$), frekansa ($f(\text{Hz})$) ve Planck sabitine ($h=6.63.10^{-34} \text{ J.s}$) sahip fotonların maddede hızı $c=\lambda \times f$, enerjileri $E=h \times f$. Formül ile bulunur. Gösterilen denklemler, daha yüksek frekanslı dalgaların daha fazla enerjiye sahip olduğunu, daha uzun dalga boylarına sahip dalgaların ise daha az

enerjiye sahip olduğunu göstermektedir. Enerji sırasına göre radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole (ultraviyole), X ışınları ve gama ışınları olarak sıralanırlar. Gama ışınları en yüksek enerjiye, en kısa dalga boyuna ve en yüksek frekansa sahiptir. Evrendeki tüm elektromanyetik dalgaların sınıflandırıldığı elektromanyetik spektrum (EMS) (spektrum), aşağıdaki Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Elektromanyetik Spektrum [104].

2.4.1. Elektromanyetik Dalgaların Etkileri

EMD'lerden hayatımızın hemen her alanında yararlanıyoruz. Teknolojinin ilerlemesi ile bu dalgaların konumu daha kalıcı ve gerekli hale gelmektedir. Radyo, televizyon, uydu gibi cihazlarda radyo dalgaları. fırınlardaki mikrodalgalar, telefon sinyalleri taşıyan radarlar; termal kameralarda sıcak cisimlerin yaydığı kızılötesi dalgalar; dezenfeksiyon için ultraviyole dalgaları; X-ışınları ve kanser tedavisi, tıpta teşhis ve tedavi için, astronomide ise gama ışınlarından yararlanılmaktadır. Yüksek frekanslı X ışınları ve gama ışınları, insan vücudundan kolayca geçebildikleri için tıbbi uygulamalarda sıklıkla kullanılır [105]. Sürekli iç içe olduğumuz EMD'ler hayatımızı kolaylaştıran etkilerinin yanı sıra birçok zararlı etkiye de sahiptir. Elektromanyetik kirlilik her geçen gün artıyor ve bu bizi olumsuz etkiliyor.

EMD'lerin etkileri türlerine, enerjilerine, mesafelerine ve maruz kaldıkları süreye göre değişir. Karşılaştığı atomun yörüngesinden elektronları uzaklaştırarak

iyonlaşmaya neden olan, yüksek enerjili, kütsüz ve yüksüz X ve gama ışınları, maddenin çok derinlerine inerek atomların ve moleküllerin yapısında değişikliklere neden olabilir; Düşük enerjili radyo dalgalarına, mikrodalgalara, görünür ve ultraviyole (düşük dalga boyu hariç) dalgalara uzun süre maruz kalmak, iyonlaştırıcı olmayan ancak atomu daha yüksek bir seviyeye yükseltebilir, tehlikeli sonuçlar doğurabilir [106].

Düşük frekanslı cep telefonları, Wi-Fi, bilgisayarlar ve televizyonlar gibi telekomünikasyon cihazlarının ürettiği elektromanyetik radyasyona maruz kalan kişiler, enerjiyi emme yeteneğine sahiptir. Bu dalgalar canlı organizmalar üzerinde termal ve termal olmayan etkiler yaratır. Ortaya çıkan termal etki, insan vücudunun mekanizması tarafından kolayca nötralize edilir [107]. Öte yandan, termal olmayan etkiler arasında uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları, baş ağrıları, hatta kanser, nörolojik semptomlar, zihinsel bozukluklar, kardiyovasküler bozukluklar, fetal anormallikler, göz bozuklukları, yüksek doz ve maruz kalma sonucu depresyon sayılabilir [108]. Genel olarak sağlığa zararsız bir etkisi olduğuna inanılan düşük frekanslı EMD'lerin zararları yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Örneğin, Miller ve ark. (2019) araştırmalarında uzun süre düşük frekanslı dalgalara maruz kalan çocukların beyinlerinin yetişkinlere göre daha fazla etkilendiğini ve bunun da çocukların beyin gelişimini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Yine hayvanların bu radyasyondan nasıl etkilendiğini araştırmak için Torres-Duran ve ark. (2007), farelerin iç organlarının düşük frekanslı dalgalara maruz kalma sonucu zarar gördüğünü gözlemlemiştir [23,24,109].

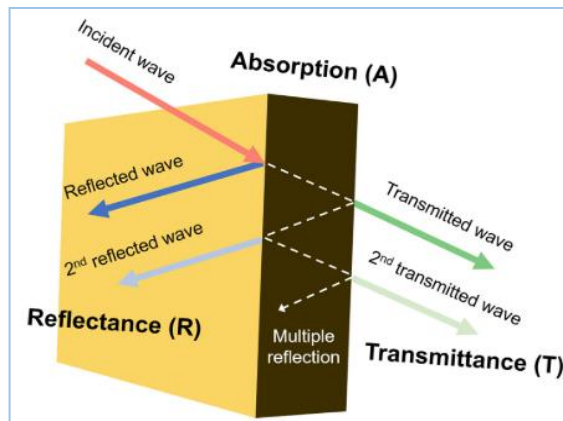
2.5. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Elektromanyetik spektrumdaki farklı dalga türlerinin madde ile etkileşimi üzerinde çok farklı etkileri vardır. Bu etkileşim malzemenin kimyasal özelliklerine, yoğunluğuna ve kalınlığına, çevresel koşullara ve EMD'lerin özelliklerine bağlıdır. [110]. Düşük frekanslı radyo dalgaları evimizin duvarlarından ve hatta yanımızdaki insanlardan kolaylıkla geçebilir. Mikrodalgalar kızılötesi ve görünür ışığa doğru ne kadar çok hareket ederse, dalgalar malzeme tarafından o kadar fazla emilir. Düşük UV aralığında, güneşin tüm UV ışınları cildimiz tarafından emilebilir. X-ışınları ve

gama ışınları etkileştikleri maddelerin özelliklerine göre belirli bir hızda emilirler. Her EMD'nin uyarılması için belirli bir kuantum enerjisi vardır. Gelen radyasyonun kuantum enerjisine uyan delikler kuantize enerji seviyelerine sahip değilse, malzeme radyasyona karşı şeffaf olacaktır. Ancak dalga enerjisi emilir ve malzemeyi iyonize etmezse malzemeyi ısıtır [111]. Genel olarak malzeme ve EMD arasındaki etkileşim; Yansıma, soğurma ve iletme olarak üç şekilde oluşur [112].

2.6. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA

Çevremizdeki EMD'leri hayatımızı kolaylaştırdığı için bırakamayacağımız için zararlı etkilerini en aza indirecek adımlar atılmalıdır. Radyasyondan korunmanın üç temel kuralı şunlardır: zaman, mesafe ve koruma. Bu koruyucu yasaların en etkili ve kalıcı olanı, radyasyonun kaynağını ve onun malzemelerle etkileşimini inceleyenlerdir. Radyasyon kaynağı ile dozdan etkilenmesi muhtemel kişiler arasında perde görevi gören duvar, tuğla, beton, kurşun gibi malzemelerin yerleştirilmesine perdeleme denir [113,114]. Koruyucu terimi, elektrik mühendisliğinde koruyucu olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır. Cihaza giren (veya cihazdan çıkan) sızıntı alanlarını azaltmak için ekranlama kullanılır. Ekranlama verimliliği (SE) veya ekranlama verimliliği (EE), ne kadar iyi korunduğunu gösteren desibel (dB) cinsinden bir parametredir [115].



Şekil 2.8. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması [116].

Bir malzemenin koruyucu etkisi, malzemenin kalınlığı, iletkenliği, geçirgenliği ve gelen dalganın frekansı gibi faktörlere bağlıdır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, yayımlı t kalınlığında bir duvarda, EMD'lerin etkisi üç şekilde azaltılır. Birincisi duvardan yansıma, ikincisi EMD'lerin emilmesi ve üçüncüsü duvar içindeki ardışık kayıplar (çoklu yansımalar) [115,117]. Teorik olarak, koruma verimliliği (SET), denklem (1)'de gösterildiği gibi yansıma (SER), absorpsiyon (SEA) ve çoklu yansıma (SEM) olarak bilinen üç mekanizmanın toplamı ile elde edilir [118].

$$SE_T = SE_R + SE_A + SE_M$$

Burada, SE_T 15 dB'den büyükse, SE_M katkısı ihmal edilebilir [119]. Ayrıca giriş ve çıkış gücü P, elektrik alanı E ve manyetik alan H'nin logaritmik oranlarına göre hesaplanan SE EMD'lerinin eşdeğer sonucu elde edilebilir [120,121].

$$SE_T = 10 \log \frac{P_I}{P_T} = 20 \log \frac{E_I}{E_T} = 20 \log \frac{H_I}{H_T}$$

Ortalama değer olarak 30 dB SE kabul edilmiştir. Genel olarak, çoğu problem 40 dB SE değeri ile çözülebilir. Askeri sistemlerde bu değer 100-120 dB arasında olabilir. Spesifikasyondaki telefon kabloları için istenen değerler yaklaşık 80-90 dB'dir. Koruma amaçlı kullanılan malzemeler üç gruba ayrılır [122];

- a. Yüksek performans malzemeleri Çelik paslanmaz çelik bakır gibi malzemelerden yapılmış ve tümüyle metal kaplı kutu (80-120 dB ekranlama etkinliği)
- b. Standart performans malzemeleri Metal parçacıklı plastikler ya da İletken metal katmanlar (koruyucu etki 20-40 dB)
- c. Zayıf performanslı malzemeler: Metalize kumaş yapıları ve iletken polimerler, (ekranlama verimliliği 15-30 dB)

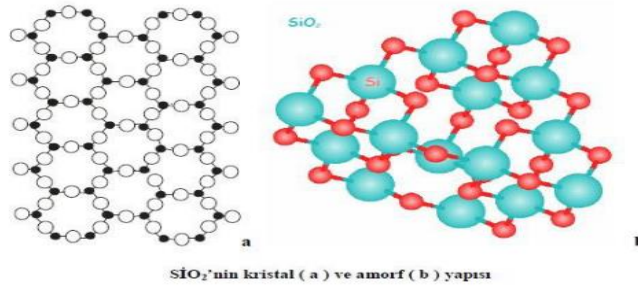
2.7. CAM VE SERAMİK CAM

Cam ve seramik cam seramik malzemeler grubunda yer almaktadır. Ana kullanım alanı pencere camı, mutfak eşyaları, lensler ve cam elyafı olan cam amorf tur ve ana bileşeni SiO_2 'dir. Bir bardak sıradan limon sodası %70 SiO_2 ve geri kalanı Na_2O (soda) ve CaO (kireç)'dir. Birçok mineral cam, yüksek sıcaklıklarda ısıl işleme

kristalleştirilebilir. Bu işleme "kristalizasyon" denir ve bu işlemde kaynaklanan ince taneli kristal yapıya seramik cam denir. Amorf yapıdan cam-seramik yapıya dönüşüm, TiO_2 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 oksitleri veya altın ve platin çekirdekler gibi değerli metaller kullanılarak sağlanır. Mükemmel biyouyumluluğa sahip olan bu malzemeler diş uygulamalarında ve diğer implantlarda da kullanılabilir [123].

2.7.1. Cam

Cam, erimiş halden oda sıcaklığına hızla soğuyan ve bu süre içinde kristalleşmeyen amorf (yarı-düzenli) bir malzemedir.



Şekil 2.9. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması [124].

Cam fiziksel olarak katı, ultra soğuk bir sıvıdır ve bilinen bir erime noktası yoktur ve kristalleşmesini önleyen yeterli viskoziteye (1013 ppm'den büyük) sahiptir. Kimyasal olarak bu kompleks ürün, kum, alkali ve alkali toprak bileşikleri ve diğer cam bileşenlerin ayrışmasından oluşan uçucu olmayan inorganik oksitler tarafından oluşturulan alkalın ve alkalın toprak silikatlardan oluşur. Cam, tamamen donmuş berrak bir ürün olabilir veya birçok durumda, büyük miktarda cam ürünü ile nispeten az miktarda cam olmayan materyalin bir süspansiyonu olabilir.

Camlar, alkali toprak iyonları içeren camlar yeterli silikaya sahip olduklarında suda çözünmezler, ancak alkali metallere yapılan camlar normal sıcaklıklarda bile su ile hidrolize olur ve bu nedenle cam olarak işlev göremezler. Buna göre kullanılacak cam yapımı için, soğutulduklarında suda hidrolize uğramayan karışımlar hazırlanır ki bu hususta özellikle adi cama ait olan $SiO_2 \cdot CaO \cdot Na_2O$ üçlü sistemini söylemek gerekir.

Normal sıcaklıklarda camların viskozitesi o kadar yüksektir ki, kristalleri oluşturmak için gereken atomik hareketler imkansızdır, ancak kristalleşebilirler (doğru sıcaklığa ısıtılarak). Görünen o ki, cam, termodinamik olarak şekli sabit bir kristale dönüşmeye çalışan, ancak viskozitesi nedeniyle bunu yapamayan kararsız bir malzeme olarak kabul edilebilir. Cam ayrıca viskozitede, özgül ısıda veya nispeten sınırlı bir sıcaklık aralığında, yani bir alan üzerinde genişlemede önemli ölçüde değişir. Viskozite değişimi bu konuda özellikle önemlidir. Camın viskozitesi katı halde 1013 ppm'ye, pastörize edilmemiş halde ise 107 ppm'ye düşer [124].

Cam üretiminin başlangıcı (birincil ferrit veya cam veya yarı saydam kiremit) MÖ 16. Yüzyılın sonuna yaklaşıyor ve cam teknolojisi açısından çok önemli bir aşama. Kuzey Mezopotamya'daki Mitani krallığında keşfedilen ilk züccaciye, küçük şişe, bardak, bardak şeklinde ve "içten kalıplama" yöntemiyle üretilmiştir. Bilinen ilk cam eşya, M.Ö. Mısır cam boncukları MÖ. 2500 yılına kadar uzanmaktadır. Araştırmacılar, Mısır'dan önce kuzey Mezopotamya'da, özellikle Horian Mitani bölgesinde cam eşya yapıldığını öne sürüyorlar. Hammaddesi kum, soda ve kalker olan cam, başlangıçta büyük kütleler halindeydi.

Pek çok camın kristalize veya dehidre edilebildiği bilinmesine rağmen seramik camın pratikteki gelişimi son yıllara dayanmaktadır. Bu konudaki ilk girişim, 1730'larda Fransız kimyager Remour tarafından camdan polikristal malzemeler elde etmektir. Remour yaptığı araştırmalarda, cam şişelerin kum ve alçı karışımına konulup uzun süre yüksek sıcaklıkta tutulması durumunda mat porselene benzer polikristal seramiklere dönüşeceğini göstermiştir. Bununla birlikte, Reamur camı polikristalin seramiklere dönüştürebilse de, gerçek seramik cam üretmek için gereken kontrollü kristalleşmeyi başaramadı. Kullandığı tekniklerle elde edilen malzemeler düşük mekanik dayanıma sahipti ve ısı işlem sırasında deformasyon meydana geldi. Reamur'un çalışmasından 200 yıl sonra, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Corning Glass Work'te yapılan çalışmalar cam-seramiklerin mevcut durumuna ışık tuttu. Buradaki ilk önemli adım, ışığa duyarlı camların keşfi oldu. Camlara bakır, gümüş ve altın eklenerek ısı işlem uygulanırsa bu camlarda çok ince kristaller birikecektir. Bu işlemi hızlandırmak için ısı işleme başlamadan önce cama ultraviyole ışık uygulanır.

Camın maskeleri, negatifleri veya fotografik görüntüleri seçici uyarım ile üretilir [125].

Daha sonraki gelişmeler, ışığa duyarlı camların, önceki kristallerin üzerine daha fazla kristalin birikmesiyle uyarılmış bölgelerde opak hale gelebileceğini gösterdi. Işığa duyarlı camlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Ancak bu çalışmalarda üretilen kristallik sadece belirli bölgelerde olduğundan cam-seramik olarak tam olarak kabul görmemiştir.



Şekil 2.10. Işığa duyarlı camlar [126].

S. D. Stookey, Corning Glass Works'teki çalışmasında, ışığa duyarlı camın normal ısı işlem sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtıldığında erimeden çok kristalli mat bir seramik haline geldiğini gösterdi. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, ısı ve elektrik yalıtımı camın ilk haline göre daha iyiydi. Burada camdan cama dönüşüm, yapıda bozulma olmaksızın, sadece boyutlarda çok küçük bir değişiklik olarak elde edilir. Bu malzeme ilk gerçek seramik cam olarak kabul edilir. Yapıdaki küçük metal kristaller, matrisi amorf tan kristale dönüştürmek için çekirdeğin merkezinin etkisini gösterir. Çevrede çok sayıda çekirdeğin bulunması ve bunların yapı içinde üniform dağılımı, kristal büyümesinde muntazam bir ilerlemeye yol açmıştır. Ortaya çıkan kristal iskelet, sıcaklık arttıkça camın gücünü korumasını sağlar.

Işığa duyarlı metallerin ve camların kontrollü kristalizasyonu için katalizörler olarak çekirdekleştiricilerin uygulanmasındaki başarı, çeşitli yeni çekirdekleştirici katalizörlerin kullanımının yolunu açmıştır. Bu son yöntemler genellikle camdaki koloidal partiküller için çekirdeklenme merkezleri olarak hareket ederek kristallerin

camda biriktirilmesiyle ilişkilidir. SD. Stookey, çekirdekleştirici olarak TiO₂ kullanan çok çeşitli cam bileşikleri geliştirmiştir. Öte yandan, McMillan ve diğerleri, camların kontrollü kristalizasyonu için metal fosfatların da kullanılabileceğini buldu. Daha sonraki birçok çalışma ile, farklı ülkelerdeki araştırmacılar, cam-seramik üretimi için farklı tipte çekirdekleştirici katalizörler buldular [125].

2.7.2. Seramik Cam

Cam-seramik malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi, aşırı soğutulmuş sıvılarda çekirdeklenme ve kristalleşme çalışmaları ile yakından ilgilidir. Bu iş için en uygun ortam camdır. Cam benzeri sıvıların yüksek viskozitesi, çekirdeği ve kristal büyümesini kontrol eden bir mekanizma olan difüzyon yoluyla atomik yeniden düzenlenmelerine göre yavaş yavaş meydana gelir. Viskozite, sıcaklık düştükçe hızla arttığı için, hızlı soğutma ile kristalleşme durdurulabilir. Aslında kristal büyümesinin çeşitli aşamaları ve ilerlemesi, hızlı soğutma uygulaması ile genel kontrol yöntemleri ile takip edilebilir.

Çekirdeklenme ve kristal büyümesi çalışmaları, amorf faz ayrımı ile yakından ilişkilidir. Mesele şu ki, hem faz ayrımı hem de cam özelliklerinin düzeltilmesi yapısal değişikliklerle ilişkilidir. Ayrıca bir önceki fazın ayrılmasının camın kristalleşmesine etkisi cam-seramik şekillendirme ve camın stabilitesi için büyük önem taşımaktadır. Kimyasal bileşimi, kimliği ve kristalleşme derecesi, amorf camdan seramik cama neredeyse tam dönüşümünü etkiler.

Cam-seramik sistemlerdeki temel çalışmalar, malzeme biliminin diğer alanlarıyla da ilgilidir. Çünkü bu malzemeler, diğer malzeme sınıflarıyla elde edilemeyen birçok fiziksel özelliğe sahip bileşikler içerir. Seramik camın gelişimi, camla ilgilenen araştırmacıların ilgi alanı haline geldi. Cam üretim ve şekillendirme yöntemlerini içeren cam-seramik, farklı cam ve cam bileşiklerinin geliştirilmesi sonucunda yeni cam-seramik türlerinin araştırılmasını da teşvik etmiştir. Cam-seramik malzemelerin gelişimi, geleneksel camın gelişimine ve üretim süreçlerine de önemli katkılarda bulunmuştur. Malzemenin kimyasal bileşimini değiştirmeden kontrollü ısı işlem

koşullarını değiştirerek mevcut kristal fazları değiştirmek ve farklı kristalografik bileşimler elde etmek mümkündür.

Çizelge 2.2. Çeşitli sıvıların ergime noktasındaki viskoziteleri [124].

Madde	Ergime Sıcaklığı (°C)	Viskozite (Poise)
Su	0	0.02
Na	98	0.01
Zn	420	0.03
B ₂ O ₃	450	105
SiO ₂	1710	107

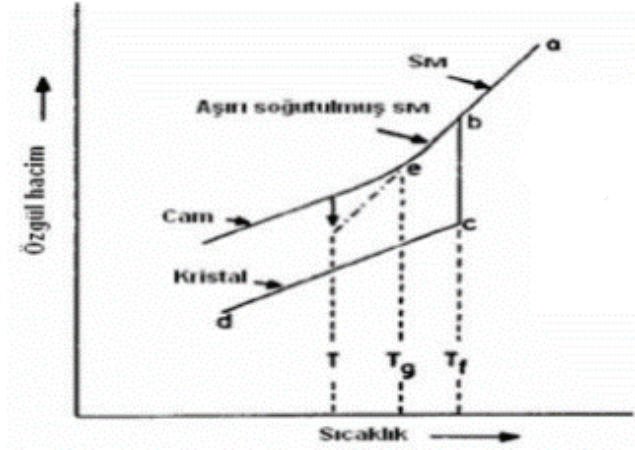
Teknolojinin ilerlemesi ile artan endüstriyel atıkların değerlendirilmesi sadece bugünü değil geleceğimizi de etkilemektedir. Cam-seramik malzemelerin üretiminde yüksek fırın demir-çeliği ve kubbe cürufu, cam fabrikası atıkları, filtre tozu, termal rüzgâr atıkları, termik santral atıkları ve doğal volkanik kayaların kullanımı konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu tür malzemelerin birbirleriyle farklı oranlarda birleştirilmesi ve farklı çekirdeklerin eklenmesiyle elde edilen seramik cam malzemeler, farklı özelliklere sahip yeni malzemelerin elde edilebilme olasılığı açısından bilimsel çalışmalar için oldukça önemlidir [127,128].

2.8. CAM VE CAMLAŞMA

Çoğu element ve bileşik, doğru sıcaklığa ısıtıldığında viskozitesi suya yakın olan sıvılar oluşturur. Bu sıvılar donma noktasına geldiklerinde hızla kristalleşir ve katılaşır. SiO₂, GeO₂, B₂O₃ ve BeFe₂, yüksek viskoziteli sıvılar oluşturur ve bu sıvılardaki atomlar veya moleküller hareketli olmadığı için çok yavaş kristalleşir. Kristalleşme hızı yeterince yavaşsa, eriyik kristalleşme olmaksızın donma noktasının altına kadar soğutulabilir. Kristalizasyon sırasında, eriyiği oluşturan iyonlar ve moleküller yapının içinde düzenlenir. Soğudukça viskozitesi artan eriyik, mekanik özellikler açısından elastik bir katı haline gelir ve bu katıya cam denir [129].

2.8.1. Cam Dönüşümü

Erime sonrası cam bileşenlerinin sıvı, kristal ve cam formları arasındaki ilişki, Şekil 3.1'de sunulan hacim-sıcaklık diyagramı ile açıklanabilir. Sıvı, a noktası ile gösterilen başlangıç noktasından soğudukça, a-b doğrusu boyunca özgül hacmi azalır. Eriyik kristalleşmeden soğumaya devam ederse, hacimde ani bir değişiklik olmaz ve hacim b-e çizgisi boyunca azalır. Maddenin b ve e noktaları arasındaki durumuna aşırı soğuk veya aşırı soğuk denir. Soğutma yeterince yavaşsa ve sıvıda çok sayıda çekirdek varsa, T_f sıcaklığında kristalleşme meydana gelir ve b-c eğrisi boyunca hacim azalır. Cam için sıcaklığa özel hacim diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. Soğumaya devam ettikçe kristal ürün c-d yönünde büzülür [130].



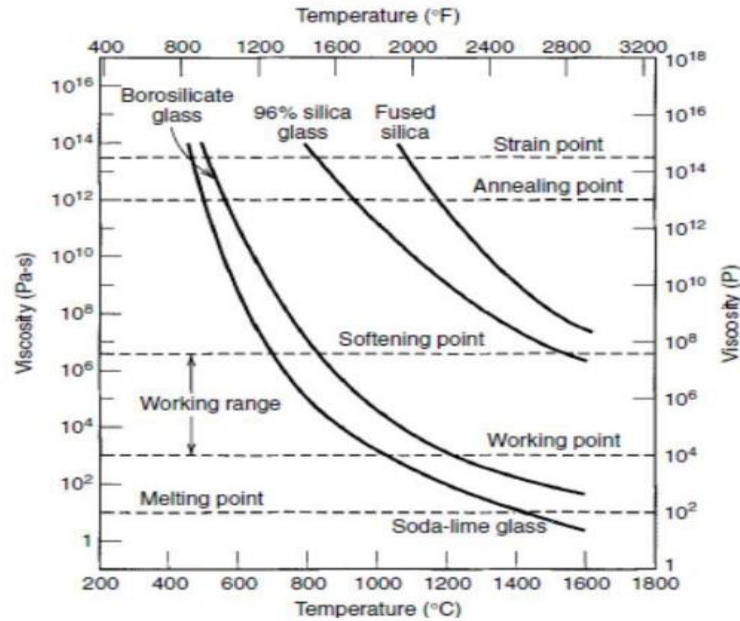
Şekil 2.11.. Sıcaklık-özgül hacim ilişkisi [130]. Tg:Camın dönüşüm sıcaklığı
Tf:Kristaller için dönüşüm sıcaklığı, T: T sıcaklığı.

Eğimin değiştiği Tg sıcaklığına camsı geçiş sıcaklığı veya camsı geçiş sıcaklığı denir. Sadece Tg sıcaklık camının altındaki malzemelere denilmesi doğrudur. Tg'de viskozite, 10³ ppm'de çok yüksektir. Tg sıcaklığının değeri soğuma hızına bağlıdır ve soğuma hızı azaldıkça Tg sıcaklığı düşer.

Cam, Tg'den daha düşük bir T sıcaklığında tutulursa, hacmi, aşırı soğutulmuş sıvının hacim-sıcaklık eğrisinin devam ettiği, kesikli çizgi ile gösterilen çizgi üzerindeki noktaya kadar kademeli olarak azalır. Dönüşüm sıcaklığına yakın sıcaklıklarda camın diğer özellikleri de zamanla değişir. Camın daha stabil hale geldiği bu işleme stabilizasyon denir.

Bir cam için, kristal malzeme gibi sıvıdan katıya geçişte kesin bir erime noktası yoktur ve dönüşüm bölgesindeki sıcaklık azaldıkça viskozite sürekli olarak artar. Bu dönüşüm alanı camdan cama değişir. Camın viskozite-sıcaklık eğrisi, cam şekillendirme yöntemini belirlemede çok önemlidir. Eritme tankındaki camın viskozitesi 102 ppm iken şekillendirme aşamasında 103-106 ppm aralığındadır. Camın viskozitesinin 104 olduğu sıcaklığa çalışma noktası denir. 107.6 viskoziteye sahip sıcaklık, camın yumuşama noktasıdır. Viskozite 1014,5 olduğu sıcaklık, gerilim noktası (strain point), 1013,4 olduğu sıcaklık ise tavlama noktası (annealing point) olarak ifade edilir.

Bazı camlar için viskozite-sıcaklık eğrileri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Viskozite ekseninde camın yapımı ve işlenmesi ile ilgili birkaç önemli nokta tespit edilmiştir.



Şekil 2.12. Ergimiş silika ve üç silika camın viskozitelerinin sıcaklıkla olan değişimi [131].

2.8.2. Cam Yapıcı Sistemler

En önemli cam üreticileri SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5 'tir ve günümüzde kullanılan ticari camların çoğu bu oksitlerden yapılır. Bu oksitler tek başına cam oluşturabilir ve

bileşimine farklı oksitler katılarak farklı camlar elde edilir. Bazı basit cam yapım sistemleri ve erime noktaları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Basit cam yapıcı malzemeler [132].

Materyal	Ergime Noktası (°C)	Materyal	Ergime Noktası (°C)
Se	490	BeF ₂	823
SiO ₃	1996	As ₂ S ₃	583
B ₂ O ₃	723	Toluene	178
GeO ₂	1389	Ethanol	156
As ₂ O ₃	551-582	Glycerol	186
P ₂ O ₅	695-853		
ZnCl ₂	591		

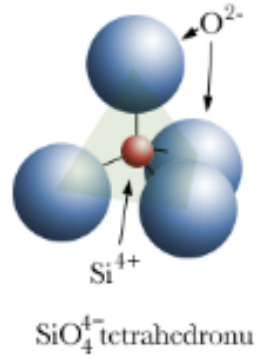
2.8.3. Camın Yapısı

Camın yapısı hakkında çok sayıda teori geliştirilmiştir. Goldmashit yarıçap oranı kriterleri ve Zachariasen serbest ağ modeli bunlardan bazılarıdır. Her ikisi de koordinasyon sayısı ilkesine dayanmaktadır. En çok kabul gören teori Zachariasen serbest ağ modelidir.

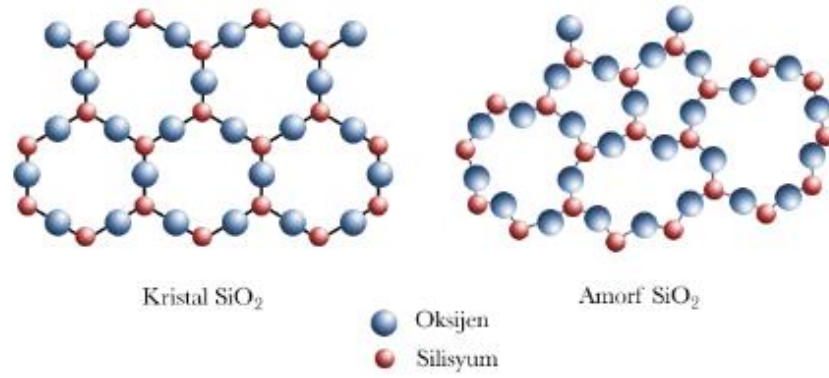
Camlardaki kristal kimyası ve kuralların da geçerli olduğu kabul edilmektedir. Cam oluşum kuralları şöyledir:

- Hiçbir oksijen atomu iki katyondan daha fazlasına bağlanamaz.
- Kasyon koordinasyon numarası küçük olup 3 veya 4'tür.
- Oksijen polihedra kenar ve yüzeyleri değil, köşeleri paylaşır.
- 3D ağlar için en az 3 köşe paylaşılmalıdır [132].

Camların yapısından düzensiz olarak bahsediyor olsak da rastgele bir sıra vardır. Günlük hayatımızda kullandığımız cam eşyaların temelini oluşturan SiO₂'ye bakacak olursak, camın tabanındaki silikon dioksit atomlarının (SiO₂) dizilimi kristal yapı olarak Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te görülebilir ve amorf yapı.. Kristal SiO₂, her silikon atomuna dört oksijen atomunun bağlı olduğu dörtgen bir simetri gösterir[131,133].



Şekil 2.13. SiO_2 (silika) tetrahedrasının şematik görüntüsü [134].



Şekil 2.14. SiO_2 'nin kristal ve amorf yapısı [134].

2.8.4. Camların Sınıflandırılması

Pek çok farklı kimyasal sistemlerde cam yapımı mümkün olmakla birlikte, piyasada en çok kullanılan camlar SiO_2 ve B_2O_3 esaslı camlardır. En yaygın kullanılan camlar şöyle sıralanabilir;

- Silika camı – SiO_2
- Su camı – $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$
- Züccaciye, düzcam, cam ambalaj – $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$
- Kristal camı – $\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$
- Isıya dayanıklı camlar - $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$
- Alkalisi düşük camlar – $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

2.8.5. Camı Oluşturan Maddeler

Cam Silika, potas veya soda, kireç ve bazen çeşitli katkı maddelerinin karıştırılması ve yüksek sıcaklıkta eritilmesiyle elde edilen şeffaf, yarı saydam veya opak, amorf ve hızlı dondurulan maddedir. Başka bir kaynağa göre; En önemli hammadde, yerkabuğunun %60'ını oluşturan silikadır (SiO_2). Diğer önemli hammaddeler arasında tuz, soda (NaCO_3) ve fosilleşmiş deniz organizmalarından oluşan kireçtaşı (CaCO_3) tortularının buharlaşmasından elde edilen sodyum karbonat bulunur. Kuma soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{Na}_2\text{O}$) ilavesi genellikle $1725\text{ }^\circ\text{C}$ 'de eriyen silikanın $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dahi eritilebilmesini sağlar. Kireçtaşı ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$) camın sertliğini ve kimyasal direncini artırır. İlk bardaklarda soda yerine deniz yosunu külü kullanıldı. Kasıtlı olarak kalker ilavesi Roma İmparatorluğu'ndan sonra başlamıştır.

Kireç camın sertliğini ve mukavemetini artırır. Kurşun camı yumuşatır, parlak bir etki verir ve parlaklık derecesini belirler. Boraks camı sertleştirirken, sıcak ortamlardaki direncini ve termal şok a karşı direncini artırır. metal oksitler; Cam üzerindeki rengi belirler ve camın farklı renklerde oluşmasını sağlar. Yapısında oksitlenmiş cam, spektrumun görünür ışık kısmını iletir. Bu özelliğinden dolayı cam üzerinde ilginç renkler elde edilebilmektedir [134–136].

%70 silika (silis dioksit), %15 soda (sodyum karbonat), potasyum (potasyum karbonat), %10 kireç (kalsiyum karbonat) ve %5 diğer katkı ve renklerin karışımının yüksek sıcaklıkta (1500 derece) eritilmesiyle oluşur. Santigrat).). Cam karışımları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Cam karışımları [137].

NORMAL CAM	KRİSTAL CAM
% 75 Silis	% 48 Silis
% 15 Soda	% 24 Potas+Soda
% 10 Kalker	% 28 Kurşun Oksit

Bu karışımlardan elde edilen cam, genellikle renksiz ve saydamdır. Renksiz ve saydam cam, değişik katkı maddeleri ile renklendirilmektedir.

Cam yapay olarak yapılmadan önce doğada obsidiyen ve kaya kristali olarak bilinen iki tür cam bulunurdu. Obsidiyen camı volkanik kökenlidir. Yassı obsidiyen parçalar parlatılarak ayna veya kiriş, mızrak ucu ve çeşitli kesici aletler olarak kullanılmıştır. Taş kristal cam kullanılırken genellikle yüzeyleri taşla ovulur ve çeşitli dekoratif aletler yapılır. Bu altıgen prizma camlar çeşitli yöntemlerle sanat eseri haline getirilmiştir [137].



Şekil 2.15. Yarı işlenmiş Obsidiyen camlar [137].

2.9. LİTERATÜR TARAMASI

2000 yılından bu yana jeopolimer çalışmalarının yayın sayısına ilişkin istatistikler, Scopus'taki literatür taramasında verilmektedir. Geopolimer çalışmalarının ...doğal puzolanlarla yapılırken, elektromanyetik kalkanlar üzerinde % beton üzerinde ve % geopolimer malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Aşağıda detayları verilen çalışmalar konuya yakın çalışmalardan seçilmiş olup, bu çalışmalardan elde edilen bilgilere göre çalışma planlaması ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Yenidünya (2013), Çalışmada aşağıdaki parametreler incelenmiştir. Bu parametrelerden ilki beton sınıfı olup, beton numuneleri C20 ve C35 olmak üzere iki farklı sınıfta üretilmiştir. İkinci parametre ise üretilen betonda kullanılan çelik lif miktarıdır. Her iki beton sınıfı için ayrı ayrı 25 kg/m³ ve 40 kg/m³ çelik lif içeren beton karışımları hazırlanmıştır. Ayrıca karşılaştırma amacıyla her iki beton sınıfında da çelik lif içermeyen beton karışımları hazırlanmıştır. Üçüncü parametre, üretim sonrası beton için üç farklı işleme uygulamasıdır. Numunelere su, hava ve buhar işlemi uygulanmıştır. Dördüncü parametre olarak buharlı pişirme uygulamasında iki farklı maksimum sıcaklık değeri (650 °C ve 850 °C) uygulanmıştır. Tüm bu parametrelerle amaç, buhar kürü uygulamasının çelik lifler içeren betonun

dayanımına etkisinin araştırılmasıdır. İki farklı beton sınıfı için 15cmx15cmx15cm ebatlarında toplam 270 adet küp ve 15cmx15cmx75cm ebatlarında 81 adet prizmatik numune üretilmiştir. 270 kübik örnekten 162'si buharla, 54'ü suyla ve 54'ü havayla pişirilmiştir. 81 prizma örneğinden 54'ü buharla, 27'si suyla pişirilmiştir. Bu çalışmada çelik liflerin ve kimyasal katkılı betonların mekanik dayanımları dört farklı durumda belirlenmiştir. Sonuç olarak, farklı derecelerde ve farklı oranlarda çelik liflere sahip beton numunelere uygulanan buhar işleminin betonun basınç ve eğilme dayanımına etkisi araştırılmıştır [5].

Öksüzer (2016) Yaptığı çalışmada Bibort taş atığı ve mermeri farklı oranlarda kullanmış ve 10M NaOH ile aktive ederek geopolimer pastalar üretmiştir. Farklı inceliklerdeki taş ve mermer hurdaları kullanılarak karışıma belirli oranlarda polipropilen mikro elyaf ilave edilerek elyafsız üretim de yapılmıştır. Üretilen numunelerin mukavemetine basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, su emme, kılcal su emme, birim ağırlık, aşınma direnci, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklığın etkileri belirlenmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde mikroyapısal analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda 90 günde %60 Bibort taşı kullanılarak fiber olmayan kompozitler için yaklaşık 34 MPa, fiber kompozitler için 39 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Görünür gözeneklilik değeri yaklaşık %25-45 olan geopolimer kompozit macunların su direncinin genellikle zayıf olduğu bulunmuştur [71].

Yadollahi, Varolgüneş, İşsever (2016), Geopolimerler, puzolanların aktivasyonundan yapılan sıradan Portland çimentosu betonu için alternatiflerdir. Geliştirmek için malzeme yeşilliği ve jeopolimer olarak alternatif bağlayıcılar üretmek, bu çalışmada ferrokrom cüruf jeopolimerinin mekanik özellikleri araştırılmış ve en iyi jeopolimer karışım oranlarını belirlemek için değişen silis modülü, su/bağlayıcı ve Na₂O içeriği incelenmiştir. Bu çalışmada ferrokrom cürufunu aktive etmek için Na₂O içeriği, silika modülü ve w/b oranlarında farklılık gösteren dokuz seri jeopolimer pasta üretilmiştir. Test sonuçları, üretilen jeopolimerlerin basınç dayanımının yeterince yüksek olduğunu ve yapısal bir malzeme olarak kullanılabilceğini göstermiştir [39]. İlkentapar, Örklem (2020), Bu çalışmada, diatomit ilavesinin F sınıfı uçucu kül esaslı jeopolimer harçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Diatomit katkılı jeopolimer harçların ısı iletkenlik katsayısı, ultrason iletim hızı, yarma gerilme

mukavemeti ve birim ağırlık özellikleri incelenmiştir. Çalışmada üretilen numunelerde ağırlıkça su/bağlayıcı oranı 0,31, kum/bağlayıcı oranı ise 3,0 olarak belirlenmiştir. Aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) seçildi ve bağlayıcı malzemeye göre ağırlıkça %10 Na⁺ içerecek şekilde kullanıldı. Diyatomit karışımlarda ağırlık bazında %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında bağlayıcı ile değiştirilmiştir. Üretilen jeopolimer harçlar, 24 saat boyunca bir fırında 90°C'de kafa kürüne tabi tutulmuştur. Sonuç olarak %1, %2, %3 oranında diyatomit ilavesi daha kompakt bir jeopolimer oluşmasını sağlarken, %4 ve %5 oranında diyatomit ikamesi daha gözenekli bir yapıya neden olmuştur. Buna paralel olarak en düşük ısıl iletkenlik katsayısı %5 diatomit ilavesi ile, en yüksek yarma mukavemeti ise %3 diatomit ilavesi ile elde edilmiştir [8].

Zeybek, Koç(2014), Uçucu kül esaslı jeopolimerlerde kalsit ilavesi ile üretilen malzemelerin farklı sıcaklıklarda sinterlenmesinin gözeneklilik üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla uçucu kül (100U) ve %20 kalsit katkılı uçucu kül (80U20K) ile jeopolimerik bileşimler hazırlanır. Bu bileşimlerin sodyum hidroksit (12M) ve sodyum silikat çözeltileri ile aktive edilmesi ve ardından numunelerin 80 °C'de 24 saat kürlenmesi ile jeopolimerik yapılar elde edilir. Üretilen jeopolimerik numuneler 500°C, 700°C ve 900°C sıcaklıklarda 30 dakika sinterlenir. Sıcaklık artış hızı 5°C/dk'dır. Jeopolimerik malzemelerdeki kalsitin sinterleme davranışı üzerindeki etkileri termal analiz (DSC) ile belirlenir. Üretilen malzemeler faz analizi (XRD), gözenekli boyut (cıva gözenek ölçer), görünür yoğunluk, açık gözeneklilik ve su emme analizi ile karakterize edilir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemelerdeki açık gözeneklilik değerleri azalmaktadır. Jeopolimerik malzemelerin 900°C'de sinterlenmesiyle nefelin gibi camsı fazların ortaya çıkması, 100U numune açık gözeneklilik değerini %29.78'den %12.30'a, 80U20K numune değerini %39.23'ten %32.65'e düşürür. Malzemelere kalsit ilavesi, camsı fazların ortaya çıktığı sıcaklık olan 900°C'de numunelerde gözeneklilik sağlar [9].

Mohabbi Yadollahi, Varolgüneş (2018), Altyapı çalışmaları dünya çapında büyüdükçe, Normal Portland Çimentosu'na (NPC) olan talep katlanarak artıyor. Bir ton çimento üretiminin, üretim sürecinde kireçtaşının kalsinasyonu ve fosil yakıtın yanması nedeniyle atmosfere bir ton CO₂ saldığını göstermiştir. Çimento üretimi

sadece enerji yoğun bir süreç değil, aynı zamanda enerji elde etmek için fosil kaynakları tüketen ve sera gazı üreten bir süreçtir. Davidovits (1978), polimerik reaksiyon ve uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve pirinç kabuğu külü gibi alümino-silikat malzemelerin aktivasyonu ile bağlayıcıların üretilebileceği yeni bir yol önerdi. Ayrıca kaya bazlı puzolanlardan üretilen jeopolimerler, güçlü kimyasal bağlar oluşturma özelliğine sahiptir. Elyaf takviyeli jeopolimer, mukavemet özelliklerini iyileştirmek için kompozit lifin mikro takviye olarak karışıma dahil edildiği nispeten yeni bir kompozit malzemedir. Amacı, normal çimentoya alternatif, eğilme ve basınç dayanımı yüksek, yapısal bir bağ geliştirmektir. Çalışmasında, polipropilen liflerin perlit esaslı jeopolimerlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Eksikliklerin giderilmesi ile jeopolimerlerin kullanışlı, çevre dostu bir malzeme olduğu vurgulanacaktır [10].

Saridemir (2017), Çalışmasında sodyum ile aktive edilmiş diatomit harçların eğilme ve basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Karbonat (Na_2CO_3) araştırıldı. Niğde Başmakçı bölgesinden temin edilen maksimum 0-5 mm ebatlı kırma kalker kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan bağlayıcıyı ve kırılmış kalkeri aktive etmek için kullanılan Na_2CO_3 miktarları sabit tutulmuştur. Sadece çimento ile üretilen kontrol harcı kontrolüne ek olarak, çimento ağırlığına göre 0, 25, 50, 75 ve %100 öğütülmüş diatomit ikame oranları ile birlikte sabit oranda Na_2CO_3 kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Ayrıca çimento ağırlığına göre %4 titanyum dioksit TiO_2 ikamesi kullanılan harç karışımları da aynı karışım oranlarında üretilmiştir. Üretilen numunelere test gününe kadar kuru veya yaş kürlenme uygulanarak eğilme ve basınç dayanımı değerleri belirlendi. Öğütülmüş diatomit ve TiO_2 ile kuru ve yaş küre uygulanan harçların eğilme ve basınç dayanımı sonuçları kontrol harçlarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Na_2CO_3 ile aktive edilen zemin diatomit harçlarının eğilme ve basınç dayanım değerlerinin çimento yerine kullanılan öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça azaldığını göstermiştir [4].

Gülşan (2015), kısa konsollar inşaat sektöründe önemli yapı elemanlarıdır ve özellikle endüstriyel yapılarda kirişler ile kolonlar veya duvarlar arasındaki kritik bağlantı bölgesidir. Bu nedenle mekanik davranışı ilgili yapının güvenliğini doğrudan etkiler. Betonarme kornişlerde ikincil donatı olarak çelik lif kullanımı, yük

taşıma kapasitesinde herhangi bir kayıp olmadan süneklik elde etmek için iyi bir seçenektir. Bu tez, çelik fiber takviyeli beton (SFRC) kornişlerin mekanik davranışını araştırmaktadır. SFRC korbelleri üzerinde detaylı bir araştırma yapılmıştır. Tez çalışmaları için SFRC korbellerinin Deneysel, Sonlu Elemanlar (FE), Stokastik ve Güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Deneysel ve sonlu eleman analizleri sonucunda, SFRC korbellerinin mekanik çıktıları yorumlanmış ve SFRC korbellerinin kırılma modu ve çatlak paterninin tahmini için kurallar önerilmiştir. Ayrıca, stokastik ve güvenilirlik analizleri sonucunda uygun olasılık dağılım fonksiyonu, direnç faktörü ve istatistiksel parametreler (bias faktörü ve değişim katsayısı değeri) önerilmiştir. Tez çalışmaları kapsamında SFRC korbellerinin yük taşıma kapasitesinin tahmini için sayısal bir formülasyon önerilmiştir. Sayısal model, literatürden elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum sergilemekte ve model üzerinde uygulanan parametrik çalışmalar, SFRC korbellerinin nihai yük kapasitesi için güvenle kullanılabilceğini göstermektedir [138].

Düzgün (2001), Hafif agregalarla üretilen beton, hafiflik, depreme dayanıklılık, tasarruf, ısı ve ses yalıtımı, yangına dayanıklılık gibi üstün özelliklere sahiptir. Ayrıca betona lif ilavesinin betonun özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir. Yukarıda kısaca bahsedilen nedenlerden dolayı bu çalışmada doz (300 kg/m³) sabit tutulmuş, normal agrega hacimce %25, %50, %75 ve %100 azaltılarak Erciş bölgesinden pomza ile değiştirilmiştir. Erzurum'un Van ve Psinler bölgeleri inşa ediliyor. Hacimce %0, 0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında 60 mm uzunluğunda ve 0,80 mm çapında kancalı çelik lifler ilave edilerek üretilen her bir betonun taze ve sertleşmiş özellikleri belirlenmiş ve ardından kontrol edilmiştir. sonuçları ile karşılaştırılarak bims ile üretilen hafif beton karışımına çelik lif ilavesinin beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Örnekler. Pomzanın Erzurum ve Van başta olmak üzere Doğu Anadolu'nun birçok bölgesinde özellikle briketlemede kullanılması bu malzemeyi daha hafif agrega kılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, karışımdaki çelik lif oranının arttırılmasının beton ünitesinin ağırlığı üzerinde fazla bir etkisi olmadığını, ancak basınç dayanımını, çekme dayanımını, eğilme dayanımını, elastisite modülünü ve deforme olabilirliği arttırdığını göstermiştir. Sonuç olarak hafif agregalı betonlarda çelik liflerin kullanılması ile hafiflik, ısı ve ses yalıtımı gibi özellikler ile

bir yapı elemanında istenilen mukavemet aynı anda sağlanmaktadır. Böylelikle yapının ağırlığı azaltılarak daha ekonomik çözümler elde edilebilir [139].

Pekdemir (2020), Çalışmasında; polipropilen lif katkısının farklı oranlarda eklenmesi sonucu oluşan Fiber katkılı beton numunelerinin çekme ve basınç eğilme dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. lifsiz bir beton seti (kontrol betonu) ve %0,25'lik 6 set; %0.50; %0.75; %1.0; %1.25; Hacimce %1,5 lif içeren beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler uygun laboratuvar koşullarında olgunlaştırılarak taze betonun birim kütlesi, 1 ve 28 günlük betonun birim kütlesi belirlenerek kayıt altına alınmıştır. Üretilen silindir ve kiriş numunelerine basma ve eğilme çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca taze beton kıvamını belirlemek için silindirik numuneler üretilmiş ve oturma oranı belirlenmiştir. Sonuç olarak, artan lif içeriği ile basınç dayanımının azaldığı ve eğilmede çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir [140].

Uçar (2022), Günümüzde beton, yaygın olarak kullanılan bir kompozit yapı malzemesidir. Betonun en önemli kullanım alanlarından biri de yol veya zemin kaplama malzemesi olarak kullanılmasıdır. Bu kullanım türünde havalimanları ve farklı sanayi bölgelerinde özellikle şehir içi ve şehirler arası kullanılan yollar olmak üzere beton yollar bulunmaktadır. Beton yollar, uzun kullanım ömrü boyunca çok az bakım/onarım gerektiren ekonomik, dayanıklı ve çevreci bir yol türüdür. Üretilen beton yollarda karışımlara lif ilave edilerek betonun mekanik, süneklik, tokluk ve dayanıklılık gibi özellikleri iyileştirilir. Çalışmasında, iki farklı lif, farklı su/çimento oranları ve farklı gradasyonlar kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve enerji yutma kapasitesinin optimize edilmesi amaçlanmıştır [141].

Eryılmaz (2017), Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozitler, üstün mekanik özelliklerinden dolayı çok çekicidir. Bu nedenle havacılık, otomotiv, petrol, denizcilik, savunma ve spor endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Reçineler ve takviyeli malzemeler arasındaki bağ kuvvetini arttırmak için, karbon kumaşlar farklı konsantrasyonlarda (ağırlıkça 0.25, 0.5 ve %1) birleştirme ajanı silanlarıyla kaplandı. Kaplamadan sonra karbon kumaşlar 100°C'de 60 dakika kurutuldu. Daha sonra karbon fiber düz ve twill kumaşlarla güçlendirilmiş epoksi

matris ile vakum infüzyon işlemi ile kompozit yapılar üretilmiştir. Mekanik özelliklerini test etmek için kompozit yapılara Charpy darbe dayanımı ve çekme dayanımı uygulanmıştır. Testler hem çözümlü hem de atkı yönünde gerçekleştirilmiştir. Bağ özellikleri ve kırılma yüzeyi özelliklerini elde etmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve FT-IRATR testleri yapıldı. Elde edilen mekanik test sonuçları, desen tipi ve silan miktarı olmak üzere iki ana parametre grubunda analiz edilmiştir [142].

Yenidünya (2013), Beton, kolay kullanım özellikleri nedeniyle en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Şekillendirilebilirlik, kolay elde edilebilirlik, mukavemet, ekonomi, çevre ve yangın koşullarına karşı dayanıklılığı. Üretilen beton; karıştırma, taşıma, yerleştirme ve kür aşamalarında dış ve iç koşullardan etkilenen fiziksel (kıvam) ve mekanik (dayanıklılık) değişimlerden geçer. Çelik lif katkılı betonların da bunlardan biri olduğu betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için yıllarca kapsamlı çalışmalar yapılmıştır.

Çelik lifli ve kimyasal katkılı betonların mekanik dayanımları incelenmiştir. Dört farklı parametre altında incelenmiştir. Beton sınıfı, C20 beton sınıfının normal dayanımlı ve C35 beton sınıfının yüksek dayanımlı beton numunelerinin üretildiği ilk parametre olmuştur. İkinci parametre ise her iki beton sınıfı için ayrı ayrı 25 kg/m³ ve 40 kg/m³ çelik lif içeren beton karışımlarının hazırlandığı beton numunelerindeki çelik lif miktarıdır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için her iki beton sınıfı için de çelik lif içermeyen beton numuneleri hazırlanmıştır. Üçüncü parametre, beton numunelerin üretimleri sonrasında uygulanan üç farklı kür işlemi (su, hava ve buhar) ile ilgilidir. Son olarak dördüncü parametre ise buhar kürleme işlemi sırasında iki farklı maksimum sıcaklık değerinin (65°C ve 85°C) uygulanmasıdır. Bu parametrelerin amacı, buharla kürlemenin çelik lifler de dahil olmak üzere beton numunelerin mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmaktır. Sonuç olarak, farklı beton sınıfları için çeşitli çelik lif oranlarında katkı maddeleri içeren beton numunelerin basınç ve eğilme dayanımı değerlerine buhar kürü uygulamasının etkisi araştırılmıştır [5].

Arik (2011), İşlenmiş Çimentolu Kompozitler (ECC), çekme ve kesme yükleri de dahil olmak üzere mekanik yükleme altında yüksek süneklik ve hasar toleransı sunan yüksek performanslı fiber takviyeli çimentolu kompozitin özel bir türüdür. Göreceli yüksek maliyet, ECC'nin daha geniş ticari kullanımı için bir engel olmaya devam etmektedir. Portland çimentosunun uçucu kül ve cüruf ile değiştirilmesi ve ECC üretiminde kullanılan agrega miktarı ve boyutundaki artış, bu malzemelerin üretimi daha az enerji gerektirdiğinden ve daha az karbondioksite neden olduğundan, maliyetini düşürebilir ve kompozitlerin yeşilliğini artırabilir. Çimentodan daha fazla emisyon. Bu tezde rapor edilen çalışmalar, kompozit özelliklerinin karışım bileşimine bağımlılığını, mineral katkı türleri ve miktarı ile maksimum agrega boyutu ve miktarı tarafından yönetilen deneysel bir programın yürütüldüğünü göstermektedir. Test sonuçları, mineral katkı türünün ve miktarının doğru seçilmesiyle, incelenen miktar ve boyut aralığındaki agregaların ECC'nin sünekliğini olumsuz etkilemediğini, kısıtlanmış rötre çatlaması yaşının artmasını ve kuruma rötresinde önemli bir azalma olmadığını göstermiştir. Kapasite. Mikro silis kumu ile üretilen standart ECC karışımı ve boyutsal stabilite iyileştirmesi ile geliştirilmiş kompozit mekanik özellikleri ile birlikte, bu mineral katkıların endüstriyel işlemlerden önemli ölçüde kullanılması ve ECC üretiminde maksimum tane boyutunun ve kum miktarının artırılması bir zorunluluktur. inşaat sektöründe sürdürülebilirlik için önemli bir adım [143].

Sani (2014), Çalışmada, alt tabakada dolgu maddesi olarak F sınıfı uçucu kül kullanılmış ve alt tabakanın mühendislik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu çalışmada numuneler iki grup halinde hazırlanmıştır. Birinci grup için dolgu maddesi olarak sabit çimento oranı %0, %5, %10, %15, %20 uçucu kül kullanılmıştır. İkinci grup için dolgu maddesi olarak %0, %5, %7,5, %10, %12,5 çimento oranları ile sabit uçucu kül oranı %15 kullanılmıştır. İlk olarak numunelerdeki optimum su miktarı belirlendi. Her iki grup için de optimal su içeriğinde hazırlanan numuneler üzerinde CBR ve sınırsız basınç testleri yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar %0 ile karşılaştırıldığında tüm oranlarda artış olduğu gözlemlenmiştir. Her iki grupta da CBR ve sınırsız basınç testlerinde en yüksek sonucu veren optimal oran %15 uçucu kül + %5 çimento oranı belirlenmiştir. AASHTO 93 esnek üstyapı tasarımı, altlık için elde edilen CBR değerleri

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kolaylığı için Matlab programı aracılığıyla SN değerleri elde edilmiştir. Bu tasarım sonucunda optimum oranda (%15 uçucu kül + %5 çimento) üst yapı kalınlığında önemli bir azalma gözlemlenmiş ve dolayısıyla altlık maliyetinde önemli bir azalma gözlemlenmiştir [144].

Kurşunlu (2019) Cam endüstrisinin gelişmesiyle birlikte daha kaliteli cam üretimi azaltılmış maliyet hayati hale gelmiştir. Bu nedenle cam eritme fırınlarında kullanılan refrakter malzemenin seçimi ve refrakter sektöründeki gelişmelere ayak uydurulması büyük önem taşımaktadır. Açıkça; eritme tankı, çalışma tankı ve ön ocaklar cam üretim sürecinin yapı taşlarıdır. Bu çalışmanın temel amacı, cam üretiminde çeşitli hataların oluşmasına ve verim kaybına neden olan çalışma havuzu ve forehearthlarda kullanılan Alümina Zirkon Silikat (ER1618) refrakter yerine, daha az cam hatasına neden olacağı ve verimlilik artışında katkısı olacağı düşünülen Alfa Beta Yüksek Alümina (JARGAL®) refrakter kullanımını araştırmaktır. Daha sonra; refrakter malzemelerin fiziksel özelliklerini değerlendirmek için bağıl yoğunluk, ezilme mukavemeti ve refrakterlik-yük altı testleri yapılmıştır. Temel refrakter karşılaştırmaları yaptıktan sonra refrakter malzeme ile cam arasındaki ilişkiyi göstermek için; eksüdasyon, taşlanma ve kabarma testleri yapılmıştır. Bu aşamalarda SEM ile mikro yapı analizleri yapılarak refrakter tuğlaların iç yüzeylerinin durumu karakterize edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda züccaciye camı üretiminde AZS refrakter yerine Alpha Beta Yüksek Alümina refrakter kullanımının cam kusurlarını en aza indirerek genel cam üretim verimliliğini olumlu yönde etkileyeceği ve ekonomik olarak daha ekonomik hale geleceği kanaatine varılmıştır. uzun vadede avantajlı [145].

Öksüzer (2016) Çalışmasında, yapı malzemeleri biliminin son zamanlarda en çok ilgi çeken konularından biri olan sürdürülebilir malzeme ve eko verimliliğe sahip jeopolimer malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, BT ve mermer atıkları içeren yüksek mukavemetli kompozit malzeme üretmek için bir alkali aktivatör (NaOH) kullanıldı. Deneysel çalışmalarda Bayburt yöresinde bulunan farklı oranlarda mermer atığı (MA) ve BS kullanılmıştır. Daha sonra NaOH ile aktive edilen atıklarla kompozit malzemeler üretilmiştir. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir: I) BT ve MA 125 mikron ve 10 mikron olmak üzere iki farklı

incelikte öğütülmüştür. II) Farklı oranlarda polipropilen mikro liflerle karıştırılmış ve lifsiz öğütülmüş numuneler. Buna göre karışımlara 10 molar konsantrasyonda NaOH çözeltisi ilave edildi ve üretilen macunlar çelik kalıplara yerleştirildi. Daha sonra laboratuvarında 90 gün beklediler. III) Son olarak, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim hacim başına ağırlık, su emme, kılcal su emme, aşınma direnci, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklığın dayanım üzerindeki etkisi test edilmiştir. Ayrıca numuneler Cıva Girişimi Porozimetresi, X-Işını Difraktometresi, X-Işını Floresansı ve Taramalı Elektron Mikroskobu ile analiz edilmiştir. Çalışma sonrasında herhangi bir presleme yapılmadan lifli olmayan kompozitler 34 MPa'ya, lifli kompozitler 90 gün sonra 39 MPa'ya ulaştı. Görünür porozite değerleri yaklaşık % 25-45 oranlarında olan jeopolimer kompozit malzemenin genel olarak su direncinin zayıf olduğu belirlenmiştir [146].

Özen (2021) Çimento klinker üretimi sırasında atmosfere salınan CO₂ gazları, sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya neden olmaktadır. Günümüzde bu durum çok tehlikeli boyutlara ulaşmış ve insan hayatını tehdit etmiştir. Bu noktada klinker içermeyen jeopolimer üretimi bilim adamları tarafından etkin bir çözüm olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada, volkanik tüf bazlı jeopolimerin Portland çimentosuna kullanılabilirlik potansiyeli araştırılmıştır. Araştırma sonucunda volkanik tüf bazlı jeopolimer zeolit içermemesine rağmen makul basınç dayanım değerlerine ulaşmış ve bu nedenle inşaat sektöründe üretim potansiyeline sahiptir. Volkanik tüf esaslı jeopolimerin mukavemeti üzerinde etkili olan ana mineralin feldispat olduğu, bunun yanında kuvarsin hammaddenin fiziksel özelliklerine etkisinden dolayı jeopolimerizasyona olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, yüksek erken basınç dayanımı kazanımları için yüksek sıcaklıklarda ısı kütleme tavsiye edilir ve yüksek geç dayanım kazanımları için düşük sıcaklıklarda ısı kütleme önerilir [147].

Kuranlı (2020) Beton, düşük maliyeti, kolay formu, yüksek mukavemeti, dayanıklılığı ve kolay temini ile yapı malzemeleri arasında en yaygın olanıdır. Beton malzemenin tüm bileşenleri arasında agregaları birbirine bağlayan Portland çimentosu ana bileşendir. Bununla birlikte, Geleneksel Portland Çimentosu üretimi, atmosfere yüksek sera gazı emisyonlarına neden olduğu için yüksek çevresel etkiye sahiptir. Geopolimer teknolojisi ile üretilen beton, çimentodan farklı bağlayıcılar

kullanılarak betonda çimentosuz bir malzeme elde edilmesini sağlar. Geopolimerler, uçucu kül, cüruf, silika ve alüminadan zengin baz kül içeren alkali (Sodyum veya Potasyum bazlı) içeren jeolojik kökenli veya endüstriyel atık olarak metakaolin gibi malzemelerin sentezlenmesiyle üretilir. Geopolimer beton üretiminin Portland Çimento ile üretilen betona göre %60 daha az enerji gerektirdiği ve %80 daha az CO₂ emisyonu meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, farklı bağlayıcılar, farklı lifler ve farklı lif oranlarında jeopolimer teknolojisi ile üretilen jeopolimer betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Geopolimer betonların üretiminde ana bağlayıcı olarak cüruf ve uçucu kül kullanılmaktadır. Lif çeşitleri olarak polipropilen, çelik ve poliamid lifler kullanılmaktadır. Sonunda mekanik ve dayanıklılık özellikleri ile ilgili güçlü sonuçlar elde edilmiştir [148].

Varolgüneş vd. (2018), Altyapı çalışmaları dünya çapında büyüdükçe, Sıradan PÇ olan talep katlanarak artıyor. Yapılan çalışmalar, bir ton çimento üretiminin, üretim sürecinde kireçtaşının kalsinasyonu ve fosil yakıtın yanması nedeniyle atmosfere bir ton CO₂ saldıgını göstermiştir. Çimento üretimi sadece enerji yoğun bir süreç değil, aynı zamanda enerji elde etmek için fosil kaynakları tüketen ve sera gazı üreten bir süreçtir. Ayrıca kaya bazlı puzolanlardan üretilen jeopolimerler, güçlü kimyasal bağlar oluşturma özelliğine sahiptir. Elyaf takviyeli jeopolimer, mukavemet özelliklerini iyileştirmek için kompozit lifin mikro takviye olarak karışıma dahil edildiği nispeten yeni bir kompozit malzemedir. Çalışmanın amacı, normal çimentoya alternatif, eğilme ve basınç dayanımı yüksek, yapısal bir bağ geliştirmektir. Polipropilen liflerin perlit esaslı jeopolimerlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu eksikliklerin giderilmesi ile jeopolimerlerin kullanışlı, çevre dostu bir malzeme olduğu vurgulanacaktır [10].

Inceyol (2019), çalışmasında Adıyaman'da tarımsal uygulamalar için kullanılmayan inşaatın temellerinde kazılan atık cam parçalarının atık killi topraklara belirli oranlarda karıştırılarak tarım arazilerine zarar vermeden tuğla üretimi hedeflenmiştir. Farklı oran ve sıcaklıklardaki tuğlaların pişirme sıcaklığı ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Pişirme sıcaklığına bağlı olarak tuğlalarda mukavemet, su emme ve pişme kaybının arttığı gözlemlenmiştir. 900 °C ve üzeri sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların TSE EN 771 tuğlalarının fiziksel özelliklerine yakın

olduğu görülmektedir. 1000 °C ve zeri, TSE EN 771'deki tuğlaların fiziksel özelliklerine yakındır. 1000 °C ve üzeri pişirme sıcaklıklarında cam ilavesi parçaları ile üretilen tuğlalarda, TSE EN 771'deki tuğlaların fiziksel özelliklerine de yakındır. , SEM ve EDX analizlerine göre fırınlanmış tuğlalar 900 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda killi topraktaki bazı mineraller erimeye başlamıştır. Bazı minerallerin buharlaşabileceği de gözlemlenmiştir. Cam katkısının tuğlanın fiziksel özelliklerine de olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir [149].

Yakıncı (2016), Mevcut elektrik veya enerji taşıyan kablolarla çalışan her alet, çevresinde elektriksel, manyetik veya elektromanyetik alanlar oluşturur. Bu aletlerin çalışması sırasında elektromanyetik alan yakınındaki canlıları etkilerler. Elektromanyetik dalga yayan cihazların etkin kullanımının artması insan sağlığını olumsuz etkiler. Özellikle elektromanyetik dalgaların baz istasyonları, TV ve radyo antenleri, cep telefonları, mikrodalga fırınlar, yüksek gerilim hatları, uydu antenleri tarafından iletilmesi dolaşım ve sindirim sistemi tansiyonu, DNA sentezi bozukluğu, baş ağrısı ve depresyon gibi rahatsızlıklara neden olur [109].

elikten vd. (2020), yüksek sıcaklıklara maruz kalan atık elik lif takviyeli alkali ile aktifleştirilmiş cüruf harçlarının davranışı incelenmiştir. Bu amaçla yüksek fırın cürufu sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile aktive edilerek harç karışımları üretilir. Atık elyafsız olarak üretilen karışımlara ek olarak hacimce %1 ve %2 atık elyaf içeren harç karışımları üretilmekte ve atık elik elyaf içeriğinin alkali ile aktifleştirilmiş harçların mekanik özelliklerine etkisi araştırılmaktadır. Harç karışımlarından alınan 4x4x16 cm ebadındaki numuneler 200 °C, 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarına maruz bırakılmış ve yüksek sıcaklığın harçların birim ağrılıkları, ultrason darbe hızları, eğilme ve basınc dayanımları üzerindeki etkisinden kaynaklanan değişiklikler. Deneysel olarak belirlenir. Sonuçlar, atık elik liflerin alkali ile aktifleştirilmiş harçların mekanik özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca alkali ile aktifleştirilmiş harçların eğilme ve basınc dayanımları 200 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra farklı oranlarda artmaktadır [94].

Şengün (2016), çalışmasında etriyesiz betonarme kirişlerin karbon lif takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirme nedeniyle dayanımlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Kirişler, 2.5'lik bir kesme açıklığı-etkin derinlik oranına (a/d) sahiptir veya hiç çelik lif içermez ya da %2 miktarında çelik liflerin hacim fraksiyonu. Güçlendirme için kullanılan CFRP levhaların aralıkları, Türk Deprem Yönetmeliği (TEC 2007) tarafından verilen gereksinimi karşılamamaktadır. Yine bu ihtiyacın değerlendirilmesi amacıyla, üç adet hasarsız ve iki adet hasarlı betonarme kiriş, monotonik deplasman kontrollü artan yüklere maruz bırakılmıştır. TEC (2007) tarafından verilen CFRP sac aralığı gereksinimini karşılamayan kirişlerde bile kirişlerin mukavemetinde ve sünekliğinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Ayrıca, CFRP ile güçlendirilen kirişlerin kesme mukavemetinin tahmin edilmesi için literatürde mevcut olan denklemlerden elde edilen tahminler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [150].

Ghafoori (2020), son zamanlarda meydana gelen depremler, yangınlar ve doğal afetler, mevcut yapıların bu tür sorunlara karşı güvenli olmadığını ve bu afetlere karşı daha da geliştiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, betonarme binalarında çelik donatıların korozyonu nedeniyle, belirli süre sonra kütle kaybından dolayı, betonarme elemanlarının dayanım kaybına yol açmaktadır.

Kavas (2020), radyasyondan korunma, daha yüksek enerji kullanan uygulamalara artan ilgi sayesinde daha popüler hale geldi. Cam malzemeler radyasyondan korunma amaçları için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bu çalışmada, değişen miktarlarda SrO içeren atık soda-kireç-silika (SLS) camın koruyucu malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yedi farklı cam sisteminin (0, Sr1 - Sr6) ortalama moleküler ağırlığı (AMW), yoğunluğu (ρ), molar hacmi (V_m), molar oksijen hacmi (V_o) ve oksijen paketleme yoğunluğu (OPD) gibi fiziksel özellikleri belirlendi. . Radyasyon kalkını parametreleri, kütle zayıflama katsayısı (MAC) ve yarı değer katmanı (HVL), yeni geliştirilen Phy-X/PSD yazılımı aracılığıyla 0.015 ila 15 MeV foton enerji aralığında hesaplandı. Ayrıca hesaplanan HVL kalınlıkları bazı beton malzemeler ve piyasada bulunan radyasyon koruyucu camlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca BatchMaker yazılımı ile cam özelliklerinin değerlendirilmesi, cam sistemlerine daha geniş bir bakış açısının yolunu açmıştır. Daha da önemlisi, cam

sistemlerinin fizibilitesini ortaya koymak için bir maliyet analizi yapıldı. Sonuçlar, en yüksek SrO içeriğine (ağırlıkça %15) sahip olan numune-Sr6'nın daha yüksek MAC ve daha düşük HVL değerleri sağlarken daha iyi cam oluşturma kabiliyeti ve düşük üretim maliyetleri sağladığını göstermiştir [151].

BÖLÜM 3

MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Toz Bileşenler

Alkali-aktive malzemeleri (AAM) üretmek için iç enerjisi yüksek amorf yapılı bileşenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda AAM'lerin üretiminde puzolan kullanımı tercih edilmektedir. Tez çalışmasında karşılaştırma amaçlı zeolit tuf ve tras esaslı doğal puzolanlar deneylerde ayrı ayrı kullanılmıştır. Puzolanik özellik taşıyan volkanik esaslı doğal taşların yanı sıra AAM'lerin basınç dayanımı ve fiziksel özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla toz halde kalsit AAM üretimlerinde kullanılmıştır. Tezin deneysel çalışmalarında kullanılan doğal puzolanlar ve kalsitle ilgili temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

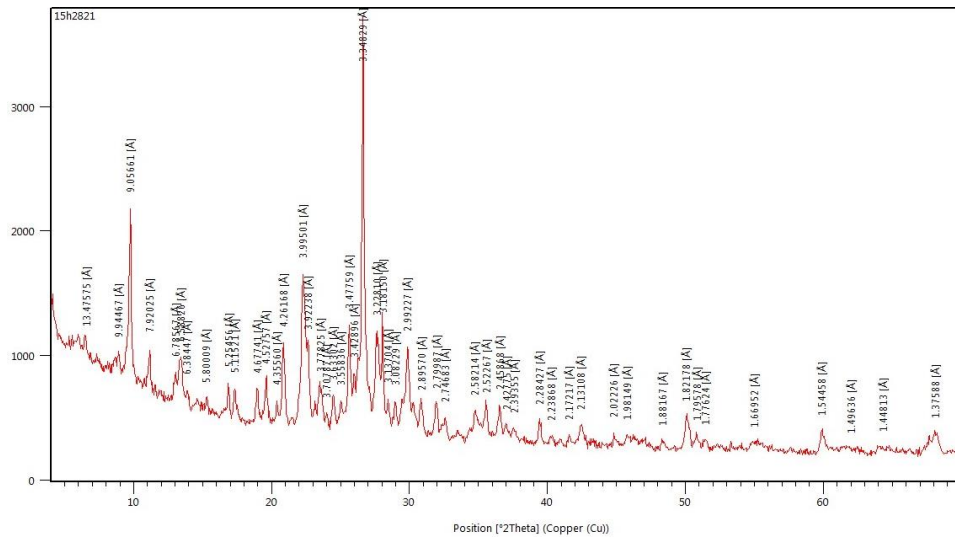
3.1.1.1. Doğal Puzolan (Bayburt Yeşil Trası: BYT)

Deneysel çalışmalarda öncü malzeme olarak Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Bayburt ili sınırları içindeki yeşil renkli puzolan esaslı ve CEM II, CEM IV üretiminde kullanılan tras (Bayburt Yeşil Trası: BYT) kullanılmıştır. BYT'nin MTA'da (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) yapılan mineralojik analizine göre; BYT, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi Volkanik malzeme matriksi ile matrikste kuvars, plajiyoklaz ve kloritleşmiş biyotit minerallerinden oluşan yeşil renkli riyolitik bir tüftür. Mineralojik analiz, Şekil 3.2'de XRD modeli olarak verilmiştir. XRD analizine göre matris kuvars ve feldispat mikrolitlerinin yanı sıra klorit, serisit, karbonat ve volkanik malzemeler içermektedir. Ayrıca makroskopik olarak masif, ince taneli bir yapıya sahiptir ve grimsi yeşil renktedir. Tipik tuf dokulu kayaçta, saçılmış fenokristalleri içeren hamur hemen hemen tamamen zeolit grubu

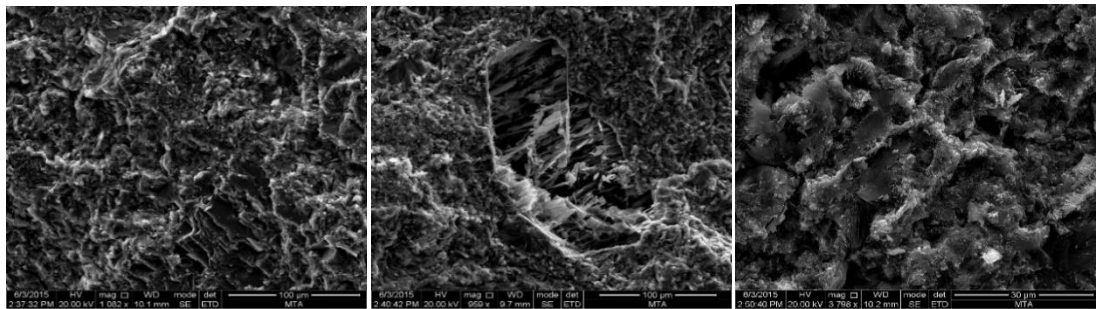
minerallerden oluşmakta ve akış dokuları boyunca biyotit mineralleri yer almaktadır. Biyotit minerallerinde de olası klorit dönüşümleri vardır.. Bu bilgiler, Şekil 3.3'te verilen SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.



Şekil 3.1. AAM hazırlığında kullanılan toz malzemeler: a) Yeşil bayburt tüfü, b) Beyaz Bayburt Tüfü, c) Mikronize Kalsit.



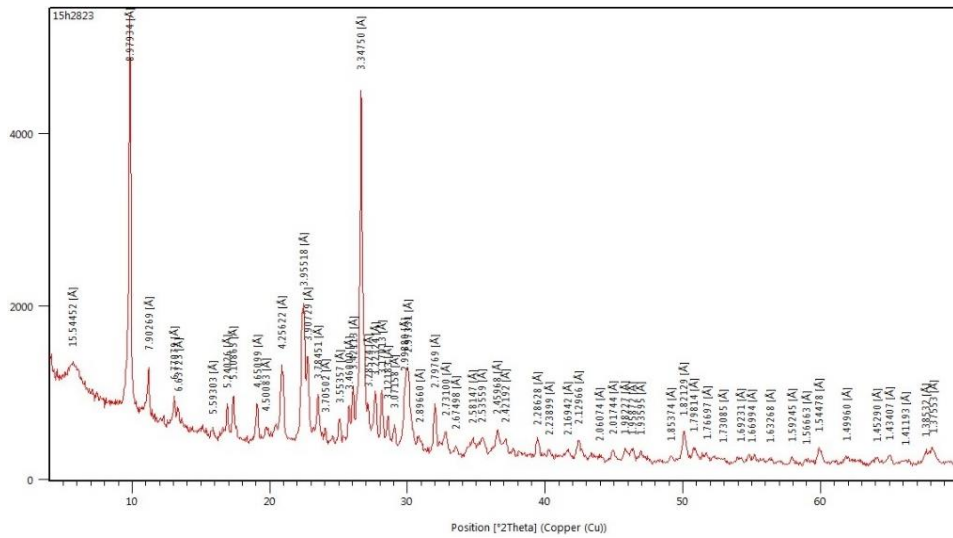
Şekil 3.2. BYT'nin minerolojik (XRD) analizi [152].



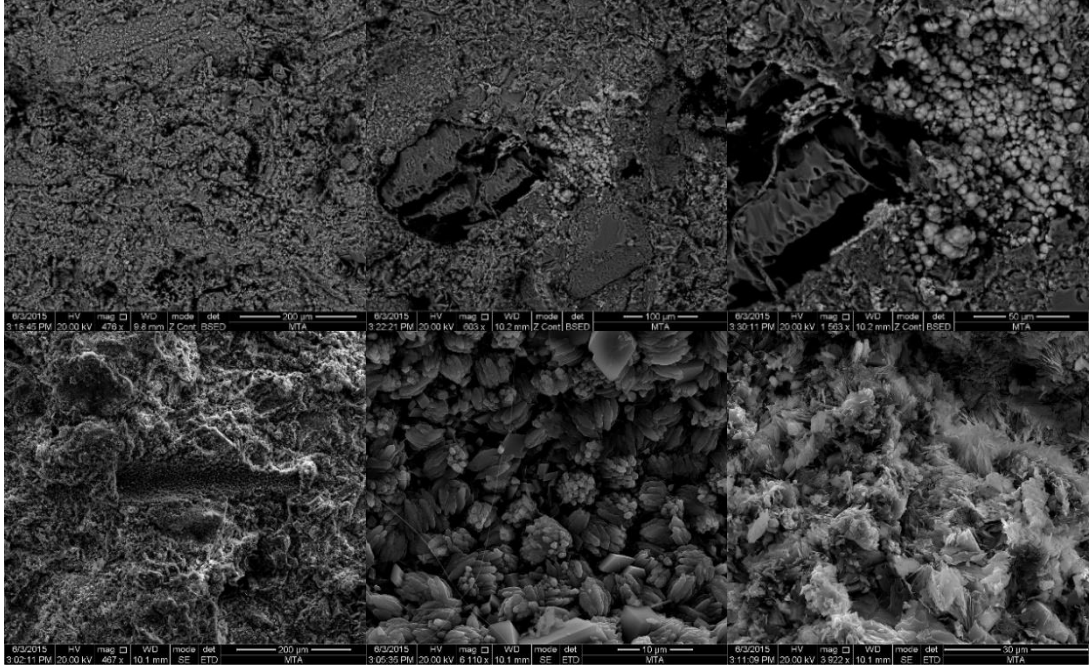
Şekil 3.3. BYT'nin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri [26].

3.1.1.2. Zeolitik Tüf (Bayburt Beyaz Tüfü: BBT)

Deneysel çalışmalarda karşılaştırma amaçlı bir diğer öncü malzeme olarak Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Bayburt ili sınırları içindeki Şekil 3.3'te gösterildiği gibi kirli beyaz renkli puzolan esaslı zeolitik tüf (Bayburt Beyaz Tüfü: BBT) kullanılmıştır. Zeolitik Tüf (BBT) Şekil 3.4'de verilen MTA'da (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) yapılan XRD mineralojik analizine göre; riyodasidik Kompozit vitrik bir tüf olup, matriste volkanik malzemeler ve kuvars, biyotit, plajiyoklaz ve kaya parçalarından oluşan bir matris içerir. Matriste konsolide volkanik materyallerin yanı sıra kuvars ve feldispat mikrolitleri, değişmiş mineral oluşumları ve demir oksit de bulunmaktadır [153]. Ayrıca BBT, makroskopik tanımıyla zeolitik tüf olarak adlandırılan masif dokulu ve ince taneli yapıya sahip sarımsı gri renktedir. Mikroskopik tanımında porfir dokulu zeolit formundaki hoylandit ve klinoptilolit benzeri yapıları, kuvars, zeolit, alkali feldispat ve opak mineralleri içerir. Işık mikroskobu altında yapılan mineralojik analizlere göre oldukça amorf bir yapıya sahip olan ve zeolit mineralleri açısından zengin olan hamurdaki kuvars ve feldispat mineralleri yer yer kırıklı ve köşeli olarak tanımlanmıştır. İnce kesitlerde akış dokusuna ek olarak volkanik cam parçaları da gözlenmiştir. Şekil 3.5'te sunulan SEM görüntülerinde yoğun kuvars ve zeolit mineralleri görülmektedir.



Şekil 3.4. BBT'nin mineralojik (XRD) analizi [152].



Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobundan elde edilmiş BBT'ye ait resimler [152].

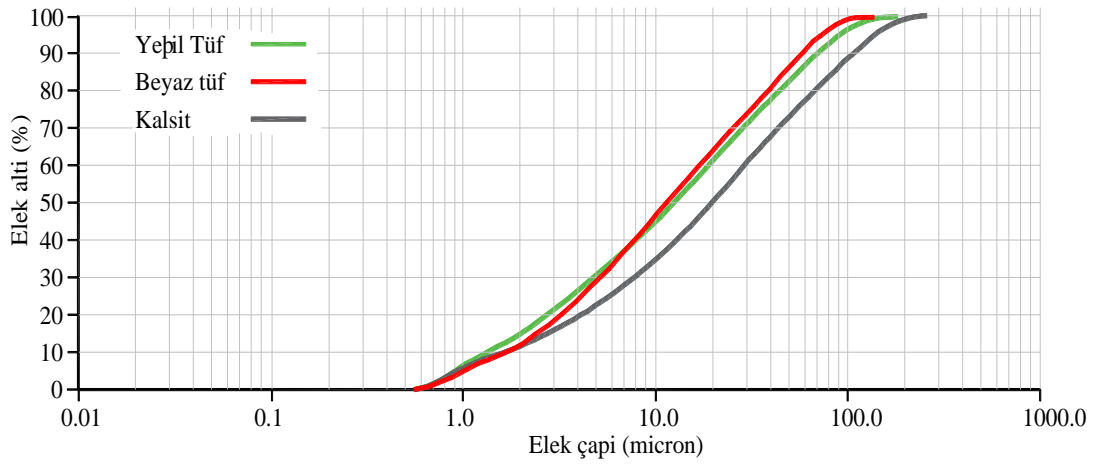
Çalışmada öncelikle, laboratuvar tipi kırıcı (konkasör) kullanarak BBT ve BYT tane boyutu 20 mm'ye indirgenmiştir. Kırılan taşlar 105 °C'de 3 saat süreyle etüvde bekletildi ve ardından yatay eksenli bilyalı değirmende D₉₀:100 µm olacak şekilde öğütüldü. BBT ve BYT'ye ait Mastersizer 3000 (Malvern) partikül boyutu analizörü yardımıyla tane dağılımı ve spesifik yüzey analizi gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.6'de gösterilmiştir. BBT ve BYT'nin, kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.1'de, fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan katı ve toz malzemelerin kimyasal özellikleri.

Oksitler	BBT	BYT	Kalsit	Şeffaf Cam	Yeşil cam	Boraks
SiO ₂	68,92	49,92	0,08	73	73	
Al ₂ O ₃	11,96	10,25	-	0,15	0,15	
Fe ₂ O ₃	0,34	6,00	0,005	0,1	0,1	
CaO	3,85	13,10	55,8	9	9	
MgO	1,29	2,57	0,18	4	4	
SO ₃	0,21	0,26	-			0,03
Na ₂ O	0,23	1,45	-	14	14	
K ₂ O	2,38	1,82	-	0,03	0,03	
CuO			-	-	0,002	
B ₂ O ₃						56,5
K.K.	10,13	14,04	41,4			42,2

Çizelge 3.2. Ögütülmüş haldeki toz malzemelerin fiziksel özellikleri.

Malzemeler	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	İncelik (µm)		
			D ₉₀	D ₅₀	D ₁₀
BBT	2.43	11237	61.3	16.6	3.94
BYT	2.61	8420	83.0	26.4	9.82
Kalsit	2.71	2645	100	35	3.5
Boraks					
Şeffaf cam	2,6	-			
Yeşil cam	2,6	-			



Şekil 3.6. BBT, BYT ve kalsitin tane boyutu dağılım grafiği.

3.1.1.3. Kalsit

Karbonatlı kayaçların (kireçtaşı, mermer, tebeşir) Ana minerali olan kalsit, yapısında %95-97 (kalsiyum karbonat) içerir. Farklı kristalizasyonlara sahip olabilirler. Beyaz renkte şeffaf bir yapıya ve toz formuna sahip olan kalsit, sertliği 3, özgül ağırlığı 2,71'dir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kalsit Niğtaş Madencilik A.Ş'den temin edilmiştir. Kullanılan kalsitin inceliği D₉₀: 100 µm'dir. Fiziksel Özellikleri Tablo 3.1'de, kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de ve görsel görüntüleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

3.1.1.4. Toz Halde Boraks

Boraks olarak da bilinen sodyum borat, sodyum tetraborat veya disodyum tetraborat, bir bor bileşiğidir. Boraks, yumuşak, renksiz kristallerden oluşan ve suda kolayca

çözünen beyaz bir tozudur. Deneylerde kimyasal analizi Çizelge 3.2’de verilen TS 1444’e uygun Eti Maden işletmeleri genel müdürlüğü üretimi olan %99,9 saflıkta toz halde boraks dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır.

3.1.2. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Alkali Aktivatörler ve Su

AAM’lerin üretiminde aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır. Bu bileşenlerle ilgili temel bilgiler aşağıda açıklanmıştır. Bu çalışmada şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

3.1.2.1. Sodyum Hidroksit (NaOH)

Deneylerde Şekil 3.7’de gösterildiği gibi en az %99,9 saflıkta katı pelet halde İran malı olan NaOH kullanılmıştır. Malzeme 25 kg’lık torbalar halinde piyasadan temin edilmiştir.



Şekil 3.7. Pelet sodyum hidroksit (NaOH).

3.1.2.2. Sodyum Silikat (Cam suyu: $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$)

Cam suyu, su içinde çözülebilir olup çok kullanışlı özellikleri ile camsı katı formdaki sodyum oksit (Na_2O) ve silika (SiO_2) içeren bileşimlerdir. Cam suyu pelet halde katı, toz ya da solüsyon şeklinde olabilir. Sodyum silikatlar, deterjan, yapıştırıcı, su arıtma tesisleri gibi daha birçok endüstriyel proste kullanılır. Na_2SiO_3 , sodyum karbonat (Trona: Na_2CO_3) ile silis kumunun (SiO_2) yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi sonucunda CO_2 gazının çıkarak Na_2O ile SiO_2 ’nin birleşmesi sonucunda oluşur. Üretim sırasında bileşiklerin miktarlarına bağlı olarak $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 1-4 arasında değerlik

alabilir, bu değeriğe modül (Ms) denir. Değerlik derecesi aktivasyon reaktivitesini de tanımlamaktadır. Ms arttıkça aktivasyon reaktivitesi artar. Deneysel çalışmalarda 38 – 42 bome hacimde Ms: 3.3 olan $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$ kullanılmıştır. 38-42 bome Na_2SiO_3 'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. Na_2SiO_3 'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	1,374
Na_2O (%)	8,62
SiO_2 (%)	27,53
Modül (Ms: $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)	3,3

3.1.3. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Kullanılan Dolgu Bileşenleri

AAM'lerin üretiminde harç yapısını oluşturmak amacıyla agrega olarak kırılmış şeffaf adi cam ile yeşil renkli adi cam kullanılmıştır. Cam bileşenlerle ilgili temel bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

3.1.3.1. Yeşil Adi Cam

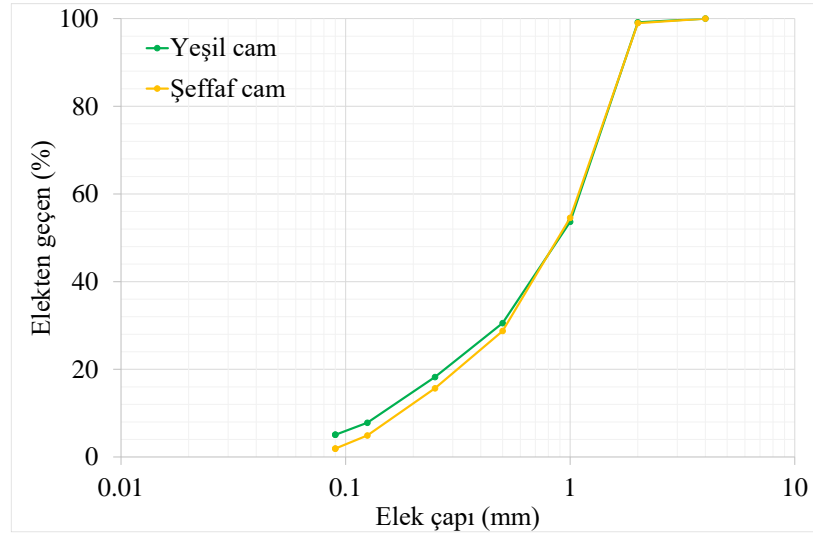
Alkali aktive edilmiş harç malzemelerin üretiminde Şekil 3.8'da gösterilen soda şişesi camı kullanılmıştır. Soda şişeleri laboratuvar tipi konkasör kullanılarak kırılmış ve inceltiştir. Ardından 2 mm boyutlu elekten elenerek D_{max} : 2 mm boyutlu olacak şekilde deneylerde kullanılmıştır. Yeşil renkli soda şişesinin camı ile ilgili kimyasal analiz sonuçları Şekil 3.9'da, elek analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.8. Yeşil Cam.

3.1.3.2. Şeffaf Cam

Alkali aktive edilmiş harç malzemelerin üretiminde Şekil 3.10'da gösterilen soda şişesi camı kullanılmıştır. Soda şişeleri laboratuvar tipi konkasör kullanılarak kırılmış ve inceltiştir. Ardından 2 mm boyutlu elekten elenerek D_{max} : 2 mm boyutlu olacak şekilde deneylerde kullanılmıştır. Yeşil renkli soda şişesinin camı ile ilgili kimyasal analiz sonuçları Şekil 3.9'da, elek analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.9. Kırılmış cam malzemelerin elek analizi grafiği.



Şekil 3.10. Şeffaf cam.

3.1.4. Alkali-Aktive Malzemelerin Üretilmesinde Kullanılan Lifler

Deneysel çalışmalarda sektörden temin edilmiş kırılmış karbon lif, polipropilen lif ve çelik lifler kullanılmıştır. Liflerle ilgili temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.4.1. Karbon Lif

Deneyleerde kullanılan karbon lifler Dost Kimya ve Beşoğlu Endüstri firmasından temin edilmiştir. Karbon lifler (KL) Şekil 3.11’de gösterildiği gibi 12 mm boyunda kırılmış halde temin edilmiş olup, teknik özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

3.1.4.2. Polipropilen Lif

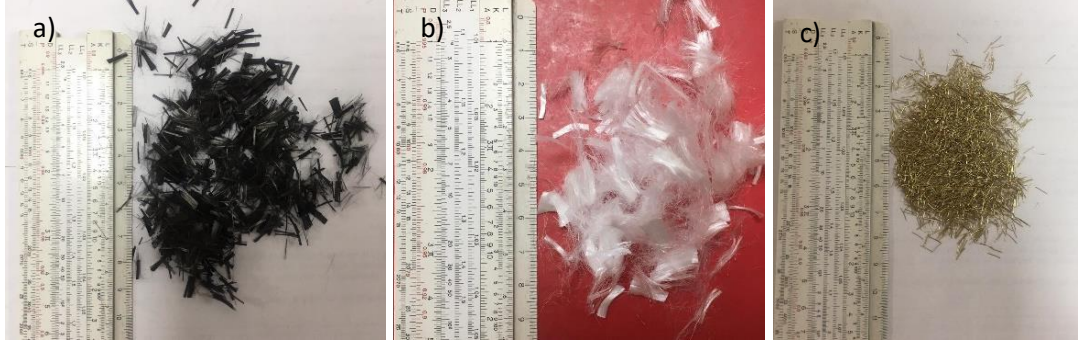
Şekil 3.2’de gösterildiği gibi deneyleerde kullanılan polipropilen lifler (PP) Dost kimya firmasından 12 mm boyutlu olacak şekilde temin edilmiştir. Temin edilen PP’ye ait teknik özellikler Çizelge 3.4’te verilmiştir.

3.1.4.3. Çelik Lif

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi deneyleerde kullanılan çelik lifler (ÇL) Bekaert firmasından pirinç kaplı ve 6 mm boyutlu olacak şekilde temin edilmiştir. Kullanılan liflerin teknik özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. KL, PP ve ÇL teknik özellikleri.

Özellik	Polipropilen	Karbon	Çelik
Çekme Dayanımı (MPa)	450-600	3800	3000
Elastisite Modülü (MPa)	3500	228000	200000
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	140	-	1083
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	0,91	1,81	7,87
Lif çapı (µm)	300	7,2	150
Lif Uzunluğu (mm)	12	6	6
Narinlik Oranı (uzunluk/çap)	40	835	40
Elektrik İletkenliği (Ohm ⁻¹ /cm)	-	0.00155	100%



Şekil 3.11. a) Karbon lif. b) Polipropilen lif. c) Çelik lif.

3.2. YÖNTEM

Deneysel çalışmalar NaOH ve Na₂SiO₃ ile alkali aktive edilmiş hamurlar ve harçlar üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada bor ve cam kırıklarının hamur ve harç malzemeler üzerindeki taze ve sertleşmiş hal etkilerini çözelti/toz oranları ile en yüksek basınç dayanımı hedefli NaOH konsantrasyonları üzerinde belirleyebilmek amacıyla öncelikle deneme çalışması planlanmıştır. Ardından malzeme optimizasyonları tamamlanarak hamur ve harç üretimine ait yöntem ayrı ayrı 1) taze haldeki alkali aktive edilen hamur ve harçlar üzerinde yapılan deneyler ve 2) sertleşmiş haldeki alkali aktive edilen hamur ve harçlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler olmak üzere iki aşamalı olarak aşağıda açıklanmıştır. Öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılması planlanan Boraks ve kırılmış cam bileşenlerinin AAM'ler üzerindeki taze ve sertleşmiş hal etkilerini belirlemek amacıyla hacimce %2 PP lif içerikli alkali-aktive edilmiş hamur ve harçlar üzerinde ön deneme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ön deneme çalışmalarında boraks oranı, aktivatör tipi, çözelti bileşen ve oranları, NaOH molaritesi, Na₂SiO₃/su oranı, kırılmış cam oranları ve kür tipi değiştirilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Ön deneme çalışmalarına ait tasarım planları Çizelge 3.5.'da verilmiştir. Deney tasarımlarında verilen çözeltiler öncelikle belli oranlarda su+NaOH+Na₂SiO₃ karışımlarında oluşturulmuştur.

Çizelge 3.5. Ön deneme AAM karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (Ağırlıkça).

Alkali aktive edilmiş hamur deneme çalışmaları için karışım tasarımları										
Kod	BBT (%)	YBT (%)	Kalsit (%)	Bor (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Ş. Cam	PP Lif (%)	Çözelti (%)	NaOH (Mol)	Ç/T
YN0B0	-	33,6	28,9	-	-	-	-	37,5	6	0,6
YN0B2	-	30,9	26,6	5	-	-	-	37,5	6	0,6
YN0B3	-	28,5	24,0	10	-	-	-	37,5	6	0,6
YN0B4	-	25,8	21,7	15	-	-	-	37,5	6	0,6
YN0B3	-	28,5	24,0	10	-	-	-	37,5	10	0,6
YN0B4	-	25,8	21,7	15	-	-	-	37,5	10	0,6
BN0B0	32,5	-	30,0	-	-	-	-	37,5	6	0,6
BN0B2	29,9	-	27,6	5	-	-	-	37,5	6	0,6
BN0B3	27,3	-	25,2	10	-	-	-	37,5	6	0,6
BN0B4	24,7	-	22,8	15	-	-	-	37,5	6	0,6
BN0B3	27,3	-	25,2	10	-	-	-	37,5	10	0,6
BN0B4	24,7	-	22,8	15	-	-	-	37,5	10	0,6
Alkali aktive edilmiş harç deneme çalışmaları için karışım tasarımları										
YPB0C5	-	6,5	5,5	-	2,3	56,6	0,7	28,5	10	2,0
YPC0	-	25,9	22,2	1,3	9,0	-	0,7	40,9	10	0,7
YPC3	-	10,2	8,7	0,5	3,5	35,0	0,7	41,3	10	1,8
YPC5	-	6,3	5,4	0,3	2,2	56,7	0,7	28,4	10	2,0
BPB0C5	6,4	-	5,7	-	2,3	56,7	0,7	28,2	10	2,0
BPC0	24,6	-	22,9	1,3	9,4	-	0,7	41,0	10	0,7
BPC3	9,8	-	8,9	0,5	3,6	35,3	0,7	41,2	10	1,8
BPC5	6,0	-	5,5	0,3	2,3	56,9	0,7	28,3	10	2,0

Çözelti karışımlarında su/Na₂SiO₃ oranı 0,30/0,70 olarak kullanılmıştır ve buna ilaveten bu çözelti içinde çeşitli molarite konsantrasyonlarında NaOH pelet olarak karışıma eklenmiştir. Böylece 6, 8, 10 mol derişimlerinde NaOH+Su+Na₂SiO₃ çözelti karışımları elde edilmiştir. Deneme karışımları hazırlanırken çözelti sıcaklıkları 50-60 °C arasında sabit tutulmuştur. Üretilen 50×50×50 mm boyutlu deneme numuneleri, sıcaklığında ve etüvde (80°C, 24±2 saat) bekletilerek iki farklı

kür işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneme üretimlerinde taze hal AAM'ler üzerinden priz süresi, yayılma tablası verileri ile sertleşmiş hal AAM'ler üzerinde 2 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda en uygun karışım oranı belirlenerek nihai hamur ve harç tasarımları oluşturulmuştur.

3.2.1. Nihai Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Üretimi

3.2.1.1. Malzeme Seçimi ve Karışım Tasarımı

Deneysel çalışmalar için üretilen alkali aktive edilmiş hamurlarda (AAH) tuf/kalsit oranı önceki çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda hacimce 0,55:0,45 olacak şekilde planlanmıştır. Deneme karışımlarında gerçekleştirilen alkali aktive hamurlarda (AAH) bor oranı arttıkça dayanım önemli oranda azalmıştır. Ağırlıkça %5 borlu AAH karışımlarında dayanım kaybı özellikle 28 günde belirgin olmuştur. Bu sebeple AAH'lerde toz halde boraks katı bileşenlerin hacmince %5 olacak şekilde eklenmiştir. Böylece boraks oranı yaklaşık olarak hacimce %5 iken ağırlıkça %2-2,5 arasında değişmiştir ve kimyasal analiz sonuçlarına göre bor minerali AAH içinde ortalama ağırlıkça %1,1-1,4 arasında sabit tutulmuştur. Ayrıca çalışmada tuf tipine bağlı olarak 10 mol konsantrasyonda NaOH ile desteklenmiş $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$ çözeltileri hazırlanarak Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'de belirtilen çözelti/toz malzeme oranlarında kullanılmış. Tasarımlarda PP ve karbon elyaf üretimlerinde O/T (çözelti/toz): 0,7, çelik elyaf üretimlerinde, çelik elyafın özgül ağırlığı diğerlerine göre daha yüksek olduğundan, döküm ve sıkıştırma sırasında elyaflar yer çekimi etkisiyle dibe çöküp homojen dağılmayı engellemesi sebebiyle Ç/T: 0,54 planlanmıştır. İlâveten AAH'lerin eğilme ve çekme dayanımlarını, büzülme dirençlerini artırmak amacıyla ve elektromanyetik özelliklerini geliştirmek amacıyla hacimce %2 polipropilen (PP), kıyılmış karbon ve pirinç kaplı mikro çelik lifler kullanılmaktadır. AAH'lerin büzülme dayanımlarını iyileştirmek, çözelti miktarlarını azaltmak, toz bileşen oranını azaltmak ve elektromanyetik özellikleri tanımlamak amacıyla hamur karışımlara şeffaf ve yeşil adi camlar ayrı ayrı hacimce %30 oranında katılmıştır. Karışım tasarımları Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'de verilmiştir. Çizelge 3.5 ve 3.6'de belirtildiği gibi Y: Yeşil Bayburt Tufünü, B: Beyaz Bayburt Tufünü, P: Polipropilen

lifi, K: Kırılmış karbon lifi, Ç: Pirinç kaplı mikro çelik lifi, C: Cam katkısını, y: yeşil adi camı, ş: şeffaf adi camı, -B: Bor katkısını sembolize etmektedir.

Çizelge 3.6. AAH kompozit numunelerin karışım tasarımı.

Kod	NaOH (M)	Ç/T	Bileşenler (ağırlıkça %)						Lif Hacmi (%)
			YBT	BBT	Kalsit	Boraks	Cam	Çözelti	
YP	6	0.60	31.65		26.81			40.78	2
YP-B	6	0.60	30.44		26.10	2.02		40.67	2
YP-C3y	6	1.15	13.95		11.96		36.32	37.04	2
YP-C3ş	6	1.15	13.95		11.96		36.32	37.04	2
YÇ	6	0.60	29.39		24.90			38.51	2
YÇ-B	6	0.60	28.13		24.12	2.12		38.35	2
YÇ-C3y	6	1.15	12.02		10.31		37.80	32.95	2
YÇ-C3ş	6	1.15	12.02		10.31		37.80	32.95	2
YK	6	0.60	31.38		26.58			40.44	2
YK-B	6	0.60	30.18		25.88	2.00		40.33	2
YK-C3y	6	1.15	13.73		11.77		36.48	36.46	2
YK-C3ş	6	1.15	13.73		11.77		36.48	36.46	2
BP	6	0.60		30.24	28.16			40.83	2
BP-B	6	0.60		29.30	27.29	2.06		40.58	2
BP-C3y	6	1.15		13.44	12.29		36.65	36.88	2
BP-C3ş	6	1.15		13.44	12.29		36.65	36.88	2
BÇ	6	0.60		28.04	26.12			38.52	2
BÇ-B	6	0.60		27.04	25.18	2.12		38.27	2
BÇ-C3y	6	1.15		11.53	10.54		38.10	32.82	2
BÇ-C3ş	6	1.15		11.53	10.54		38.10	32.82	2
BK	6	0.60		29.98	27.92			40.47	2
BK-B	6	0.60		29.05	27.05	2.04		40.23	2
BK-C3y	6	1.15		13.23	12.10		36.81	36.30	2
BK-C3ş	6	1.15		13.23	12.10		36.81	36.30	2

3.2.1.2. Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Numunelerin Üretimi

Nihai AAH numunelerinin üretimi, deneme dökümlerinin sonuçları esas alınarak her bir seride 24 grup olacak şekilde karışım tasarımı Çizelge 3.5 ve 3.6'da verildiği gibi oluşturulmuştur. Her bir grup alkali-aktive hamur ve harç numunelerinin üretiminde

toplam 6 adet 40x40x160 mm boyutlarında büzülme, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri için ve 6'şar adet 50x50x50 mm boyutlu su emme deneyleri için hamur ve harç numuneler üretilmiştir. İlaveten elektromanyetik kalkanlama miktarlarının belirlenmesi için gereken ölçümlerin yapılabilmesi için her bir deney grubundan 1'er adet 300x300x10 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Numuneler yerinde dökme yöntemi ile hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmada belirlenen maliyet ile fiziksel ve mekanik özellik optimizasyon kapsamında alkali aktivatör hazırlığı için öncelikle ağırlıkça %70 Na₂SiO₃ + %30 su karışımı hazırlandı. Ardından 6 mol konsantrasyonda NaOH hazırlığı için 400 g NaOH 1000 ml'lik beher içinde tartıldı ve üstüne beherin 1000 ml çizgisine kadar önceden hazırlanan sıvı silikat çözeltisi (%70 Na₂SiO₃ + %30 su) karışımı ilavesi yapıldı. Çözelti içinde NaOH'in tamamen çözünmesi için manyetik karıştırıcıda yaklaşık 10 dk süreyle karıştırıldı, bu sırada alkali çözelti yaklaşık 85 °C'den 55±5 °C Manyetik karıştırıcı çözeltiyi karıştırırken °C'ye düşmesi için beklenen buydu. Çözeltinin sıcaklık koşulları uygun olduğunda (55±5 °C) ve NaOH'nin tamamen çözülmesinden sonra çözelti, karıştırıcı haznesine konuldu. Daha sonra toz malzemeler zamanlama ve sırasıyla; YBT veya BBT (60 s) + kalsit (60 s) + boraks (60 s) + cam (60 s) + fiber (60 s) + hızlı karışım (60 s) eklendi. Toplamda 360 s karıştırma sonrasında taze hal deneyleri gerçekleştirilmiş, hamur ve harç malzemeler 40x40x160 mm, 50x50x50 mm boyutlu çelik ve 300x300x10 mm boyutlu poliamid kalıplara yerinde dökme yöntemiyle yerleştirilmiştir. Büzülme deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için 40x40x160 mm boyutlu çelik kalıplardan birinde çift taraflı vida yerleşimi için hazırlanmış olan boşluklara öncelikle büzülme ölçümü vidası yerleştirilmiştir. Büzülme deneyleri için bu vidalı numuneler üretilmiş ve kullanılmıştır. 60 s boyunca elle serbest düşü yöntemi ile kalıplardaki hamur ve harç numuneler sıkıştırılmıştır.

Deneme üretimlerinden elde edilen sonuçlara göre nihai üretimlerde numunelerin tümü kalıplanma aşamasında sonra 80±5 °C sıcaklıkta 24 saat etüvde kürlenmiştir. Fırından çıkarılan numuneler şoklanmadan kontrollü soğutma için strafor/karton kutularda muhafaza edilmiştir. Ayrıca, alkali aktive edilmiş hamur ve harçlar etüvden çıkarıldıktan sonra 24±2 °C'de %35±10 bağıl nemde laboratuvar ortamında

ilgili deney sürelerine kadar bekletilmiş ve aşağıda açıklandığı gibi eğilme-basınç dayanımı, su emme, büzülme ve EMF kalkanlama ölçümleri deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.3. Taze Haldeki Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Deneyleri

3.2.1.3.1. Yayılma Tablası Deneyi (ASTM C1437)

Karıştırma tamamlandıktan sonra mikserden alınan hamurların işlenebilirliğini test etmek için 25 mm çapında yuvarlak masa ve üst iç çapı 61 mm, alt iç çapı 95 mm olan kesik koni kalıp ekipmanı mm ve 50 mm yüksekliğinde pirinçten mamul Şekil 3.11-a'da gösterilen kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Yayılma tablası ve yayılma çapı ölçümü.

ASTM C1437 standartlarına [154]'e masanın ortasına yerleştirilen kalıba hamur ve harç malzemeleri Kalıp tamamen doldurulduktan sonra yavaşça çıkarıldı ve saniyede 1 vuruşta elle 25 vuruş uygulandı. Yayılan hamur ve harç malzemelerinin yayılma çapları Şekil 3.12-b'de gösterildiği gibi iki dikey ölçü ile belirlenmiş ve ölçülerin ortalaması Yayılma değeri olarak kaydedilir.

3.2.1.4. Sertleşmiş Haldeki Alkali Aktive Edilmiş Hamur ve Harç Deneyleri

3.2.1.4.1. Büzülme Deneyi (ASTM C596 – 18)

ASTM C596 – 18'e [155] göre, büzülme deneyleri dijital komparatörlü boy uzama çerçevesi ve dijital hassas kumpas ekipmanları ile her iki ucunda vida bulunan 40×40×160 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlgili numuneler kalıpları ile etüvde bekletildiği için ilk ölçümleri etüv sonrasında kalıptan çıkarıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Numunelerin priz bitiş süreleri çok uzun olduğu için ve erken dayanımı artırmak amacıyla yapılan bu ölçüm yönteminde etüv etkisi ihmal edilmiştir. Ardından boy ölçümleri iki yöntemle 2, 7, 14, 28, 35, 42, 49, 56, 90 ve 180 günlerde yapılmıştır. Nem ve sıcaklığın da dikkate alındığı ölçümlerde, paslanmaz çelik referans ilk olarak Şekil 3.13-a'daki gibi cihaza yerleştirildi ve ölçüm çerçevesi içinde yapılan teste tam oturması için dikkatlice döndürüldü. Dijital çerçeveden okunan referans değeri (L_r) kaydedilir. Böylece çerçevenin kalibrasyonu kontrol edildi. Numuneler üzerinde Şekil 3.13-b'de gösterildiği gibi aynı işlem yapıldı ve numunelerin uzunluğu ($L_ç$) kaydedildi. İkinci aşamada ise Şekil 3.13-c'de (L_k) gösterilen dijital kumpas cihazı ile numunelerin boyları ölçülmüştür.



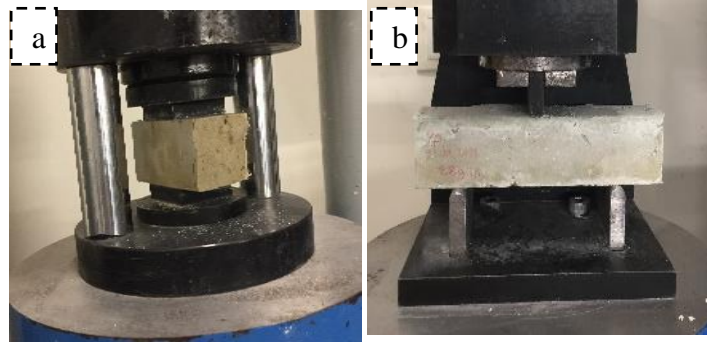
Şekil 3.13. Büzülme ölçüm aşamaları.

Kasılma verileri denklem (3.13)'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Daha sonra iki referans okuma arasındaki fark belirlenerek kalibrasyon (ölçüm) yapılmıştır.

$$\text{Büzülme (\%)} = \frac{(L_{ilk} - L_{son}) * 100}{L_{ilk}} \quad (3.1)$$

3.2.1.4.2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri (ASTM C348-18)

40×40×160 mm boyutlu hamur ve harç numuneler üzerinde öncelikle ASTM C348-18'e [156] göre üç nokta eğilme dayanımı deneyi ve ardından ASTM C109/C109M-16'e [157] göre basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Deneyler 2, 28, 90 ve 180 günlerde gerçekleştirilmiştir. Her bir deney öncesinde numuneler tartılmış ve görünür Birim hacim ağırlıkları (BHA) hesaplanmıştır. Eğilme deneyi sonunda kalan iki parça üzerinde ise 40×40 mm yüzey alanı üzerinde aksenal sıkıştırma testi uygulanarak iki numunenin ortalama basınç dayanımı hesaplanmıştır. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. a) Eğilme dayanımı deneyi. b) Basınç dayanımı deneyi.

Numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarının hesaplandığı Denklem (3.2) ve Denklem (3.3) aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.2)$$

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

Burada; σ_e : Eğilme mukavemeti, P : Numunenin kırılmasına yol açan max. yük miktarı, L : Numunenin iki taşıma noktası arasındaki mesafe, b : Kesit kısa kenar uzunluğu, d : Kesit uzun kenar uzunluğu, σ_b : Basınç mukavemeti, A : Aksenal yüke maruz kalan numune kesit alanı

3.2.1.4.3. Su Emme Deneyi (ASTM C1585-13)

50×50×50 mm boyutlarındaki numunelerin 2, 28 ve 90 ve 180 günlerinde su emme oranı ve görünür porozitelerinin hesaplandığı bu deney, ASTM C1585-13 Arşimet prensibi esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda numuneler tartım ve kütleme ekipmanı kullanılmadan önce 24 saat suda bırakılmıştır (Şekil 3.14-a). Daha sonra sudan çıkarılan, geometrileri bozulmamış (çatlak, şişme veya parçalanma olmayan), teste uygun numuneler bir havlu ile kurutularak doymuş kuru yüzeyin ağırlığı (A_d) ve sudaki ağırlığı (A_s) belirlendi (Şekil 3.15-b ve Şekil 3.15-c). Daha sonra numuneler Şekil 3.15-d'de gösterildiği gibi 24 saat 100 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde tutulmuş ve çıkarıldıktan sonra kuru ağırlıkları (A_k) ölçülmüştür. Elde edilen verilerden Denklemler (3.4), (3.5) ve (3.6) kullanılarak su emme oranı, kuru özgül ağırlık ve görünür gözeneklilik verileri hesaplanmıştır.

$$S(\%) = \frac{(A_d - A_k) * 100}{A_k} \quad (3.4)$$

$$\gamma = \frac{A_k}{A_k - A_s} \quad (3.5)$$

$$P_g = \frac{S * A_k}{A_d - A_s} \quad (3.6)$$

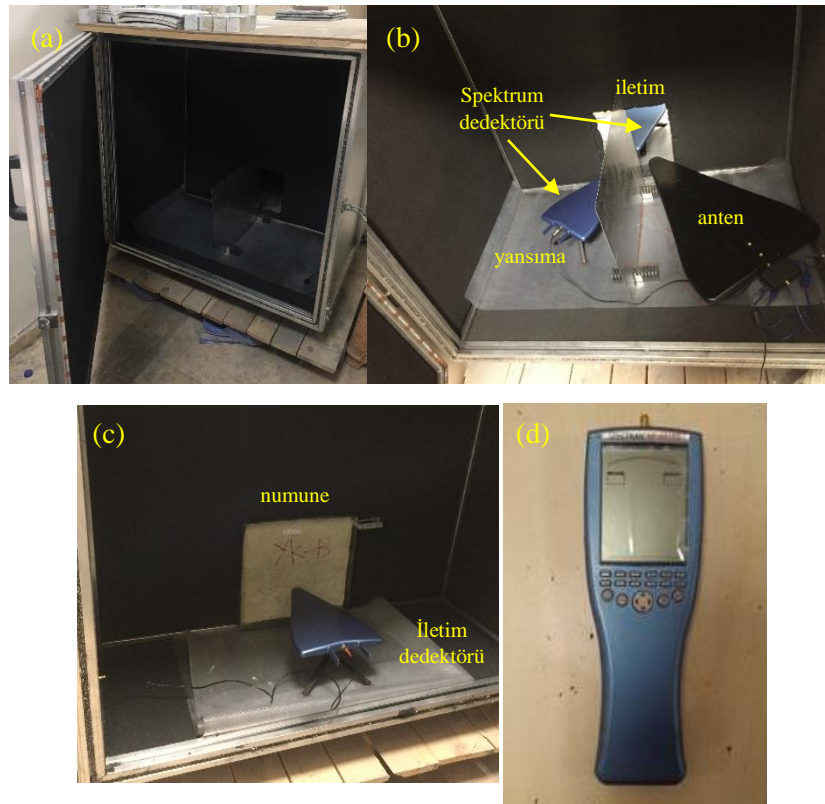
Burada; S : Su emme oranı A_d : Doymuş kuru yüzey ağırlığı, γ : Özgül ağırlık. A_s : Suda ağırlık, P_g : Görünür porozite, A_k : Etüv kuru ağırlık



Şekil 3.15. Su emme deneyi işlemleri.

3.2.1.4.4. Elektromanyetik Kalkanlama Miktarlarının Ölçülmesi

Deney, her gruptan üretilen 300×300×10 mm'dir boyutlarındaki karo kaplamalar üzerinde 90 gün sonunda gerçekleştirilerek plakaların elektromanyetik kalkanlama miktarları Faraday kafesi içinde iletim ve yansıma ölçümleri yapılarak belirlenmiştir. Bunun için Faraday Cage, Aaronia marka DFG 4060 RF Wave Generator (EMD Generator), 2 adet Aaronia marka HF 60105 Spectrum Analyzer, Laptop, MCS Spectrum Analyzer Yazılım ve ekipmanları Şekil 3.15'te görüldüğü gibi kuruldu.



Şekil 3.16. Elektromanyetik testler için kullanılan ekipman: a) Faraday kafesi. b) dalga üretici ve spektrum analizörü (yansıma). c) spektrum analizörü (iletim) ve numune. d) spektrum analizörü.

Kurulum başlangıcında dalga üretici ile yansıyan dalgaları delip geçen spektrum analizörü ile plaka odasının karşı tarafında absorbe edilen dalgayı bir ayna yardımıyla delen spektrum analizörü arasındaki açı koordinasyonu ve bir ayna yardımıyla seviye koordinasyonu lazer yardımı ile aynı seviyede olması sağlanır ve ekipmanların pozisyonları herhangi bir sapmaya neden olmayacak şekilde yapılır Şekil 3.16'da gösterildiği gibi Faraday kafesi içinde yapıldı. USB kablosu ile

bilgisayara bağlanan jeneratörün analizörler ile bağlantısı tamamlandıktan sonra Faraday kafesinde oluşturulan 300x300 mm pencere açıklığına kiremit numuneleri yerleştirilerek kafes kapatılarak deney gerçekleştirilmiştir.

Numuneler için EMF ölçüm frekans aralığı 900-6000 MHz aralığında olup elektromanyetik iletim ve yansıma verileri, her bir 100 MHz artış için MCS Spectrum Analyzer yazılımı üzerinden dB biriminde kaydedildi. Deneysel çalışma iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Faraday kafesine yerleştirilen ekipman ile kapalı kafes içinde numunesiz (boş) iletim ve yansıma verileri 900 – 6000 MHz arasında 100 MHz aralıklar ile ölçülmüştür. Ardından boş pencereye karo kaplama malzemeleri yerleştirildikten sonra aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Ekranlama etkisi 3 bölümden oluşur: yansıma, soğurma ve çoklu yansıma kaybı. Ekranlama etkisi SEdB olarak ifade edilir. Matematiksel ifadesi denklem 3.7'de verilmiştir.

$$SE_{dB} = 20 \log|E_i/E_t| = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB} \quad (3.7)$$

3.7, RdB (yansıma kaybı) SEdB, absorpsiyon kaybı AdB ve çoklu yansıma kaybı εdB'nin toplamı olarak ifade edilir ve denklemde E_i ve E_t , gelen ve iletilen dalgaları temsil eder. RdB, kalkan yüzeyindeki yansımadan kaynaklanan kayıptır. Denklem 3.8'de gösterilmiştir.

$$R_{dB} = 106 + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{f_{\mu r}} \right) \quad (3.8)$$

Denklem 3.8 de σ_r yansıtıcı için iletkenlik ve μr manyetik geçirgenliktir.

3.2.1.4.5. Mikroyapısal Analiz

Çalışmada, 90 günlük yaşta alkali ile aktive edilmiş lif hamurlarından taramalı elektron mikroskobu (SEM), Element analizi (EDS) ve X-ışını kırınımı (XRD) analizi yapıldı. Bu çalışmalar Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü mineraloji ve petrografi laboratuvarında (MTA) FEI marka SEM ve XRD ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda numuneler havasız torbalara konularak 90 günlük basınç

dayanımı testinden sonra MTA'ya teslim edilmiştir. MTA laboratuvarlarında SEM görüntüleme öncesi altın-paladyum kaplama uygulandıktan sonra sırasıyla SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. XRD analizleri başka bir laboratuvarda yapıldı. Temiz, düz ve gözenekli yüzeyler, analiz edilen macunun bir görüntüsünü yakalamak için önemlidir.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde taze ve sertleşmiş alkali aktive edilmiş hamur ve harç malzemeler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları değerlendirilmiştir. Ancak deneme çalışmaları öncelikli sunulmuş olup ardından nihai deney sonuçları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yeşil tüf esaslı alkali aktive edilmiş PP, karbon ve mikro çelik lifle güçlendirilmiş bor içerikli hamur ve kırılmış yeşil ve şeffaf cam içerikli harç malzemeler, sonrasında beyaz tüf esaslı esaslı alkali aktive edilmiş PP, karbon ve mikro çelik lifle güçlendirilmiş bor içerikli hamur ve kırılmış yeşil ve şeffaf cam içerikli harç malzemeler sonuçlarına ait değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1. DENEME ÜRETİMLERİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışmaların başlangıcında bileşenlerin ve ortam koşullarının etkilerini değerlendirebilmek amacıyla gerçekleştirilen ön deneme çalışmalarına ilişkin toplu sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’e göre, 6 mol ile üretilen, **yeşil tüf** esaslı AAH’lerde bor oranı arttıkça erken basınç dayanımının genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. B2, B3 ve B4 hamurlarının basınç dayanımları B0 referans numunesine göre sırasıyla %22,41 artmış, %10,34 ve %34,48 azalmıştır. Aynı seriler dahilinde yüksek oranda (hacimce %10 ve %15) boraks bulunduran numunelerde molarite artması durumunda (6 molden – 10 mole) basınç dayanımları B3 ve B4 için sırasıyla %2,88 ve %14,47 oranında azalmıştır. 6 mol ile üretilen, **beyaz tüf** esaslı AAH’lerde bor oranı arttıkça (B0’dan B2’ye) basınç dayanımının azaldığı, B3 ve B4 sertleşmiş hamurlarından dayanım alınmadığı gözlemlenmiştir. B2 hamurunun mukavemeti B0 referans numunesine kıyasla %42,46 oranında azalmıştır. Aynı seriler dahilinde yüksek oranda (hacimce %10 ve %15) boraks bulunduran numunelerde molarite artması durumunda (6 molden – 10 mole) basınç dayanımları B3 ve B4’te sırasıyla 13,35 MPa ve 11,9 MPa olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4. 1. Ön deneme AAM karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (Ağırlıkça).

Kod	NaOH (Mol)	Yayılma çapı (cm)	Priz süresi (dk)	Basınç Dayanımı (MPa)		Su emme direnci
				2 gün	7 gün	
YPB0	6	25<	90	5,8	-	Var
YPB2	6	25<	2 sa<	7,1	-	Var
YPB3	6	25<	2 sa<	5,2	-	Var
YPB4	6	25<	2 sa<	3,8	-	Var
YPB3	10	21	5	5,05	-	Yok
YPB4	10	22	15	3,25	-	Yok
BPB0	6	25<	80	3,65	-	Yok
BPB2	6	25	2 sa<	2,1	-	Yok
BPB3	6	22	2 sa<	0	-	Yok
BPB4	6	25	2 sa<	0	-	Yok
BPB3	10	18	15	13,35	-	Yok
BPB4	10	20	15	11,9	-	Yok
YPC0	10	22	5	0	26,4	Yok
YPC3	10	25<	2 sa<	0	3,95	Yok
YPC5	10	24	5	12,45	0	Yok
YPB1C5	10	25<	2 sa<	0	0	Yok
BPC0	10	25<	-	25,795	29,2	Yok
BPC3	10	25<	-	0	2,9	Yok
BPC5	10	25<	-	0	2,6	Yok
BPB1C5	10	25<	-	0	0	Yok

Çizelge 4.1.'e göre, 6 mol **yeşil tüf** esaslı AAH'lerde boraks oranı arttıkça priz süresi referansa (B0) kıyasla önemli oranda uzamıştır. Aynı serilerde boraks oranı arttıkça yayılma çapı değişkenlik göstermemiştir. Aynı serilerde yüksek oranda (hacimce %10 ve %15) boraks bulunduran numunelerde molarite artması durumunda (6 molden – 10 mole) priz süresinde yaklaşık olarak 110 dk azalma gözlenmiştir. Yayılma çapında ise ortalama olarak 3 cm azalma gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1.'e göre, 6 mol **beyaz tüf** esaslı AAH'lerde bor oranı arttıkça priz süresi referansa (B0) kıyasla önemli oranda uzamıştır. Aynı serilerde bor oranı arttıkça yayılma çapı değişkenlik göstermemiştir. Aynı serilerde yüksek oranda (hacimce %30 ve % 40) boraks bulunduran numunelerde molarite artması durumunda (6 molden – 10 mole) priz süresinde yaklaşık olarak 105 dk azalma gözlenmiştir. Yayılma çapında ise ortalama olarak 5 cm azalma gözlemlenmiştir.

2 günlük sonuçlarda, 10 mol ile üretilen, **yeşil tüf** esaslı cam katkıli AAH'lerde çeşitli oranlarda cam bulunduran harçlarda basınç dayanımı elde edilememiştir. Aynı serilerde hacimce %50 cam içerikli AAH'ler için bor içermeyen numunede 2 gün yaşında 12,45 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. 7 günlük sonuçlara göre hacimce %50'cam katkıli AAH'lerde basınç dayanımı alınamamıştır.

Çizelge 4.1.'e göre, 10 mol **yeşil tüf** esaslı cam katkıli AAH'lerde cam oranı arttıkça priz süresi referansa (C0) kıyasla önemli oranda uzamıştır. Aynı serilerde cam oranı arttıkça yayılma çapı değişkenlik göstermemiştir. %50 cam katkıli borsuz ve bor içerikli numunelerde borun priz süresini gözle görülür derecede uzatmasının yanı sıra yayılma çapı değerlerinde herhangi bir etki oluşturmamıştır.

2 günlük sonuçlarda, hacimce %50 cam katkıli %5 boraklı (B1) **beyaz ve yeşil tüf** esaslı AAH'lerde dayanım gözlemlenmemiştir. 7 günlük sonuçlar dahilinde, cam oranı arttıkça basınç mukavemeti önemli oranla azalırken %50 cam katkıli – borsuz AAH'de direnç gözlenmemiştir.

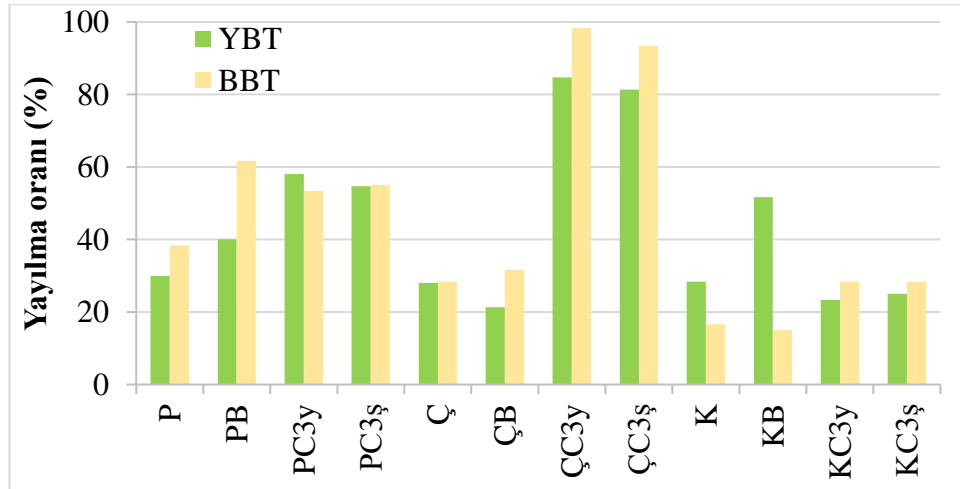
Çizelge 4.1.'e göre, 10 mol **beyaz tüf** esaslı cam katkıli AAH'lerde cam oranının priz süresini etkilemeyişinin nedeni farklı bir kür metodu uygulanması nedeniyle. Taze harçlar üretilir üretilmez etüve konulduğu için priz süreleri tespit edilememiştir. Cam katkıli numunelerde cam oranı arttıkça ve borsuz-borlu %50 camlı numunelerin kıvamlarının oldukça akışkan olduğu ve yayılma çapı değerlerinin 25 cm'den yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2. ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ HAMUR VE HARÇLARIN YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELERİ

Yeşil ve beyaz tüf bazlı AAH numunelerinin yayılmış tablo sonuçları Çizelge 4.2'de ve grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de yeşil renk YBT esaslı alkali-aktive edilmiş hamur harçları, sarı renk BBT esaslı alkali-aktive edilmiş hamur harçları göstermektedir.

Çizelge 4.2. Lifle güçlendirilmiş AAH'lerin yayılma çapı değerleri.

Kod	Yayılma çapı (cm)	Kod	Yayılma çapı (cm)
YP	14,5	BP	15,75
YP-B	16	BP-B	19,25
YP-C3y	18,7	BP-C3y	18
YP-C3ş	18,2	BP-C3ş	18,25
YÇ	14,2	BÇ	14,25
YÇ-B	13,2	BÇ-B	14,75
YÇ-C3y	22,7	BÇ-C3y	24,75
YÇ-C3ş	22,2	BÇ-C3ş	24
YK	14,25	BK	12,5
YK-B	17,75	BK-B	12,25
YK-C3y	13,5	BK-C3y	14,25
YK-C3ş	13,75	BK-C3ş	14,25



Şekil 4.1. Beyaz ve Yeşil tüf esaslı AAH'lerde yayılma deneyi sonuçları.

Şekil 4.1'deki sonuçlara göre;

Farklı tüfler farklı oranlarda işlenebilirliğe sebep olmuştur. Örneğin, sırasıyla YP, YÇ ve YK'nin işlenebilirlikleri BP, BÇ ve BK'ye göre değişkendir. PP lifli hamurlarda BBT, YBT'ye göre işlenebilirliği %8 artırmıştır, mikro çelik lifli hamurlarda BBT ile YBT aynı işlenebilirlik değerini vermiştir, karbon lifli hamurlarda BBT, YBT'ye göre işlenebilirliği %12 azaltmıştır.

PP lifli hamurlarda boraks katkısı her iki tf için işlenebilirliği artırmıştır. Mikro elik lifli hamurlarda boraks katkısı BBT’esaslı hamurlarda işlenebilirliği %3 artırırken, YBT’esaslı hamurlarda işlenebilirliği %7 azaltmıştır. Karbon lifli hamurlarda boraks katkısı BBT’esaslı hamurlarda işlenebilirliği %1,5 azaltırken, YBT’esaslı hamurlarda işlenebilirliği %23 artırmıştır.

Cam katılmış PP ve mikro elik lifli alkali-aktive edilmiş harçlarda işlenebilirlik artarken, karbon lifli alkali-aktive edilmiş harçlarda cam tozu YBT esaslı harçlarda işlenebilirliği azaltmış, BBT esaslı harçlarda işlenebilirliği artırmıştır. Örneğin, cam tozu YBT esaslı PP lifli ve mikro elik lifli harçlarda işlenebilirliği sırasıyla ortalama %25 ve %56 artırmıştır. Yine cam tozu BBT esaslı PP lifli ve mikro elik lifli harçlarda işlenebilirliği sırasıyla ortalama %17 ve %68 artırmıştır. Cam tozu YBT ve BBT esaslı karbon lifli harçlarda işlenebilirliği sırasıyla ortalama %4 azaltmış ve %12 artırmıştır.

Cam renginin değişmesi lif ve tf türüne bakılmaksızın işlenebilirliğe önemli derecede (<%10) etki etmemiştir. Bunun sebebi cam tozunun gradasyonunun birbirine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.

4.3. EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Yeşil tf bazlı tüm gruplarda 2, 28, 90 ve 180 günlük yaşta yapılan eğilme ve basınç dayanımı testi sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. Fiber takviyeli AAH numunelerinin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları karşılaştırma için çizilir.

Çizelge 4.3’e göre, zaman ilerledikçe tüm alkali aktive hamur ve harçların birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Bunun nedeni gün geçtikçe numunelerde meydana gelen nem kaybıdır. Bor katkısının AAH’ların BHA’larına etkisi önemli derecede yoktur. Ancak, PP liflilerde 2 ve 28 günlük BHA’lar benzer iken, borlu AAH’lerin BHA’ları 90 ve 180 günlük AAH’lerde daha düşük çıkmıştır. PP ve karbon lifli gruplarda, cam katkılı harçların BHA’ları referansa göre daha düşük olmuştur. Şeffaf camla, yeşil

cam katkılı AAH'lerin BHA'ları hemen hemen eşittir. Mikro çelik lifli AAH'lerde cam BHA'ları artırmıştır.

Çizelge 4.3. Yeşil tüf esaslı AAH'lerin mukavemet deneylerinin sonuçları.

Kod	BHA (g/cm ³) (Gün)				Eğilme Dayanımı (MPa)				Basınç Dayanımı (MPa)			
	2	28	90	180	2	28	90	180	2	28	90	180
YP	1.87	1.88	1.82	1.81	4.2	4.2	4.7	5.6	5	5.7	7.4	5.8
YP-B	1.86	1.88	1.78	1.75	4.2	4.3	4.8	5.2	4.7	7	9.1	7.4
YPC3y	1.84	1.77	1.70	1.69	4.4	3.9	4.9	5.6	3.2	2.4	5.5	3.7
YPC3ş	1.80	1.74	1.66	1.70	4.5	4.3	3.8	5.2	3.3	2.3	4.6	2.7
YÇ	2.11	2.07	2.02	1.95	5.7	4.5	4.8	6.4	5.3	8	9.6	6.7
YÇ-B	2.14	2.08	2.01	1.94	4.6	4	3.9	4.7	6.4	9.5	7.9	7.6
YÇC3y	2.15	2.12	2.06	2.02	6.2	6.4	5.1	6.7	4.9	6.6	6.6	4.2
YÇC3ş	2.13	2.11	2.06	2.03	6	4.6	5.3	7.5	4.9	6.9	5.7	7
YK	1.91	1.88	1.80	1.80	8.4	8.7	9.4	10.7	6.4	6.6	6.4	5.6
YK-B	1.93	1.87	1.84	1.78	11.6	12.2	11.4	8.7	7.6	8.2	9.3	7.8
YKC3y	1.88	1.83	1.80	1.76	5.7	5.6	5.5	6.8	3.6	3.9	4.8	4.5
YKC3ş	1.86	1.82	1.78	1.81	4.8	4.8	5.2	7.9	0.98	2.8	3.9	4.6

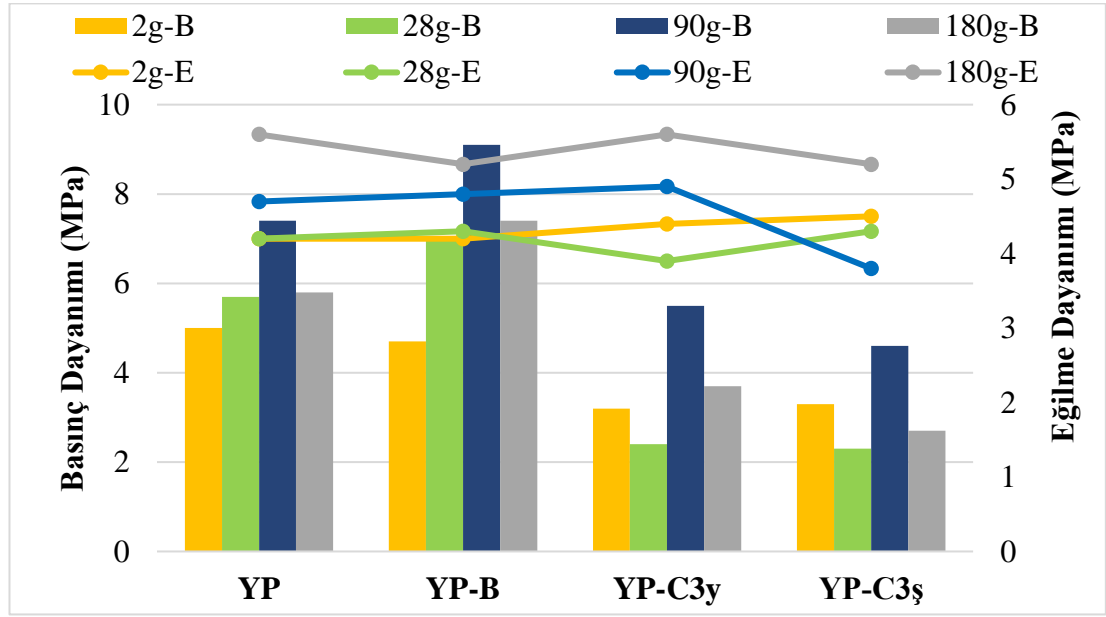
Çizelge 4.3'e göre;

Aynı ç/t oranına sahip PP ve karbon lif takviyeli alkali aktive hamur ve harçlar kendi aralarında kıyaslandığında karbon lifli numunelerin birim hacim ağırlıklarının PP lifli hamurlara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü karbon lif PP liften daha ağırdır. Çelik lifler diğer liflere göre daha ağır olduğu için, kullanıldığı hamur ve harçların BHA'larını artırmıştır.

Erken yaştaki basınç dayanımları karşılaştırıldığında, hamurlarda karbon lifler basınç dayanımlarını artırmıştır. Harçlarda ise mikro çelik liflerin basınç dayanımlarını olumlu etkilediği gözlenmiştir. 180 gün yaştaki basınç dayanımlarına göre, lif farklılığı bor ya da yeşil cam katkılı AAH'lerin basınç dayanımlarını etkilememiştir. Ancak, mikro çelik lifli AAH'lerin basınç dayanımları referans ya da şeffaf cam içerikli numunelerin basınç dayanımlarını artırmıştır.

Çizelge 4.3'e göre, erken yaştaki eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, hamurlarda karbon lifle eğilme dayanımlarını diğer liflere göre daha fazla artırmıştır. Harçlarda

ise mikro çelik lifler AAH'lerin eğilme dayanımlarını diğer liflere göre daha fazla artırmıştır. 180 gün yaşındaki eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, karbon lifler hamur kompozit malzemelerde eğilme dayanımlarını daha çok artırırken, yeşil ya da şeffaf cam katkılı harçlarda ise çelik ve karbon lifler harçların eğilme dayanımları etkilememiştir. Ancak bunlar PP lifli AAH'lerin eğilme dayanımlarından daha yüksektir.



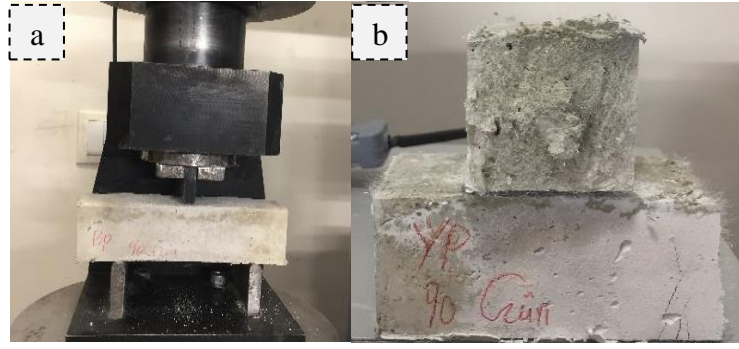
Şekil 4.2. Yeşil tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

Şekil 4.2'ye göre;

Tüm hamur ve harçlarda 90 gün yaşına kadar basınç dayanımları farklı oranlarda artmış, sonrasında azalmıştır. Malzemelerde aşırı genleşmeler gerçekleştiği için 180 günde dayanım kaybı olmuştur. Örneğin, sırasıyla YP, YPB, YPC3y ve YPC3ş için 2 – 90 gün yaşları arasında %48, %94, %72 ve %39 oranlarında basınç dayanımları artmıştır ve sırasıyla YP, YPB, YPC3y ve YPC3ş için 90 – 180 gün yaşları arasında %22, %19, %33 ve %41 oranlarında karbonatlaşma sebebiyle AAH'lerin genleşmesinden dolayı basınç dayanımları azalmıştır. İlgili değerlendirmeler hacim sabitliği ve mikroyapı analizlerinde yapılmıştır. Boraks katkısı 2 gün yaşından sonra basınç dayanımlarını olumlu etkilemiştir. Örneğin, boraks katkısı referans numuneye göre basınç dayanımını 2 gün yaşında %6 azaltırken, 28 gün, 90 gün ve 180 gün yaşlarında basınç dayanımlarını sırasıyla %22, %23 ve %27 artırmıştır. Cam katılmış

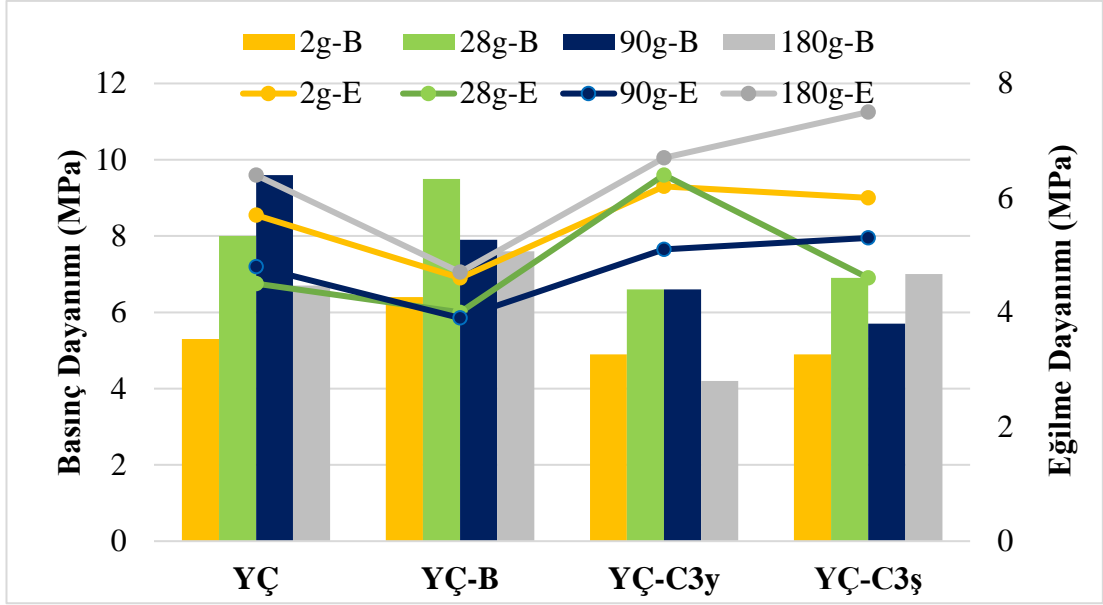
PP lifli harçlarda 180 gün yaşına kadar basınç dayanımları benzerlik göstermiştir. 2 – 180 gün yaş basınç dayanımı gelişimi %10'un altında kaldığı görülmektedir.

Tüm hamur ve harçlarda 180 gün yaşına kadar eğilme dayanımları artmıştır. Örneğin, sırasıyla YP, YPB, YPC3y ve YPC3ş için 2 – 180 gün aralığında %33, %24, %27 ve %15 oranlarında eğilme dayanımı artmıştır. Bunun sebebi eğilme dayanımı sırasında matristen çok lif yükü taşıdığı için eğilme dayanımları 180 gün sürecinde artmıştır. Boraks katkısı 2 gün, 28 gün, 90 gün ve 180 gün yaşlarındaki eğilme dayanımı sonuçlarını önemli derecede etkilememiştir. Cam katılmış PP lifli harçlarda 2 gün – 180 gün sonuçlar doğrultusunda YPC3y ve YPC3ş harçlarının eğilme dayanımları sırasıyla %27 ve %15 oranında artmıştır.



Şekil 4.3. a) Eğilme dayanımı deneyinde, b) PP lifin dağılımı.

Şekil 4.3'e göre, YÇ, YÇB ve YÇC3ş numuneleri için zamanla basınç dayanımları artmıştır. YÇC3y harcında ise 2gün - 180 gün yaş arası genel itibarıyla dayanımın değişmediği görülmektedir. Örneğin, sırasıyla YÇ, YÇB ve YÇC3ş için 2gün – 180 gün yaşlarında %26, %19, ve %43 oranlarında basınç dayanımı artmıştır; sırasıyla YÇ, YÇC3y için 90 – 180 gün yaşlarında %30 ve %36 oranlarında basınç dayanımlarının azaldığı, YÇB ve YÇC3ş için ise neredeyse aynı olduğu saptanmıştır. Dayanım kaybı, matrisin 90 günden sonrasında karbonatlaşma sebebiyle genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Hacim sabitliği deney sonuçlarında ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 4.4. Yeşil tüf esaslı kırılmış mikro çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

Şekil 4.4'e göre;

Tüm hamur ve harçlarda 90 gün yaşına kadar eğilme dayanımları artmış, sonrasında azalmıştır. Örneğin, sırasıyla YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş için 2 – 180 gün yaşlarında %12, %2, %8 ve %25 oranlarında eğilme dayanımı artmıştır. Bunun sebebi eğilme dayanımı sırasında matristen çok lif yükü taşıdığı için karbonatlaşma sebebiyle genişlemenin meydana gelmesidir.

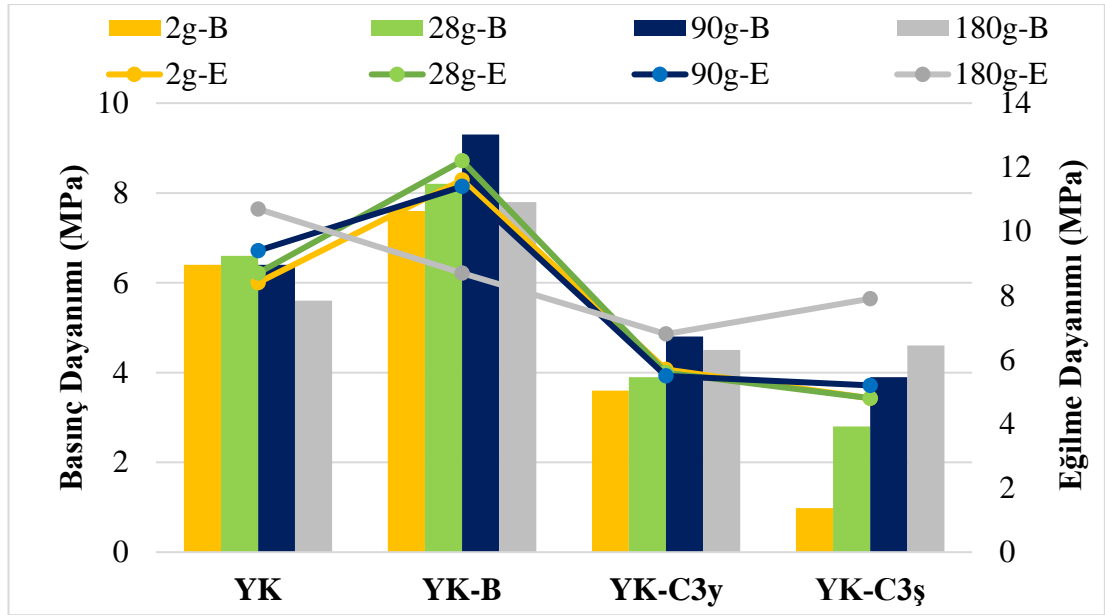
Boraks katkısı basınç dayanımlarını genel itibarıyla olumlu yönde etkilemiştir. Örneğin, boraks katkısı basınç dayanımını 2gün-28gün ve 180 gün yaşlarında sırasıyla %21, %19 ve %13 artırırken, 90 günde ise %18 oranında azalışa neden olmuştur. Boraks katkısı, tüm günlerde eğilme dayanımı değerlerini düşürmüştür. Düşüşler, 2gün,28gün,90gün ve 180 gün yaşları için sırasıyla %19, %11, %19 ve %26 oranındadır.

Cam katılmış mikro çelik lifli harçlarda yeşil cam içerikli numunelerde zaman ilerledikçe basınç dayanımlarında değişkenlik olmamıştır. Şeffaf cam içerikli numunelerde ise zamanla dayanım artmıştır. 2gün-180 gün yaş için dayanım gelişimi %43 oranındadır. Eğilme dayanımı verilerine göre, farklı iki tip cam katkılı harçta da 90 güne kadar değerlerin azaldığı, devamındaki süreçte ise arttığı görülmüştür.

YÇC3y harcında 2gün ve 180 günlük sonuçlar birbirine yakın, YÇC3ş harcında ise geç yaştaki dayanımın %25 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Mikro çelik tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.



Şekil 4.6. Yeşil tuf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.

Şekil 4.6'e göre;

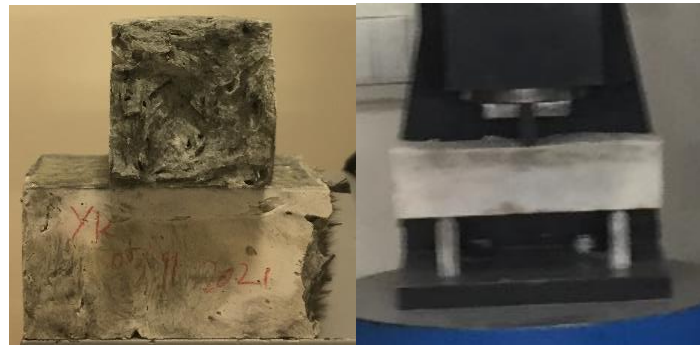
Zamanla referans numunesi (YK) haricinde diğer grupların basınç dayanımları artmıştır. 2 gün-180 gün yaşındaki dayanımlar kıyaslandığında, YKB sertleşmiş hamurunun değeri değişmemiş, YK hamurunun değeri %12 azalmış ve YKC3y ve YKC3ş harçlarının değerleri sırasıyla %25 ve %369 oranında artmıştır. Cam bulundurmeyen malzemelerde 90 gün sonrası dayanım kaybı görülmesinin nedeni,

matrisin karbonatlaşma sebebiyle genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Hacim sabitliği deney sonuçlarında ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

180 gün yaşına kadar YK, YKC3y ve YKC3ş alkali aktive malzemelerinde eğilme dayanımı sırasıyla %27, %19 ve %64 artmış, YKB malzemesinde ise %25 oranında azalmıştır. Eğilme dayanımı sırasında matristen çok lif yükü taşıdığı için karbonatlaşma sebebiyle genişleme olmasına rağmen genel kapsamda eğilme dayanımları 180 gün sürecinde artmıştır.

Boraks katkısının tüm test günlerinde basınç dayanımlarını olumlu etkilediği görülmektedir. Örneğin, boraks katkısı basınç dayanımını 2 gün, 28 gün, 90 gün, 180 gün yaşlarında sırasıyla %19, %24, %45 ve %39 oranında artırmıştır. Eğilme dayanımlarına etkisi ise, 2, 28 ve 90 günlerde değerleri artırarak, 180 gün yaşında ise azaltarak olmuştur. Bu değişimler, 2-28-90 ve 180 gün yaşları için sırasıyla %38, %40, %21 ve %19 oranındadır.

Cam katılmış karbon lifli harçlarda yeşil ve şeffaf cam içerikli numunelerde zaman ilerledikçe basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. 2-180 gün yaş için dayanım gelişimi YKC3y'de %25, YKC3ş'de %369 'tır. Eğilme dayanımı verilerine göre, farklı iki tip cam katkılı harçta da 90 güne kadar değerlerin birbirine yakın olduğu, devamındaki süreçte ise arttığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Yeşil tüf esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.

Çizelge 4.4'e göre, zaman ilerledikçe tüm alkali aktive hamur ve harçların birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Bunun nedeni gün geçtikçe numunelerde meydana gelen nem kaybıdır.

Çizelge 4.4. Beyaz tuf esaslı AAH'lerde eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.

Kod	BHA (g/cm ³) (Gün)				Eğilme Dayanımı (MPa)				Basınç Dayanımı (MPa)			
	2	28	90	180	2	28	90	180	2	28	90	180
BP	1,87	1,80	1,61	1,59	5,5	6,5	8,3	9,9	15,5	18,05	20,1	17,8
BP-B	1,81	1,74	1,64	1,52	4,5	5,8	7,5	9,5	14,4	18,45	18,35	16,2
BPC3y	1,71	1,67	1,46	1,49	4,5	5	4	6,1	2,3	3,75	6,7	6,4
BPC3ş	1,69	1,62	1,49	1,48	3,8	4,4	5,8	6,6	0,975	3,5	7,55	5,8
BÇ	2,00	1,95	1,73	1,77	7,2	6	4,4	4,9	22,05	23,4	15,55	14,2
BÇ-B	2,01	1,94	1,72	1,82	5,5	6,6	5,9	6,4	21,9	24,05	16,15	15,2
BÇC3y	2,05	1,94	1,81	1,89	6,6	5,7	6,4	7,9	12,25	16,3	15,1	14,4
BÇC3ş	2,09	1,96	1,81	1,89	4,5	3,9	3,8	8,9	6,45	9,85	9,3	19
BK	1,89	1,76	1,56	1,66	16,1	14,3	12,6	11,8	23,1	18,75	15,95	12,3
BK-B	1,86	1,76	1,53	1,62	19,9	13,1	14,4	7,6	23,1	23,3	17,3	16
BKC3y	1,83	1,75	1,58	1,64	4,6	5,6	6,3	8,5	4,8	5,9	7,25	5,5
BKC3ş	1,79	1,70	1,55	1,61	4,9	8,2	6,5	10,8	3,4	6,85	9,55	10,4

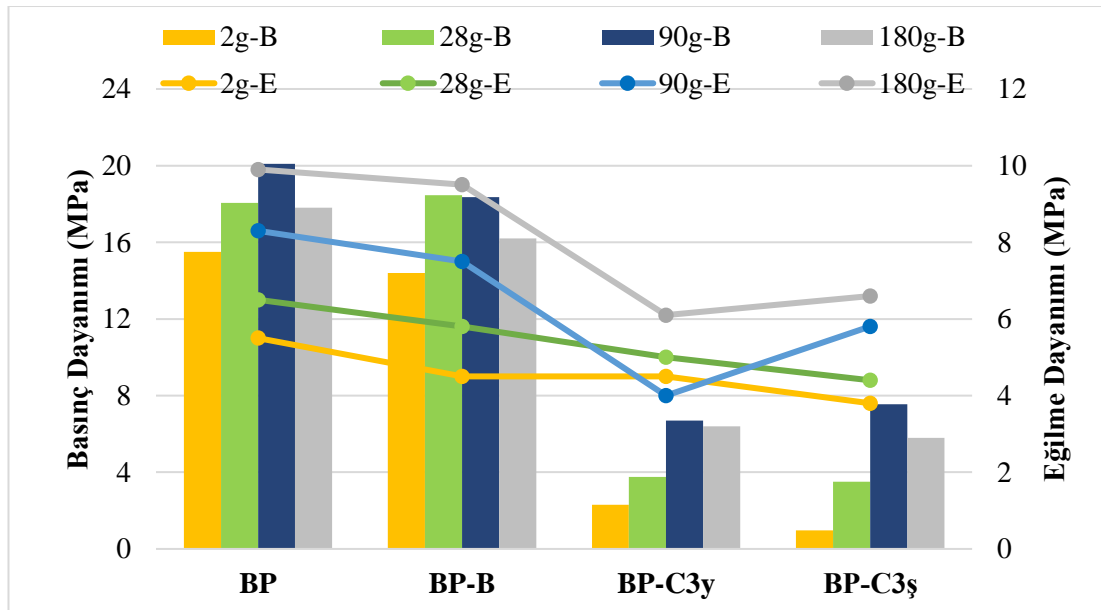
Bor içerikli numuneler referans (borsuz-camsız) numunelerle kıyaslandığında, çelik ve karbon lifli üretimlerde tüm günlerde BHA'ların neredeyse aynı olduğu görülmüştür. PP lifli üretimlerde ise borun etkisi BHA'yı azaltıcı yönde olmuştur. PP lifli ve karbon lifli gruplarda, cam katkılı harçların BHA'ları referansa göre daha düşük olmuştur. Şeffaf cam içerikli numunelerin değerleri yeşil cam katkılı olanlara göre ise neredeyse aynıdır. Mikro çelik lifli gruplarda ise cam katkılı harçların BHA'ları referansa göre daha yüksek olup birbirleriyle karşılaştırıldıklarında önemli derecede fark yoktur. PP, karbon ve mikro çelik lifli yeşil ve şeffaf cam katkılı harçların BHA değerleri ise birbirine yakındır.

Aynı ç/t oranına sahip PP ve karbon lif takviyeli alkali aktive hamur ve harçlar kendi aralarında kıyaslandığında karbon lifli numunelerin birim hacim ağırlıklarının PP lifli hamurlara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak, karbon lifin yüksek su emme özelliğinden dolayı çözeltiyi belli oranda emmesinden kaynaklanmaktadır. Liflerin yapıda homojen dağılımını sağlamak için karışımdaki

toz malzemelerin oranı değiştirilmeden çözelti miktarı azaltılsa da çelik liflerin yoğunluğu kullanılan diğer lif türlerine ve toz malzemelere göre daha yüksektir. Çelik lifli macunların BHA'sını diğer macunlardan daha yüksek yapan matristedir.

Çizelge 4.4'e göre;

Erken yaştaki basınç dayanımları karşılaştırıldığında, camsız sistemde karbon lifle takviye edilen hamurların basınç dayanımları diğerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Cam katkıli sistemde ise mikro çelik lifli harçların değerleri diğerlerinden daha yüksektir. 180 gün yaşındaki basınç dayanımları karşılaştırıldığında, cam bulundurmeyen sertleşmiş hamurlarda en yüksek dayanımı PP lif takviyeli numuneler; cam katkıli olanlarda ise en yüksek değerleri çelik lifli numuneler vermiştir. Erken yaştaki eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, camsız sistemde karbon lifle takviye edilen hamurların eğilme dayanımları diğerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Cam katkıli sistemde ise mikro çelik lifli harçların değerleri diğerlerinden daha yüksektir. 180 gün yaşındaki eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, cam bulundurmeyen sertleşmiş hamurlarda en yüksek dayanımları PP ve karbon lif takviyeli numuneler; cam katkıli olanlarda ise en yüksek değerleri çelik ve karbon lifli numuneler vermiştir.



Şekil 4.8. Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

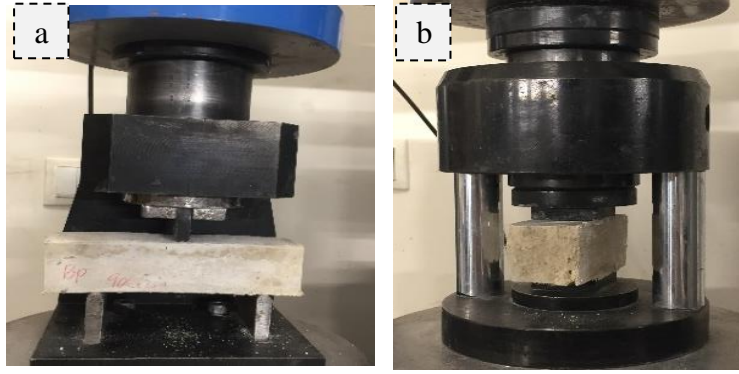
Şekil 4.8'e göre;

Tüm hamur ve harçlarda 90 gün yaşına kadar basınç dayanımları farklı oranlarda artmış, sonrasında BPC3y'nin aynı kalması dışında azalmıştır. Malzemelerde aşırı genleşmeler gerçekleştiği için 180 günde dayanım kaybı olmuştur. Örneğin, sırasıyla BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş için 2 gün- 90 gün yaşlarında %30, %27, %191 ve %674 oranlarında basınç dayanımı artmıştır, sırasıyla BP, BPB ve BPC3ş için 90 gün - 180 gün yaşlarında %11, %12, ve %23 oranlarında basınç dayanımı azalmıştır. Bunun sebebi matrisin 90 günden sonrasında karbonatlaşma sebebiyle genleşmesinden kaynaklanmaktadır. Hacim sabitliği deney sonuçlarında ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

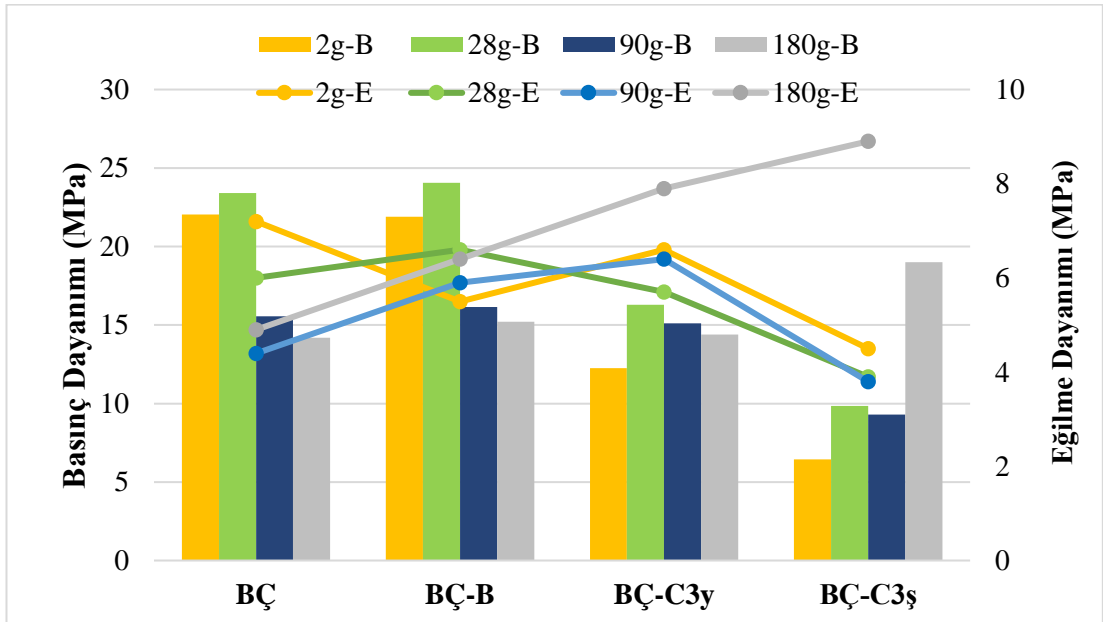
Tüm hamur ve harçlarda 180 gün yaşına kadar eğilme dayanımları yeşil cam katkılı numune haricinde artmıştır. BPC3y için 90 gün yaşına kadar değerlerde azalma olmuş, sonrasında artmıştır. Örneğin, sırasıyla BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş için 2 gün- 180 gün yaşlarında %80, %111, %35 ve %74 oranlarında eğilme dayanımı artmıştır. Bunun sebebi eğilme dayanımı sırasında matristen çok lif yükü taşıdığı için karbonatlaşma sebebiyle genleşme olmasına rağmen eğilme dayanımları 180 gün sürecinde artmıştır.

Referans hamura kıyasla boraksın basınç dayanımlarına herhangi bir etkisi olmamıştır. Bu, değişimin %10'luk kısmın altında kalmasıyla açıklanabilmektedir. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, boraks katkısının tüm günler dahilinde dayanımları düşürdüğü anlaşılmaktadır. Örneğin, boraks katkısı eğilme dayanımını 2 gün, 28 gün, 90 gün ve 180 gün yaşlarında sırasıyla %18, %11, %10 ve %4 oranında azalmıştır.

Yeşil ve şeffaf cam katkılı harçların basınç dayanımları karşılaştırıldığında, erken yaş haricinde tüm yaşlarda dayanımların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Erken yaşta ise şeffaf camlı harcın dayanımı diğerinden %58 oranında daha düşük çıkmıştır. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, 28 güne kadar yeşil camlı numunelerin değerleri daha yüksekken sonrasında durum aksine dönmüştür. 2gün ve 28 gün yaşında şeffaf cam katkılı harcın dayanımı sırasıyla %15 ve %12 oranında daha düşük çıkarken, 90gün ve 180 gün yaşında ise sırasıyla %45 ve %8 oranında yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.9. a) Eğilme dayanımı deneyi sırasında BPD0, b) PP lifin dağılımı.



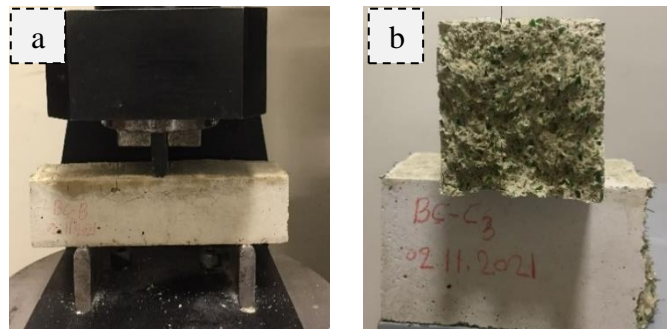
Şekil 4.10. Beyaz tuf esaslı mikro çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

Şekil 4.10'a göre;

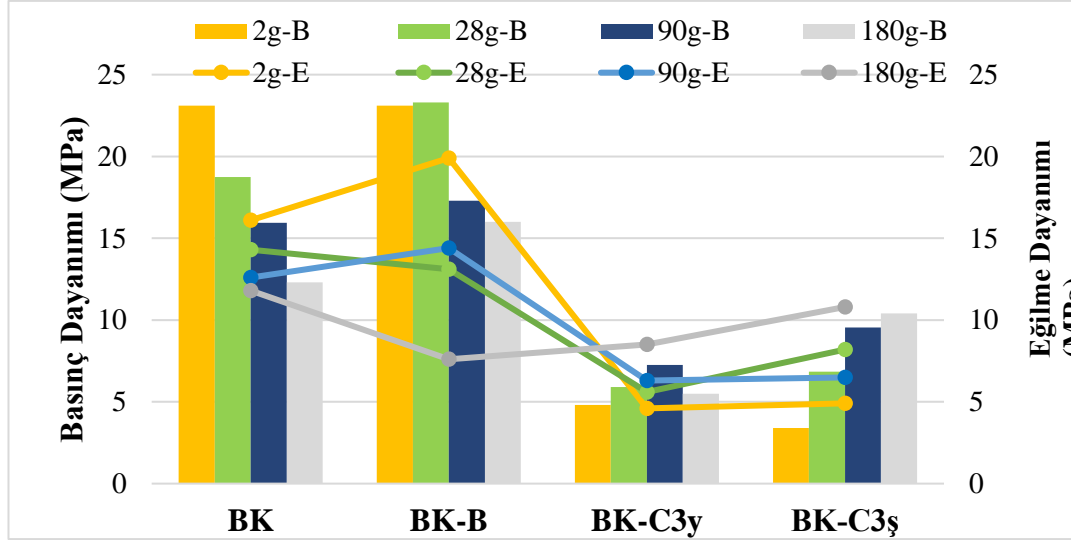
Hamurların ikisinde de zaman geçtikçe basınç dayanımı kaybı görülmektedir. Hamurların dayanımları 2 ve 28 gün yaşlarında benzer çıkmış, malzemelerde aşırı genleşmeler gerçekleştiği için 28 gün itibarıyla dayanım kaybı oluşmuştur. Örneğin, sırasıyla BP ve BPB için 2 gün- 180 gün yaşlarında %36 ve %30 oranlarında basınç dayanımı azalırken, yeşil ve şeffaf cam katkılı harçlarda dayanım sırasıyla %18 ve %194 oranlarında artmıştır. Hacim sabitliği deney sonuçlarında ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Tüm hamur ve harçlarda 180 gün yaşına kadar eğilme dayanımları referans numune haricinde artmıştır. Örneğin, sırasıyla BPB, BPC3y ve BPC3ş için 2 gün- 180 gün yaşlarında %16, %20 ve %98 oranlarında eğilme dayanımı artarken, BP hamurunda %32 oranında azalmıştır. Bunun sebebi eğilme dayanımı sırasında matrinden çok lif yükü taşıdığı için karbonatlaşma sebebiyle genleşme olmasına rağmen eğilme dayanımları 180 gün sürecinde artmıştır. Büzülme miktarı BP’de fazla olduğu için bu sonuç ortaya çıkmaktadır. Referans hamura kıyasla boraksın basınç dayanımlarına herhangi bir etkisi olmamıştır. Bu, değişimin %10’luk kısmın altında kalmasıyla açıklanabilmektedir. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, boraks katkısının 2 gün yaşı için dayanımı düşürdüğü, sonrasında ise artırdığı anlaşılmaktadır. Boraks katkısı eğilme dayanımının 2 gün yaşında %24 azalmasına, 28 gün, 90 gün ve 180 gün yaşlarında ise sırasıyla %10, %34 ve 31 oranlarında artmasına neden olmuştur.

Yeşil ve şeffaf cam katkılı harçların basınç dayanımları karşılaştırıldığında, 90 yaşa kadar yeşil cam katkılı harcın değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Aradaki yüzdelik fark 2, 28 ve 90 gün yaşları için sırasıyla %90, %65 ve %62 şeklindedir. 180 gün yaşında ise, şeffaf cam içerikli harcın dayanımı yeşil cam içerikliden %32 fazladır. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, 2, 28 ve 90 gün yaşlarında yeşil cam katkılı harcın değerleri şeffaf cam katkılı harçtan sırasıyla %47, %46 ve %68 oranında fazlayken, 180 gün yaşında ise %11 düşüktür.



Şekil 4.11. a) Basınç dayanımı deneyi sırasında, b) Çelik lifin dağılımı.



Şekil 4.12. Beyaz tuf esaslı kırılmış karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

Şekil 4.12'ye göre;

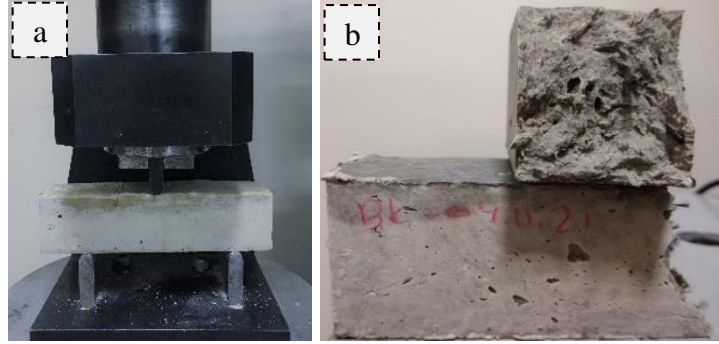
Hamurların ikisinde de zaman geçtikçe basınç dayanımı kaybı görülmektedir. Malzemelerde aşırı genleşmeler gerçekleştiği için ilerleyen zamanlarda dayanım kaybı oluşmuştur. Sırasıyla BK ve BKB için 2 gün - 180 gün yaşlarında %47 ve %31 oranlarında basınç dayanımı azalmıştır. Yeşil ve şeffaf cam katkılı harçlarda ise zamanla basınç dayanımında artış gözlenmiştir. Sırasıyla BKC3y ve BKC3ş için 2 gün - 180 gün yaşlarında %14 ve %206 oranlarında basınç dayanımı artmıştır. Hacim sabitliği deney sonuçlarında ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Bor katkılı ve borsuz hamurların ikisinde de zamanla eğilme dayanımlarının azaldığı, yeşil ve şeffaf cam katkılı harçlarda ise arttığı görülmektedir. BK ve BKB için 2 gün - 180 gün yaşlarında eğilme dayanımı sırasıyla %27 ve %62 oranlarında azalırken, BKC3y ve BKC3ş harçlarında ise değerler sırasıyla %85 ve %120 oranında artmıştır. Camlı sistemde camın eğilme dayanımına etkisi önemli ölçüde görülmektedir.

Referans hamura kıyasla boraksın basınç dayanımlarına etkisi 2 günlük sonuçlar haricinde açıkça görülmektedir. Bor, ilerleyen süreçte basınç dayanımı artırır niteliktedir. 2 gün yaşındaki değerler neredeyse aynı olup, 28-90 ve 180 gün yaşındaki değerler referans numuneden sırasıyla %24, %8 ve %30 oranında fazladır.

Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, boraks katkısının erken yaşta dayanımı artırdığı (%24), geç yaşta ise düşürdüğü (%35) belirlenmiştir.

Şeffaf cam dayanımları yeşil cama göre genel itibarıyla artırmıştır. Yeşil ve şeffaf cam katkılı harçların basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, erken yaşta şeffaf cam katkılı harcın dayanımı diğerinden %29 daha az; 28, 90 ve 180 gün yaşları için ise sırasıyla %16, %32 ve %89 daha fazladır. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında, şeffaf cam katkılı harcın dayanımı genel olarak yeşil camlı harçtan fazladır. Erken yaştaki dayanımlarının birbirlerine yakın olmasıyla birlikte 180 gün yaşındaki değerleri karşılaştırıldığında şeffaf camlı numunenin değerinin yeşil camlı olandan %27 kadar daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 13. a) Eğilme dayanımı deneyi sırasında b) Karbon lifin dağılımı.

4.4. ÖZGÜL AĞIRLIK, SU EMME VE GÖRÜNEN POROZİTE SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Her gruptaki küp numunelere uygulanan su emme testi 2 gün, 28 gün, 90 gün ve 180 günde sertleştirilmiş hamur ve çaprazlar üzerinde yapılmıştır. Geopolimerizasyon reaksiyonları sonucunda, polimerik ürünlerin oluşum hızına bağlı olarak hamurların ve çaprazların su direnci belirli yaşlarda gözlenememiştir. Yeşil tüf, çelik lif takviyeli beyaz tüflü hamur ve PP lif takviyeli beyaz tüflü hamur içeren tüm Hamurda meydana gelen deformasyon (çatlak, şişme, dağılma vb.) nedeniyle su emme testi yapılmamıştır. her yaştan Grupların özgül ağırlığı, su emmesi ve görünür gözenekliliği test edildi. Sonuçlar Tablo 4.5'te gösterilmektedir. tablo 4.5'e göre; PP elyaf macun ve harçlardaki AAH'lerin su emme oranı zamanla azalmıştır. Erken

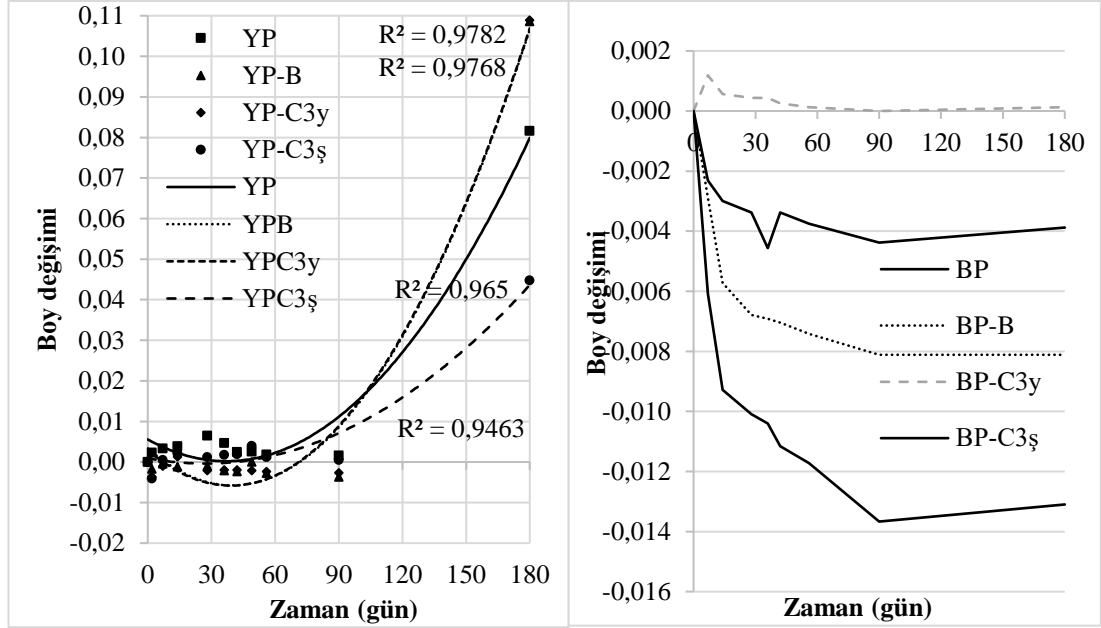
evrelerde su emilimini ve gözenekliliği artırırken, geç evrelerde önemli ölçüde azaltmıştır. AAH'lerde cam ilavesi su direncini azalttı ve bor ilavesi su direncini önemli ölçüde etkilemedi. Su emme, diğerlerinin gözenekliliği ortalama %40'ın üzerindedir. Bazıları %40'ın altına ulaşmış ve bunlar çelik numunelerdir.

Çizelge 4.5. Sertleşmiş hamurların su emme deney sonuçları.

Kod	2 gün			28 gün			90 gün			180 gün		
	KÖA	S (%)	P _g (%)	KÖA	S (%)	P _g (%)	KÖA	S (%)	P _g (%)	KÖA	S (%)	P _g (%)
YP	1,21	41,4	50,2	1,27	34,6	43,9	1,24	37,1	45,8	-	-	-
YPB	1,28	38,4	49,2	1,35	28,8	38,9	1,21	36,3	43,8	-	-	-
YPC3y	1,14	41,0	46,7	1,12	40,5	45,3	1,94	43,3	84,3	-	-	-
YPC3ş	1,17	39,9	46,5	1,16	37,7	43,8	1,83	38,5	70,7	-	-	-
YÇ	-	-	-	-	-	-	1,68	25,0	42,1	-	-	-
YÇB	1,58	24,0	37,8	-	-	-	1,61	26,3	42,5	-	-	-
YÇC3y	1,60	22,8	36,6	-	-	-	1,72	21,9	37,7	-	-	-
YÇC3ş	1,58	23,6	37,2	-	-	-	1,74	22,2	38,8	-	-	-
YK	-	-	-	1,69	38,8	65,6	1,81	31,7	57,4	1,75	31,0	54,3
YKB	-	-	-	1,81	35,7	64,9	1,79	32,1	57,7	2,95	24,8	73,3
YKC3y	-	-	-	1,94	37,8	73,5	1,91	27,6	52,8	1,97	28,5	56,1
YKC3ş	-	-	-	1,87	37,93	71,1	1,93	28,7	55,5	1,87	33,9	63,5
BP	-	-	-	1,82	42,2	76,7	-	-	-	1,91	29,7	56,9
BPB	-	-	-	1,98	38,6	76,5	-	-	-	1,86	28,6	53,1
BPC3y	-	-	-	2,09	41,0	85,5	-	-	-	-	-	-
BPC3ş	-	-	-	2,03	57,4	116,7	-	-	-	-	-	-
BÇ	-	-	-	-	-	-	1,70	23,9	40,6	-	-	-
BÇB	-	-	-	-	-	-	1,68	25,2	42,3	-	-	-
BÇC3y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BÇC3ş	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	1,88	38,5	72,6	1,85	27,8	51,5	1,73	32,8	56,6
BKB	-	-	-	1,98	35,8	70,8	2,07	26,7	55,4	1,83	30,3	55,3
BKC3y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BKC3ş	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.5. BÜZÜLME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

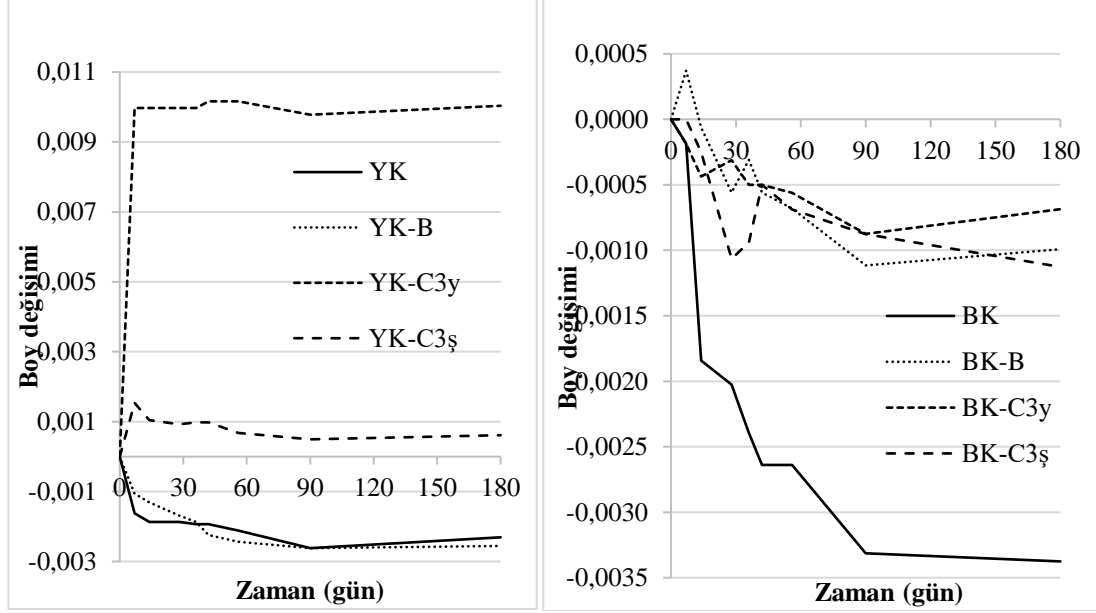
Büzülme deneyi 2, 7, 14, 28, 56, 90 ve 180. günlerde numunelerin boy ölçümleri dijital kumpas ve boy değişimi çerçevesi ile yapılmıştır. Deney sonuçları sırasıyla YBP, BBP, YBK, BBK ve YBÇ, BBÇ hamurlar ve harçları için Şekil 4.14-.16'te verilmiştir.



Şekil 4.14.PP lif takviyeli AAH'lerin büzülme sonuçları.

Şekil 4.14'e göre; 180 günlük süreçte tüm Yeşil tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'ler farklı oranlarda genişleme davranışı göstermiştir. YP, YPB, YPC3y ve YPC3ş numuneleri sırasıyla %8,2, %10,9, %10,9 ve %4,5 genişlemiştir. Ancak 180 günlük süreçte malzemeler genel olarak önce büzülmüş sonra genişlemiştir. Bu davranış hem kuruma rötresi hem de mikroyapı değişimlerinden kaynaklanmaktadır [26]. Bu davranışın sonucunda basınç ve eğilme dayanımları da bu bileşenli AAH'lerde oldukça düşmüştür. Bunun temel sebebi mikroyapı analizlerinde bahsedildiği gibi karbonatlaşma esaslı olduğu da söylenebilir. Aynı süreçte Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'ler farklı oranlarda büzülme davranışı göstermiştir. BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş numuneleri sırasıyla %1,3, %0,8, %0,4 ve %0 oranlarında büzülmüştür. Ancak 180 günlük süreçte cam katkılı malzemeler genel olarak önce genişlemiş sonra büzülmüştür. Beyaz tuf esaslı AAH'lerde büzülme davranışı oldukça düşük seviyelerde gerçekleştiği için dayanım kayıpları yeşil tuf esaslı AAH'lerden daha düşük seviye kalmıştır. Buna göre BPC3y hariç PP lifli tüm

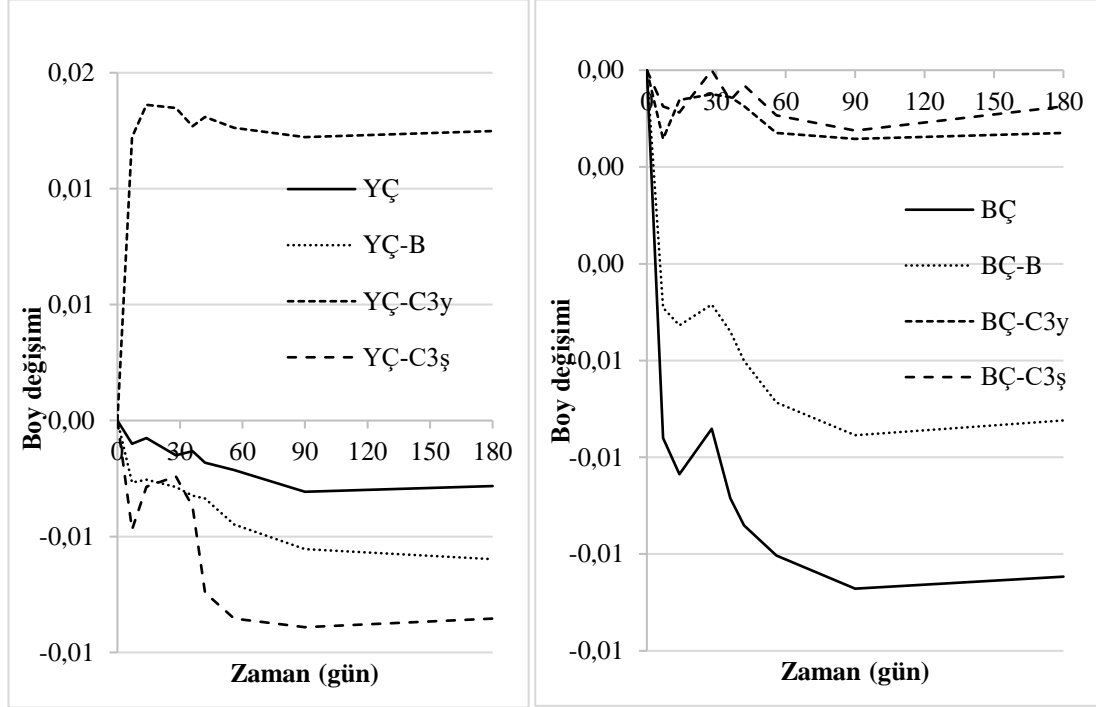
numuneler belli oranlarda hacim sabitliklerini bozmuşlardır. Ancak, beyaz tuf bileşeninin yeşil tuf bileşenine göre hacim sabitliği konusunda daha nitelikli bir malzeme olduğu düşünülebilir.



Şekil 4.15. Karbon lif takviyeli AAH'lerin hacim değişimi deney sonuçlarının grafikleri.

Şekil 4.15'e göre; 180 günlük süreçte tüm Yeşil tuf bazlı karbon fiber takviyeli AAH'ler bazılarında büzülme davranışı gösterirken bazılarında ise genleşme davranışı göstermiştir. YK ve YKB numuneleri sırasıyla %-0,2 , %-0,3 büzülürken YKC3y ve YKC3ş %1 ve %0,1 genleşmiştir. Ancak malzemeler genel olarak önce büzülmüş sonra genleşmiştir. Bu davranış hem kuruma rötresi hem de mikroyapı değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu davranışın sonucunda basınç ve eğilme dayanımları da bu bileşenli AAH'lerde oldukça düşmüştür. Bunun temel sebebi mikroyapı analizlerinde bahsedildiği gibi karbonatlaşma esaslı olduğu da söylenebilir. Aynı süreçte Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'ler BK haricinde diğer numuneler aynı büzülme davranışı göstermiştir. BK, BKB, BKC3y ve BKC3ş numuneleri sırasıyla %-0,3, %-0,1, %-0,1 ve %-0,1 oranlarında büzülmüştür. Ancak 180 günlük süreçte yeşil cam ve bor katkılı malzemelerde büzülme davranışı gösterdikten sonra genleşme davranışına yönelmiştir. Beyaz tuf

esaslı AAH'lerde büzülme davranışı yeşil tüf esaslı AAH'lerden oldukça düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.

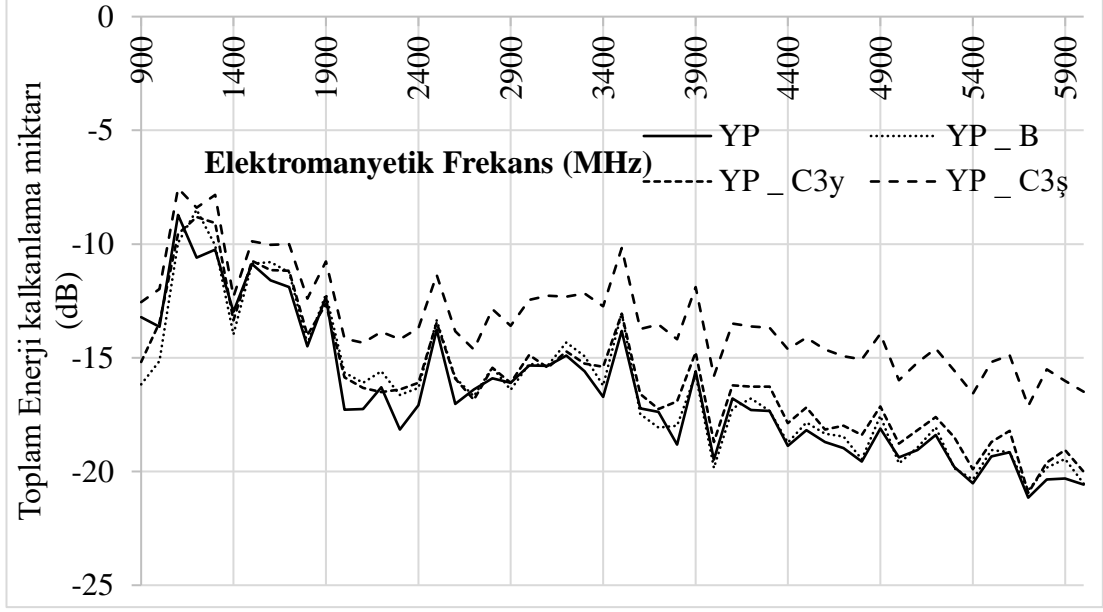


Şekil 4.16. Mikro çelik lif takviyeli AAH'lerin hacim değişimi deney sonuçlarının grafikleri.

Şekil 4.16'e göre; 180 günlük süreçte tüm Yeşil tüf esaslı mikro çelik lifle büzülmüş AAH'ler farklı oranlarda genişleme davranışı göstermiştir. YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş numuneleri sırasıyla %-0,3 , %-0,6, %1,2 ve %-0,9 büzülmüştür. Ancak malzemeler genel olarak önce genişlemiştir sonra büzülmüştür. Bu davranış hem kuruma rötresi hem de mikroyapı değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu davranışın sonucunda basınç ve eğilme dayanımları da bu bileşenli AAH'lerde oldukça düşmüştür. Bunun temel sebebi mikroyapı analizlerinde bahsedildiği gibi karbonatlaşma esaslı olduğu da söylenebilir. Aynı süreçte Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'ler farklı oranlarda büzülme davranışı göstermiştir. BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş numuneleri sırasıyla %-1, %-0,7, %-0,1 ve %-0,1 oranlarında büzülmüştür. Ancak 180 günlük süreçte cam katkılı malzemeler genel olarak önce genişlemiş sonra büzülmüştür. Beyaz tüf esaslı AAH'lerde büzülme davranışı oldukça düşük seviyelerde gerçekleştiği için dayanım kayıpları yeşil tüf esaslı AAH'lerden daha düşük seviye kalmıştır.

4.6. ELEKTROMANYETİK ÖZELLİK TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Deneyde, elektromanyetik alanda (EMF) bir Faraday kafesinde her bir AAH'den üretilen 300x300x10 mm boyutlarındaki fiber kaplama malzemelerine elektromanyetik enerjinin iletim ve yansıma özellikleri 900 MHz ile 6000 MHz arasında 100 MHz aralıklarla incelenmiştir. . . . AAH kaplama malzemelerinin üretiminden sonra 56 ile 90 gün arasında deneyler yapılmıştır. Bu bölümde, ilk adımda iletim miktarı (toplam ekranlama değeri) değerlendirilir ve bir sonraki adımda yansıma sonuçları değerlendirilir. Şekil 4.17 – Şekil 4.34, EMF iletim ve yansıma verilerini göstermektedir. EMF iletim şemalarından sonra kaplamaların yapıldığı günden görüntüler var. Elektromanyetik özellikler, 900 MHz, 1800 MHz (cep telefonu frekansları), 2400 MHz (Bluetooth ve Wi-Fi frekansları) ve 5000 MHz (Wi-Fi frekansları). AAH'lerin molaritesi elektromanyetik özellikler için etkili bir parametre olmadığı için yeşil ve beyaz tüf üretimi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Şekillerde verilen boyutlar, EMF dalgalarının malzeme tarafından emilmesini ve yansımasını göstermektedir. İletim değerlerindeki olumsuz ifade, absorpsiyon ve yansıma (ekranlama) miktarının ne kadar yüksek olduğunu gösterir. Bu noktada bilgisayar ve TV radyasyonundan korunmak için -20dB, Wi-Fi vericilerini kapatmak için -50dB - 70dB ve cep telefonu bantlarını kapatmak için -70dB - 90dB gerekir.



Şekil 4.17. Yeşil tuf temelli PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

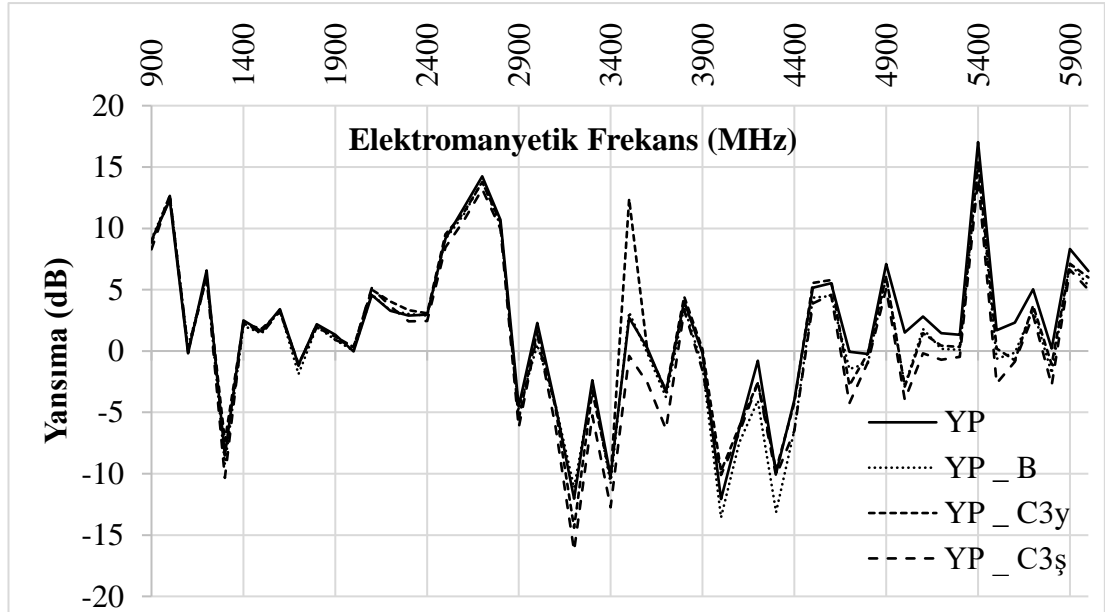
Şekil 4.17'ye göre boraks ve cam katkı maddeleri eklendiğinde etkileşimin özellikle yüksek enerjilerde arttığı, yansıma veya soğurma özelliğinin daha net görüldüğü belirlendi. Bununla birlikte, özellikle şeffaf cam katkılı AAH'ler, EMF dalgalarına karşı daha az koruma gösterdi.

900 MHz'lik frekans kapsamında YP , YPB, YPC3y ve YPC3ş'in EMA iletim ölçüleri sırasıyla -13.22 dB, -16.17dB, -15.18 dB ve -12.56 dB'dir. En yüksek miktarda EMF zayıflatıcı alkali ile aktifleştirilmiş bileşim YPB elde edilirken, en düşük miktarda EMF zayıflatıcı alkali ile aktifleştirilmiş bileşim YPC3ş'de elde edilmiştir. AAH malzemelerine boraksın eklenmesi daha fazla EMA zayıflaması sağladı. AAH harçlarında, yeşil camlı kaplama malzemesi, şeffaf camlı kaplama malzemesine göre daha fazla EMA'yı zayıflatmıştır.

1800 MHz frekansta YP , YPB, YPC3y ve YPC3ş'in EMF İletim ölçümleri sırasıyla -14,5 dB, -14,39 dB, -14,01 dB ve -12,4 dB'dir. En yüksek miktarda EMF zayıflaması AAH YP'de elde edilirken, en düşük miktarda EMF zayıflaması AAH YPC3ş'de elde edildi. Karışıma bor veya yeşil cam eklenmesi, referans kaplamaya kıyasla iletim boyutlarını önemli ölçüde etkilemedi ve ölçümler 900 MHz'e göre düşürüldü.

2400 MHz'de YP, YPB, YPC3y ve YPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -17.08 dB, -16.32 dB, -16,1 dB ve -13,7 dB'dir. En yüksek EMF zayıflaması AAH YP'de elde edilirken, en düşük EMF zayıflaması şeffaf cam katkılı YPC3ş ile AAH'da elde edildi. Karışıma bor veya yeşil cam ilavesi referans kaplamaya göre iletim ölçümlerinde kayda değer bir etki yaratmamış, ölçümler 1800 MHz'e göre artış göstermiştir.

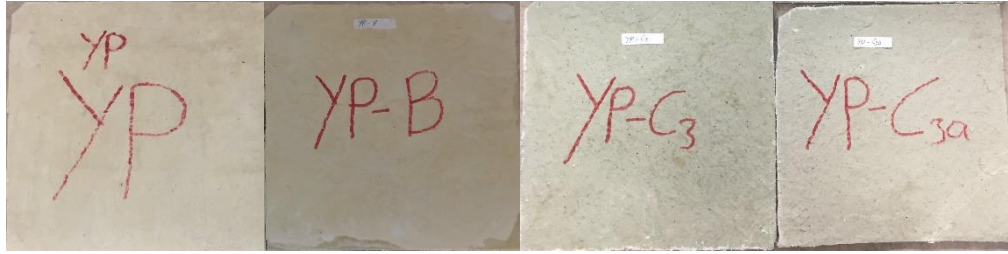
5000 MHz frekansında YP , YPB, YPC3y ve YPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -19.38 dB, -19.65 dB, -18.78 dB ve -15.99 dB'dir. En yüksek EMF zayıflama oranı AAH YPB'den, en düşük EMF zayıflama oranı ise şeffaf cam içerikli YPC3ş'den elde edildi. Karışıma boron veya yeşil cam ilavesi referans kaplamaya göre iletim boyutlarında kayda değer bir etki yaratmamış, 2400 MHz'e göre boyutlar artmıştır.



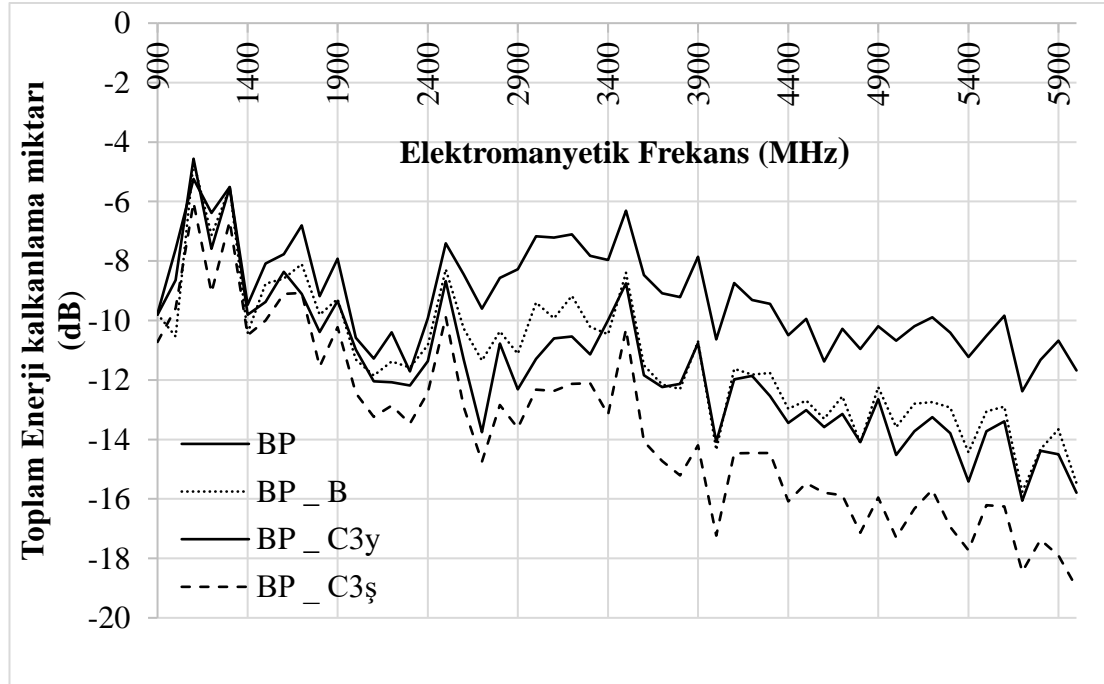
Şekil 4.18. Yeşil tüf temelli ve PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

Şekil 4.18'e göre 900 – 2700 MHz ile 4500 – 6000 MHz arasında daha yüksek yansıtma değerleri, diğerlerinde ise daha düşük yansıtma değerleri elde edildi. Yansıma dedektöründen alınan ölçümlere göre, AAH'lere bor ve cam eklenmesi

EMF dalgalarının yansımaya davranışını çok fazla etkilememiştir. Şekilde görüldüğü gibi bor ve cam katkıları frekans artışı ile önemli sapmalara neden olmamıştır. En yüksek yansımaya sırasıyla 14.23 dB ve 17.03 dB ile 2700 MHz ve 5400 MHz frekanslarında gözlemlendi. En düşük yansımaya değerleri 3200 MHz ve 4000 MHz frekanslarında sırasıyla -16.28 ve -13.57 dB idi. Ahmed (2021), hacimce %2 pp fiber kullanarak yaptığı çalışmada 900 MHz'de maksimum yansımaya değerini -9.23 dB olarak ölçmüştür [25]. Guan et al. (2017) ise en yüksek yansımaya kaybı 3,7 GHz'de -28 dB ile elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.29'da görüldüğü gibi kaplama malzemeleri 90 günlük yaşa kadar karbonasyona uğramasına rağmen bor etkisi ile kaplamaların renklerinin koyulaştığı açıkça görülmektedir.

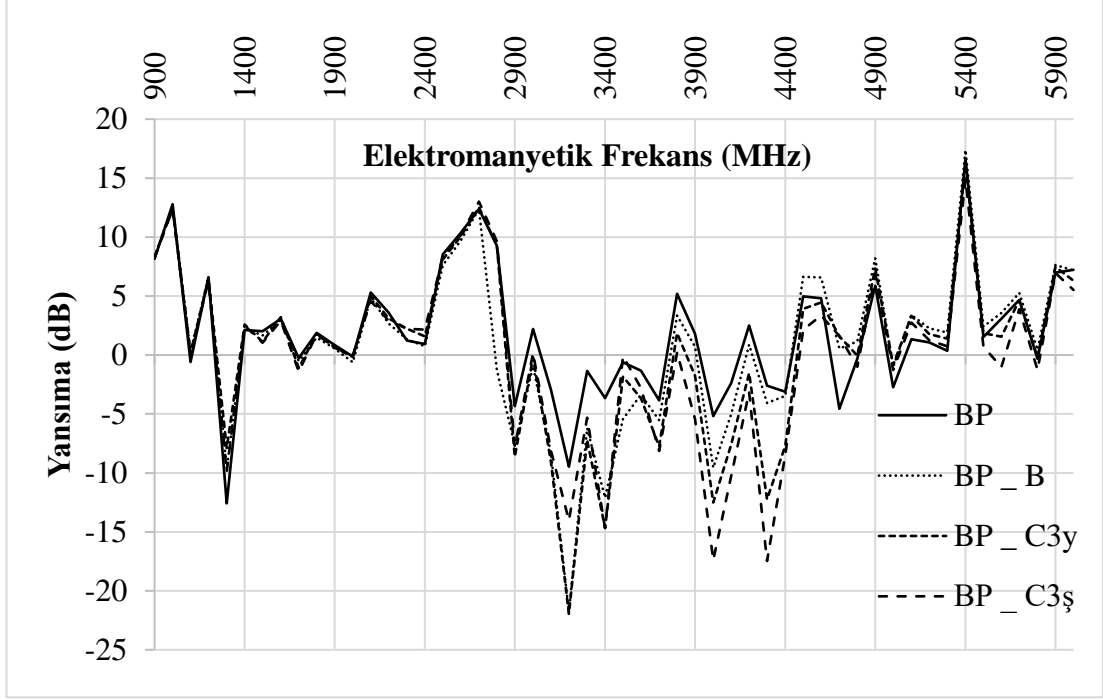


Şekil 4.19. Yeşil tüf temelli PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.



Şekil 4.20. Beyaz tüf temelli PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

Şekil 4.20'ye göre beyaz tuf esaslı PP elyaf AAH'lerde özellikle bor ve camın etkisiyle EMF etkileşiminin yüksek enerjilerde arttığı ve yansıma veya soğurma özelliklerinin daha net gözlemlendiği tespit edilmiştir. En düşük koruyucu özellik BP'de gözlenirken, en yüksek koruma BPC3ş'de elde edildi, BPB ve BPC3y birbirine yakın özellikler gösterdi. Ayrıca artan frekansla etkileşimin arttığı ve transfer değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. 900 MHz'de BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -9.76 dB, -9.78 dB, -9.81 ve -10.72 dB'dir. En yüksek EMF zayıflaması AAH BPC3ş'de elde edildi. Ancak, BP, BPB ve BPC3y için EMF zayıflama önlemleri birbirinden önemli ölçüde farklı değildi. 1800 MHz'de BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -9.18 dB, -9.81 dB, -10.39 dB ve -11.55 dB'dir. En yüksek EMF zayıflama oranı AAH BPC3'te elde edilirken, en düşük EMF zayıflama oranı AAH BP'de elde edildi. Diğer kaplamaların koruyucu özellikleri referans kaplamadan üstündür. 2400 MHz'de BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -9.92 dB, -10.83, -11.37 ve -12.42 dB'dir. En yüksek EMF zayıflama oranı AAH BPC3'te elde edilirken, en düşük EMF zayıflama oranı AAH BP'de elde edildi. 5000 MHz'de BP, BPB, BPC3y ve BPC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -10.68 dB, -13.58 dB, -14.52 ve -17,3 dB'dir. En yüksek EMF zayıflama oranı BPC3'te elde edilirken, en düşük EMF zayıflama oranı AAH BP'de elde edildi. 900 ila 6000 MHz frekans bantlarındaki tüm alkali ile aktifleştirilmiş macun ve harçların iletim değeri (EMF zayıflaması ölçümü) -20 dB'den az olduğundan, PP elyaf ile üretilen BBT esaslı AAH kaplama malzemelerinin denilebilir. iletkenler gibi davranır. Malzemeler. belirtilen frekans aralığında



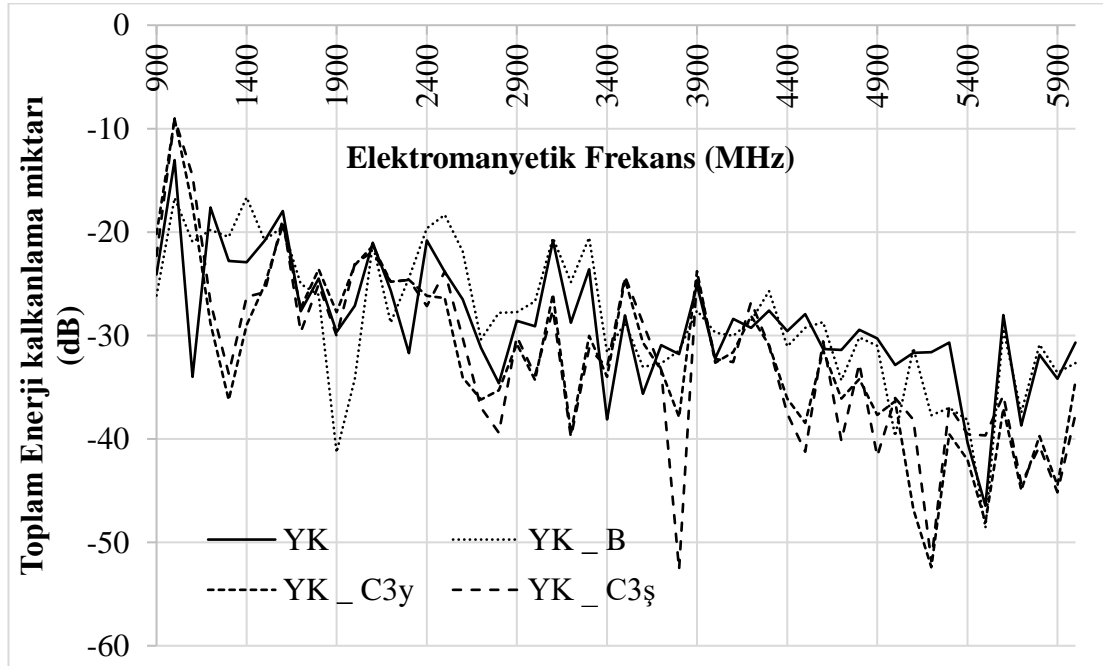
Şekil 4.21. Beyaz tüf temelli ve PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıtma özellikleri.

Şekil 4.21'e göre, 900 – 2700 MHz ve 4500 – 6000 MHz arasında daha yüksek yansıtma, diğerlerinde ise daha düşük yansıtma değerleri elde edilmiştir. 2900-4600 MHz arasındaki eğriler daha belirgin haldedir. Yansıtma detektöründen alınan ölçümlere göre, AAH'lerde bor ve cam katkısı EMF dalgalarını yansıtma davranışını çok fazla etkilememiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bor ve cam katkısının Frekans artışı ile önemli sapmalara neden olmadı. En yüksek yansıtma sırasıyla 13.02 dB ve 17.38 dB ile 2700 MHz ve 5400 MHz frekanslarında gözlemlendi. En düşük yansıtma değerleri ise 3200 MHz ile 4300 MHz frekanslarında sırasıyla -21,95 ve -17,47 dB ile olmuştur. Üretim sürecindeki bor ve cam içermeyen BP ve bor katkılı BPB kaplamalarında karbonatlaşma etkisi net bir şekilde görülmektedir. Cam katkılı C3y ve C3ş kaplamalarında bu etki daha az olmakla birlikte yeşil cam katkılı C3y kaplamasında da bu etki yok denecek kadar azdır.



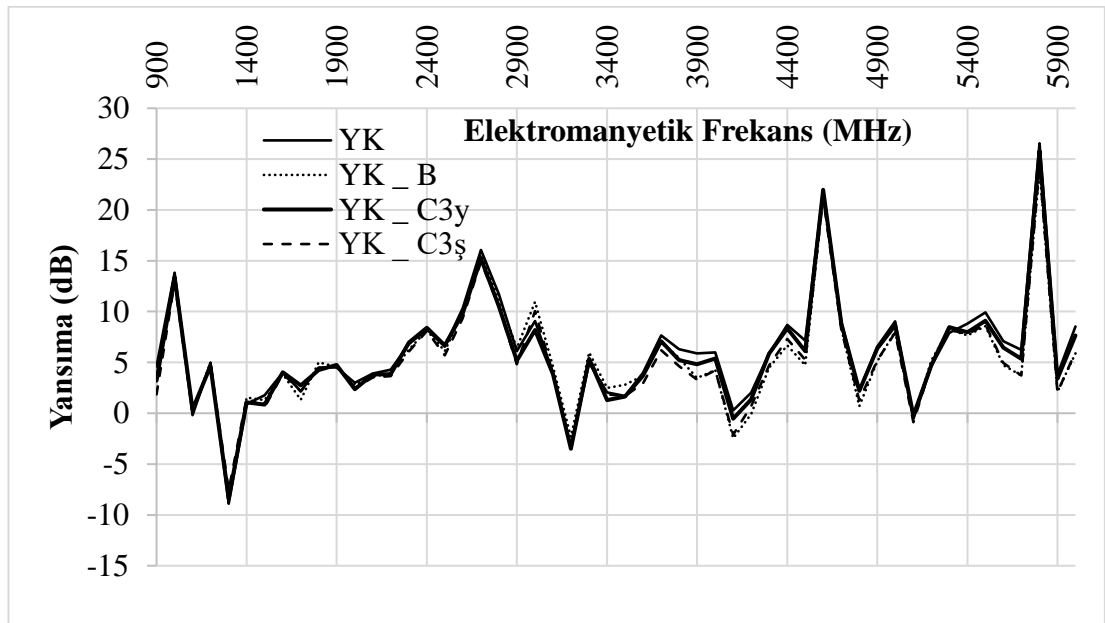
Şekil 4.22. Beyaz tüf temelli PP lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.

Şekil 4.22'e göre, YK, YKB, YKC3y ve YKC3ş Frekans arttıkça, EMF zayıflama önlemleri de önemli ölçüde arttı. Ancak AAH'lere bor veya cam ilavesinin EMF zayıflaması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve EMF zayıflamasının temel sebebinin çoğunlukla karbon fiber olduğu söylenebilir. Bu nedenle, Tüm frekans değerlerinde, tüm AAH transfer ölçümleri iç içe geçmiş ve anlamsız hale gelmiştir. Bahsedilen yeşil tüf içerikli ve karbon fiber kaplamalarda dalga iletimi ile ilgili herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Karışımdaki karbon fiber bor ya da iletken özelliği yüksek cam varken bile sisteme hâkim olduğu görülmüştür. En yüksek iletim değerine 5200 MHz frekansta ölçülen -51,84 dB ile YKC3ş, en düşük iletim değerine ise 1000 MHz frekansta ölçülen -9,01 dB ile yine YKC3ş kaplaması sahiptir.



Şekil 4.23. Yeşil tüf temelli karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

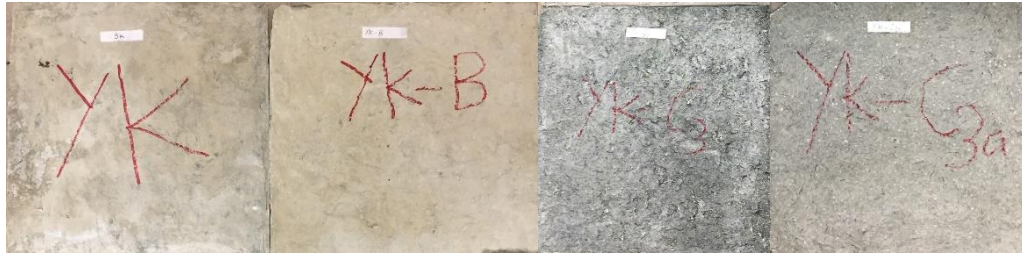
Şekil 4.23'e göre yansıtma dedektöründen yapılan ölçümlere göre AAH'lerde yani kaplama malzemesinde iletkenliğin artması, EMF dalgalarının yansıtma davranışını etkilememektedir, yani yansıtıcı davranış kaplama malzemesine eklenen bor veya cam ile doğrudan ilişkili değildir. Malzemeler Şekilde görüldüğü gibi bor veya camın EMF frekansının artırılması yansıtma değerlerinde önemli bir sapmaya neden olmamıştır ve sonuçlar hemen hemen aynıdır. Ayrıca frekans arttıkça yansıtma değerleri de artmaktadır. Yeşil tüf AAH'da karbon fiber, malzemenin elektrik iletkenliğini arttırdığından, kaplama malzemesinin soğurma ile yansıtma özelliğinin iyileşmesine yol açmıştır. En yüksek yansıtma değerine 5800 MHz frekansta ölçülen -25,80 dB ile YKC3y, en düşük iletim değerine ise 1300 MHz frekansta ölçülen -8,40 dB ile yine YKC3y kaplaması sahiptir. Bununla birlikte, karbon lifli kaplamalarda karışıma olan cam ilavesiyle numune renklerinde koyulaşma görülmektedir.



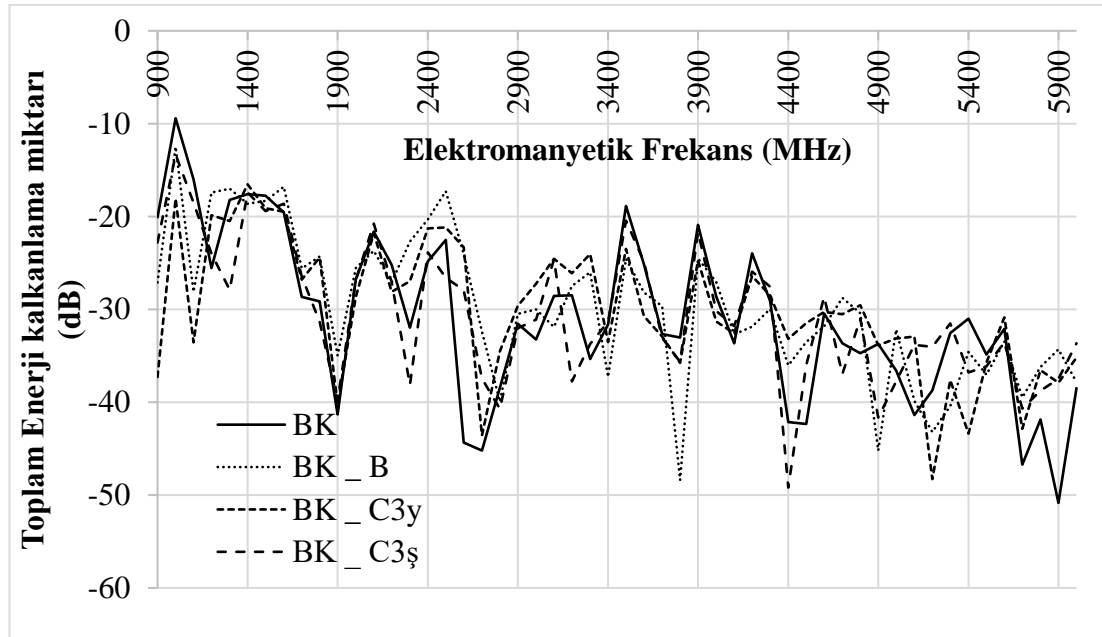
Şekil 4.24. Yeşil tüf temelli ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıtma özellikleri.

Şekil 4.24'e göre yansıtma dedektöründen yapılan ölçümlere göre AAH'lerde yani kaplama malzemesinde iletkenlik artışının EMF dalgalarının yansıtma yani yansıtma davranışı üzerinde fazla bir etkisi yoktur davranış, malzemeye eklenen bor veya cam ile doğrudan ilgili değildir. Şekilde görüldüğü gibi bor veya cam EMF frekansının artması ile yansıtma değerlerinde önemli sapmalara neden olmamış, sonuçlar hemen

hemen aynıdır. Ayrıca frekans arttıkça yansımaya değerleri de artmaktadır. Yeşil tuf AAH'da karbon fiber, malzemenin elektrik iletkenliğini arttırdığından, kaplama malzemesinin soğurma yoluyla yansıtma özelliğinin iyileşmesine yol açmıştır. En yüksek yansımaya değerine 5800 MHz frekansta ölçülen -25,80 dB ile YKC3y, en düşük iletim değerine ise 1300 MHz frekansta ölçülen -8,40 dB ile yine YKC3y kaplaması sahiptir. Bununla birlikte, karbon lifli kaplamalarda karışıma olan cam ilavesiyle numune renklerinde koyulaşma görülmektedir.



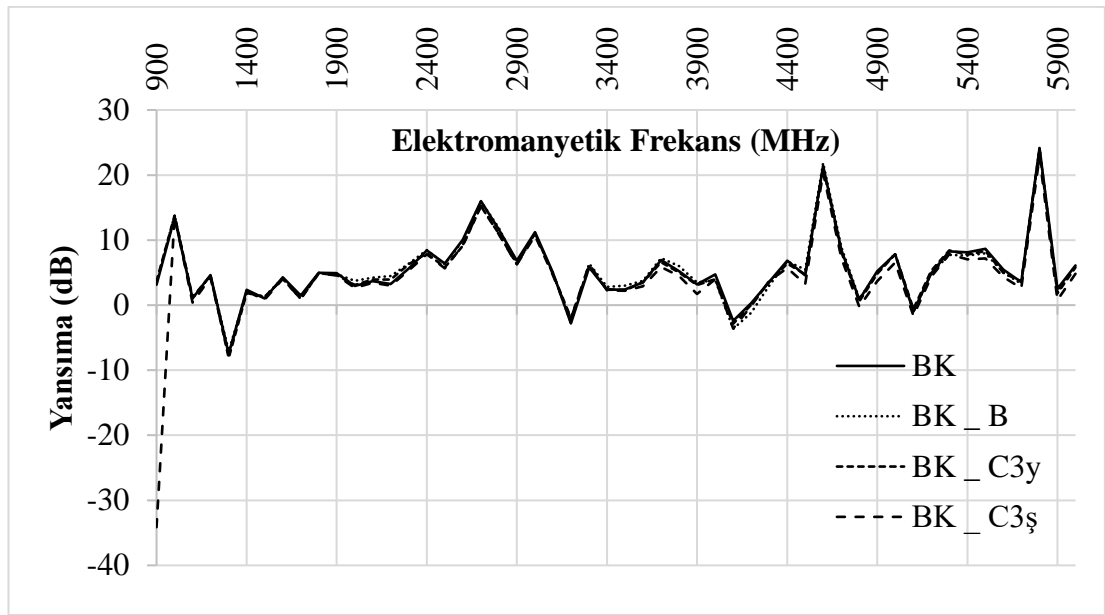
Şekil 4.25. Yeşil tuf temelli ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.



Şekil 4.26. Beyaz tuf temelli karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

Şekil 4.26'e göre YK, YKB, YKC3y ve YKC3ş Frekans arttıkça, EMF zayıflama önlemleri de önemli ölçüde arttı. Ancak AAH'lere bor veya cam ilavesinin EMF

zayıflaması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve EMF zayıflamasının temel sebebinin çoğunlukla karbon fiber olduğu söylenebilir. Bu nedenle, tüm frekans değerlerinde, tüm AAH iletim ölçüleri iç içe geçmiş ve anlamsız hale gelmiştir. Bahsedilen beyaz tuf içerikli ve karbon fiber kaplamalarda dalga iletimi ile ilgili herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Karışımda bor veya yüksek iletken cam bulunduğu bile karbon fiberin sisteme hakim olduğu gözlemlenmiştir.. En yüksek iletim değerine 3800 MHz frekansta ölçülen -48,39 dB ile BKB, en düşük iletim değerine ise 1000 MHz frekansta ölçülen -9,42 dB ile yine BK kaplaması sahiptir.



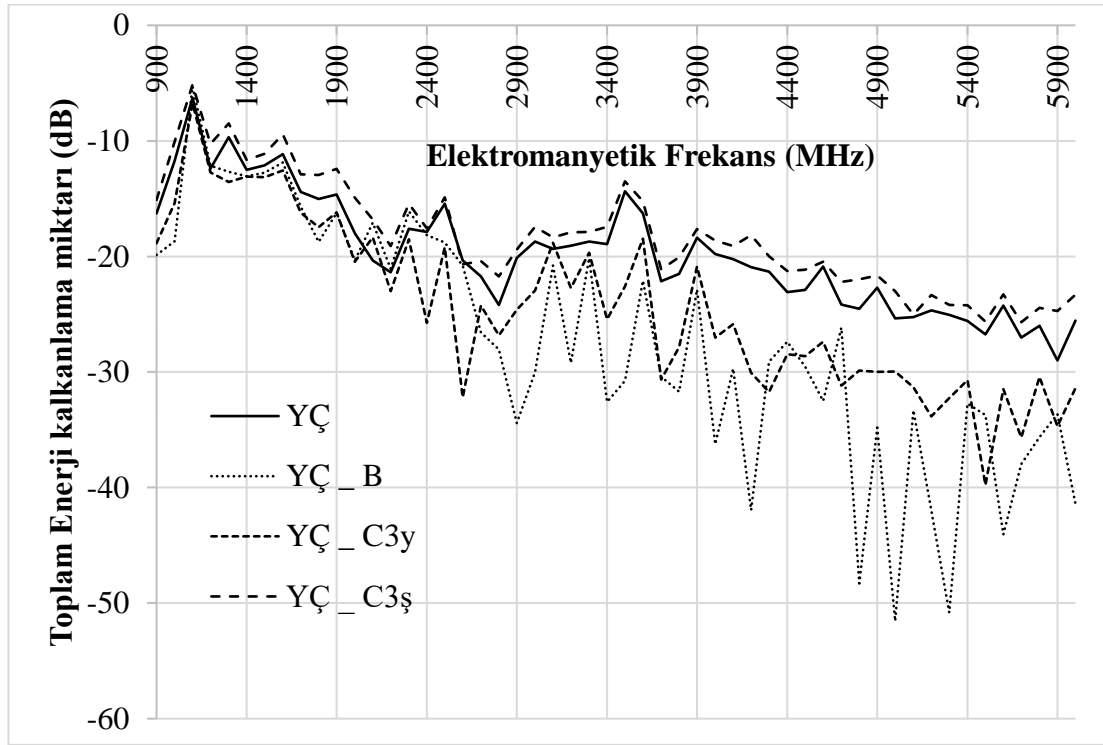
Şekil 4.27. Beyaz tuf temelli ve karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıtma özellikleri.

Şekil 4.27'ye göre yansıtma dedektöründen yapılan ölçümlere göre AAH'lerde yani kaplama malzemesinde iletkenlik artışının EMF dalgalarının yansıtma yani yansıtma davranışı üzerinde fazla bir etkisi yoktur davranışı, malzemeye eklenen bor veya cam ile doğrudan ilgili değildir. Şekilde görüldüğü gibi bor veya cam EMF frekansının artması ile yansıtma değerlerinde önemli sapmalara neden olmamış, sonuçlar hemen hemen aynıdır. Ayrıca frekans arttıkça yansıtma değerleri de artmaktadır. Beyaz tuf AAH'da karbon fiber, malzemenin elektrik iletkenliğini arttırdı ve bu da kaplama malzemesinin yansıtıcı özelliğinin iyileşmesine yol açtı. En yüksek yansıtma değerine 5800 MHz frekansta ölçülen 23,92 dB ile BKC3y, en düşük iletim değerine ise 1300 MHz frekansta ölçülen -8,11 dB ile yine BKC3y kaplaması sahiptir. Bununla

birlikte, karbon lifli kaplamalarda karışıma olan boraks ilavesiyle numune renklerinde koyulaşma görülmektedir. 90 gün yaşındaki alkali aktive hamurlarda karbonatlaşma etkisine belirgin bir şekilde rastlanılmaktadır.



Şekil 4.28. Beyaz tuf temelli karbon lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.



Şekil 4.29. Yeşil tuf temelli ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

Şekil 4.29'ye göre, boraks ve cam katkısı eklendiğinde Etkileşimin özellikle yüksek enerjilerde arttığı, yansıma veya soğurma özelliğinin daha net görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak, özellikle şeffaf cam katkılı AAH'ler EMF dalgalarına karşı daha az kalkanlama göstermişlerdir. Artan frekanslar boyunca elektromanyetik etkileşim

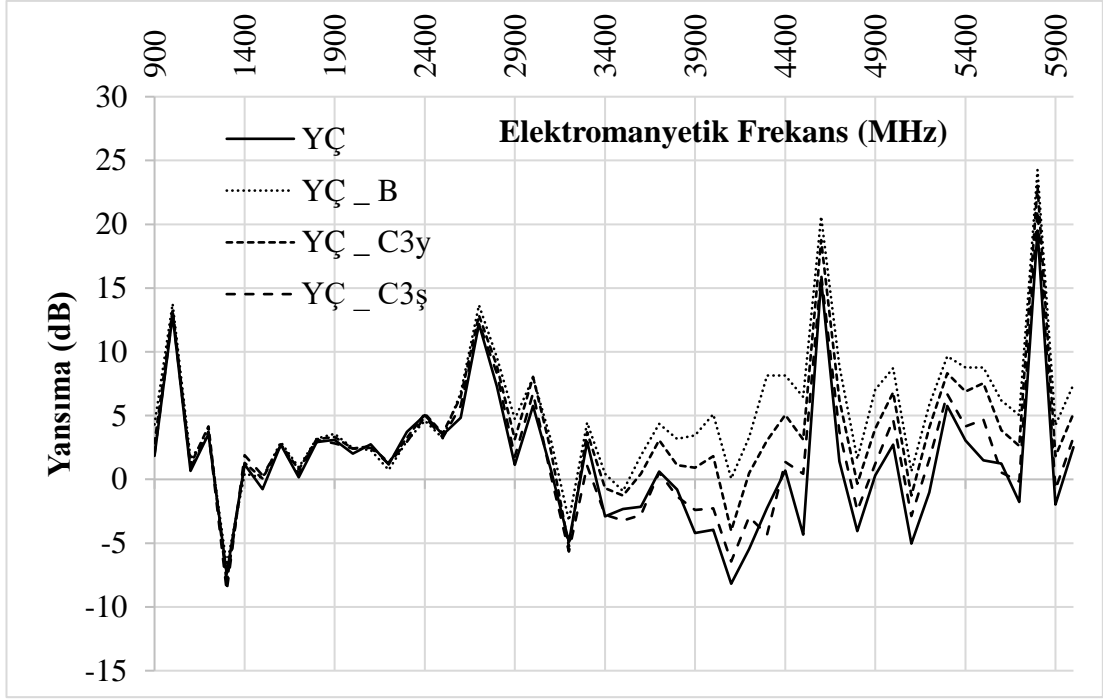
artmış, zayıflatma gelişme göstermiştir. YÇ ve YÇC3ş değerleri birbirine tüm frekanslar dahilinde yakın olup YÇB eğrisi en alttadır ve bu da dalgaları engellemede en ön sırada yer aldığını göstermektedir.

900 MHz'lik frekans kapsamında YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'in EMF iletim ölçüleri sırasıyla -16,28 dB, -19,87 dB, -18,85 dB ve -15,11 dB'dir. En yüksek miktarda EMF zayıflatan alkali aktive kompozisyon YÇB, en düşük oranda EMA zayıflatan alkali aktive kompozisyon YPC3ş'de elde edilmiştir. AAH malzemelerde boraks katkısı daha fazla EMA zayıflatılmasını sağlamıştır. AAH harçlarda, yeşil cam katkılı olan kaplama malzemesi şeffaf cam katkılı olana göre daha fazla EMA zayıflatmıştır.

1800 MHz frekansta YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'in EMF iletim ölçüleri sırasıyla -15.04 dB, -18.74 dB, -17.46 dB ve -12.95 dB'dir. En yüksek miktarda EMF zayıflaması AAH YWB'de elde edilirken, en düşük miktarda EMF zayıflaması AAH YPC3ş'de elde edildi. Karışıma bor veya yeşil cam ilavesi referans kaplamaya göre iletim oranlarını arttırmıştır. Ayrıca boyutları 900 MHz'e göre küçülmüş.

2400 MHz'de YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -17.89 dB, -18.16 dB, -25.76 dB ve -17.58 dB'dir. En yüksek EMF zayıflaması AAH YÇC3y iken, en düşük EMF zayıflaması AAH şeffaf cam katkılı YÇC3y'de elde edildi. Karışıma boron veya şeffaf cam ilavesinin referans kaplamaya göre iletim boyutları üzerinde kayda değer bir etkisi olmamıştır. Ayrıca boyutları 1800 MHz'e göre artmış.

5000 MHz frekansta YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'in EMF İletim ölçümleri sırasıyla -25,35 dB, -51,55 dB, -29,96 dB ve -23 dB'dir. En yüksek EMF zayıflaması AAH YÇB'de elde edilirken, en düşük EMF zayıflaması AAH şeffaf camlı YÇC3ş'de elde edildi. Karışıma bor eklenmesi, referans kaplamaya göre iletim değerini neredeyse iki katına çıkarmıştır. Wi-fi cihazları kaynaklı elektromanyetik dalgaları engelleme ya da zayıflatmada tüm numuneler etkili olmuştur. Ayrıca ölçüler 2400 MHz'e göre artmıştır.



Şekil 4.30. Yeşil tüf temelli ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF yansıtma özellikleri.

Şekil 4.30'da verildiği gibi, 2700 MHz'de 13 dB enerji azalmasının nedeni, tüm dalgaların kaplama malzemesinden yansıtma olarak saçılması ve yansıtma dedektörü tarafından yakalanmasıdır. 2500 MHz'den sonra iletim değerlerinde 50 dB'ye kadar değişen enerji azalmasının bir kısmının yansıtma, bir kısmının ise soğurma olduğu söylenebilir. Uygulanan frekans arttıkça yansıtma değerleri de az miktarda artmaktadır. 900-6000 MHz'lik grafiğin ortasındaki nokta itibarıyla (3300 MHz) eğriler birbirinden ayrılmaya, farklı değerler göstermeye başlamıştır. Bu frekans itibarıyla en yüksek yansıtma değerlerini bor katkılı kaplama, en düşük yansıtma değerlerini YÇ kaplaması vermiştir.

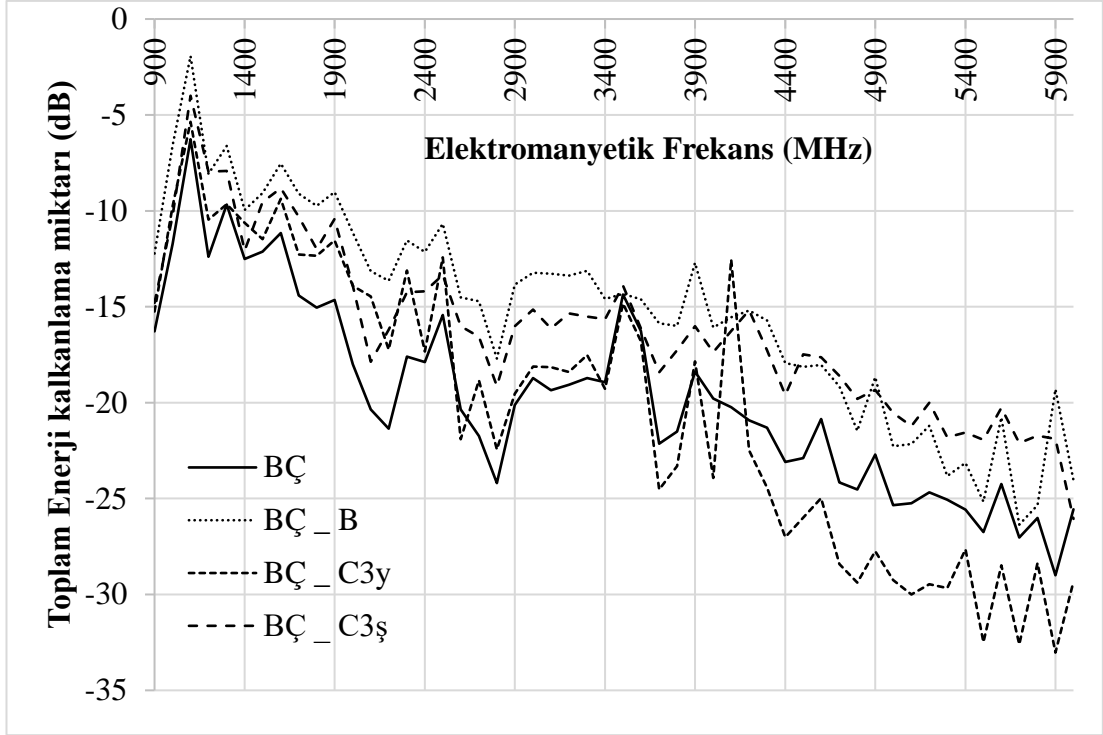
900 MHz frekans kapsamında YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'nin EMF yansıtma ölçümleri sırasıyla 1,85 dB, 4,31 dB, 2,82 dB ve 1,98 dB'dir. 1800 MHz'de YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'nin EMF yansıtma ölçümleri sırasıyla 2,92 dB, 3,21 dB, 3,15 dB ve 3,11 dB'dir. 2400 MHz'de YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'nin EMF yansıtma ölçümleri sırasıyla 5,04 dB, 4,61 dB, 5,16 dB ve 4,9 dB'dir. 5000 MHz'de YÇ, YÇB, YÇC3y ve YÇC3ş'nin EMF yansıtma ölçümleri sırasıyla 2,72 dB, 8,71 dB, 6,81 dB ve 4,69 dB'dir. LWC'de en yüksek oranda AAH zayıflatıcı EMF elde

edilirken, LWC'de en düşük oranda AAH zayıflatıcı EMF elde edildi.. Görsel değerlendirmeler sonucu, cam katkıli kaplamaların renginin diğerlerinden daha koyu olduğu ve bor katkıli kaplamanın prizini tam tamamlayamadığı için çeperinin koyu ve nemli kaldığı gözlenmiştir.



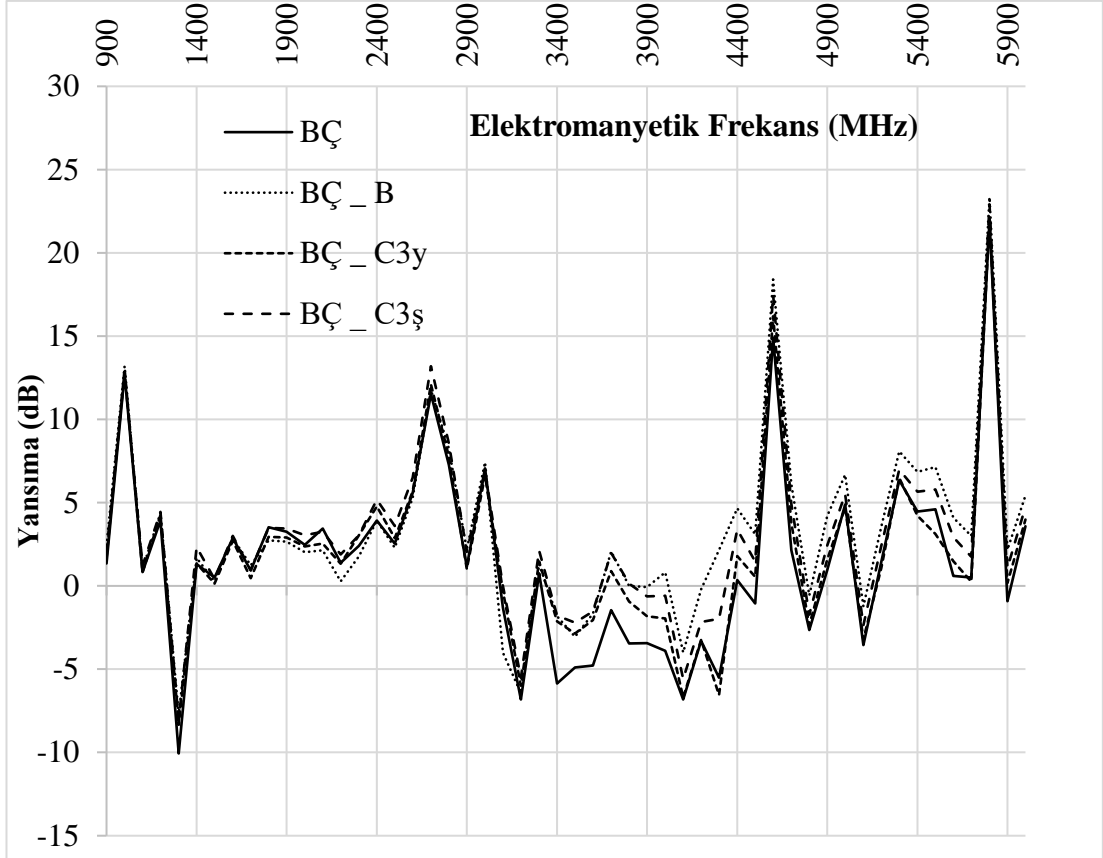
Şekil 4.31. Yeşil tuf temelli ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.

Şekil 4.32'ye göre 900 MHz'de YÇ, YB-B, YÇ-C3 ve YB-B'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -9.45 dB, -12.85 dB, -10.52 dB ve -12.49 dB'dir. Çelik lifler yüksek iletkenliğe sahip olduklarından manyetit etkisini azaltırlar. Çünkü büyük bir boyutu ve hacmi var. Bu nedenle çelik fiber sistemin EMF etkileşimi %2 ve %4 manyetit oranlarında kontrol edilmiştir. 1800 MHz'de YÇ, YB-B, YÇ-C3 ve YB-B'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -9.32 dB, -10.53 dB, -12.24 dB ve -11.95 dB'dir. EMF ölçümleri 900 MHz ve 1800 MHz için benzer davranış gösterdi. En yüksek absorpsiyon/yansıma oranı, manyetit etkisinin gözlenmediği bu frekans aralığında 16 dB idi. Bununla birlikte, malzemeler arasında önemli bir EMF koruması gözlemlenmedi. Bu arada sistemin biraz yansıma yaptığı ve aslında iletim yönünde davrandığı söylenebilir.



Şekil 4.32. Beyaz tüf temelli ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplamaların EMF iletim özellikleri.

2400 MHz'de BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -11 dB, -12.22 dB, -15.24 dB ve -14.79 dB'dir. 2400 MHz'e kadar olan tüm AAH kaplama malzemelerinin iletim değeri -20 dB'ye ulaşamaz, bu nedenle Bluetooth ve Wi-Fi kaynaklarına sahip cihazların oluşturduğu dalgaları engellemek yeterli değildir. 5000 MHz'de BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş'nin EMF iletim ölçümleri sırasıyla -13 dB, -12.22 dB, -15.24 ve -14.79 dB'dir. BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş kapaklarının 5000 MHz'deki iletim değerleri -20 dB'den fazla olduğu için Wi-Fi kaynaklı cihazların oluşturduğu dalgaları azaltmada başarılıdır.

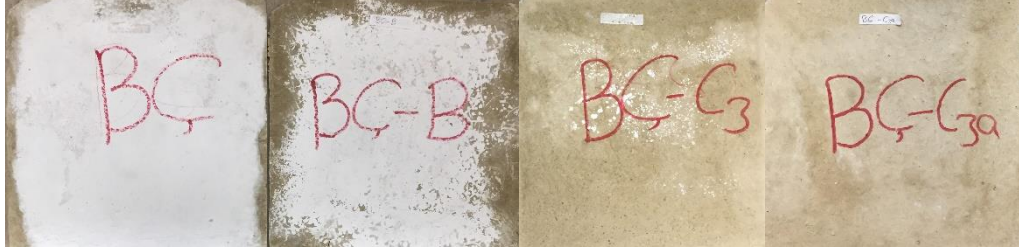


Şekil 4.33. Beyaz tüf temelli ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıtma özellikleri.

Şekil 4.33'te gösterildiği gibi, 2700 MHz'de 13.2 dB'lik enerji düşüşünün nedeni, Şekil 4.32'de gösterildiği gibi tamamının kaplama malzemesinden yansıtma ile saçılması ve yansıtma dedektörü tarafından yakalanmasıdır. 2500 MHz sonrası iletim değerlerinde 30 dB'ye kadar değişen enerji azalmasının yaklaşık %50'sinin yansıtma, diğer kısmının ise soğurma olduğu söylenebilir. AAH beyaz tüfte çelik fiber malzemenin elektrik iletkenliğinin artması nedeniyle kaplama malzemesinin yansıtması iyileştirilmiştir.

900 MHz frekans aralığında BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş gruplarının dalga yansıtma değerleri sırasıyla 1.36 dB, 2.43 dB, 1.68 dB ve 2.03 dB'dir. 1800 MHz frekans aralığındaki yansıtma değerleri sırasıyla 3.52 dB, 2.74 dB, 2.94 dB ve 3.48 dB'dir. Yansıtma değerleri 2400 MHz frekansında 3.93 dB, 3.92 dB, 4.77 dB ve 5.17 dB olarak ölçülmüştür. 5000 MHz frekans aralığında BÇ, BÇB, BÇC3y ve BÇC3ş gruplarının dalga yansıtma değerleri sırasıyla 4.88 dB, 6.67 dB, 4.71 dB ve 5.51 dB

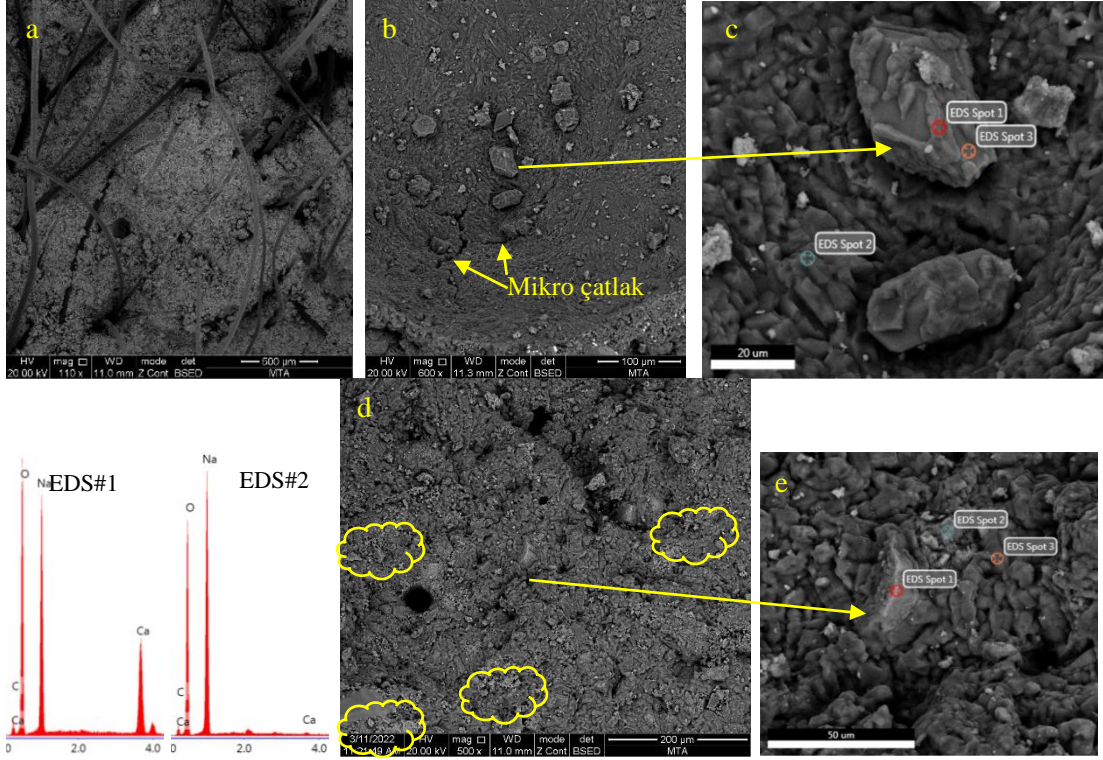
olarak ölçülmüştür. En yüksek miktarda dalgayı yansıtan WB, onsuz WB'ye kıyasla yansımayı -1,68 dB artırır. Ayrıca Şekil 4.34'te görüldüğü gibi kaplama malzemelerinin renginin etkisiyle koyulaştığı açıkça görülmektedir. Beyaz tuf esaslı çelik elyaf AAH'lerde karbonatlaşma etkisi diğerlerine göre daha düşük oranda gözlenmiştir.



Şekil 4.34. Beyaz tuf temelli ve çelik lifle güçlendirilmiş AAH kaplama malzemelerinin 90 gün yaşındaki görüntüleri.

4.7. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM), ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) VE X IŞINI DİFRAKSİYONU (XRD) ANALİZİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve mikroskoba entegre edilmiş Enerji Dağılım Spektrum Analizi (EDS) ve X-Ray kırınım analizi (XRD) 90 gününü tamamlamış numuneler üzerinde Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğüne bağlı Mineraloji ve Petrografi Analiz laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz görüntüleri ve diyagramları Şekil 4.35- 4.47 arasında verilmiş ve analiz sonuçları tartışılmıştır.

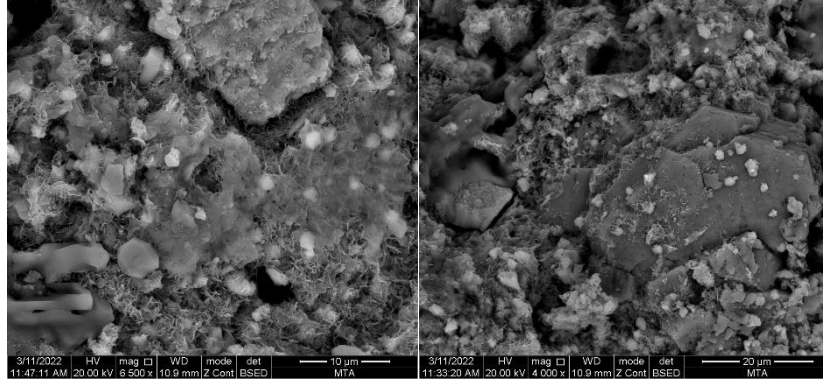


Şekil 4.35. YP kodlu alkali-aktif edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.

Şekil 4.35a'da hamura dağılmış PP liflerin görüntüsü verilmiştir. Bunun yanı sıra özellikle PP liflerin etrafında daha geniş ölçekli gözenekler ve lifler arasında kapiler gözenekler arasında çatlaklar görüntülenmiştir. Şekil 4.35b matris içinde bir gözenegin içini Şekil 4.35a'dan 5 kat büyütür göstermektedir. Bu görüntüde EDS#1 kristal yapının Na-Ca-O-C dörtlüsünden oluştuğunu göstermiştir. Bu molekülde Na-O-C toplamda yaklaşık %90 yoğunluktadır. XRD analiz sonuçlarından da anlaşıldığı üzere bu yapının pirsonit ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) olduğu belirlenmiştir. EDS#2'de ise matrisin yaklaşık %99'u Na-C-O atomlarından oluşmuştur. XRD analiz sonuçlarından da anlaşıldığı üzere bu yüzey dokusunun tamamının Na_2CO_3 olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, gözenek yapının büyük bir çoğunluğunun Na_2CO_3 olduğu da düşünülmektedir. Şekil 4.35e'de gösterilen noktalara ait EDS analizi element yoğunluğu olarak Çizelge 4.6'da verilmiştir. Buna göre EDS#2 jeopolimer yapısını, EDS#1 kalsit yapısını ve EDS#3 Na_2CO_3 yapısını göstermektedir. Bu yaklaşımla Şekil 4.35d'de bulut çizgi içinde gösterilen alanlar jeopolimer yapıların bulunduğu alanları göstermiştir. Jeopolimer yapıya ilişkin SEM görüntüleri Şekil 4.35'te verilmiştir.

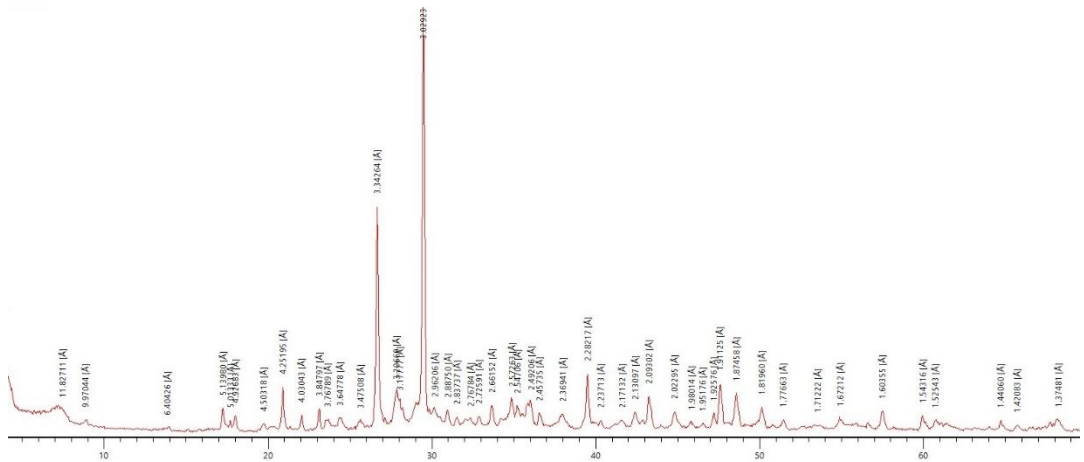
Çizelge 4.6. Şekil 4.35'te verilen EDS analiz noktalarının elementel tablosu.

Element	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
EDS#1	19.05	58.43	5.03	0.74	0.35	0.36		15.89	0.15
EDS#2	17.49	51.25	14.25		10.28	1.55	0.11	5.08	
EDS#3	16.61	46.87	34.07		0.03	1.18	0.15	1.11	

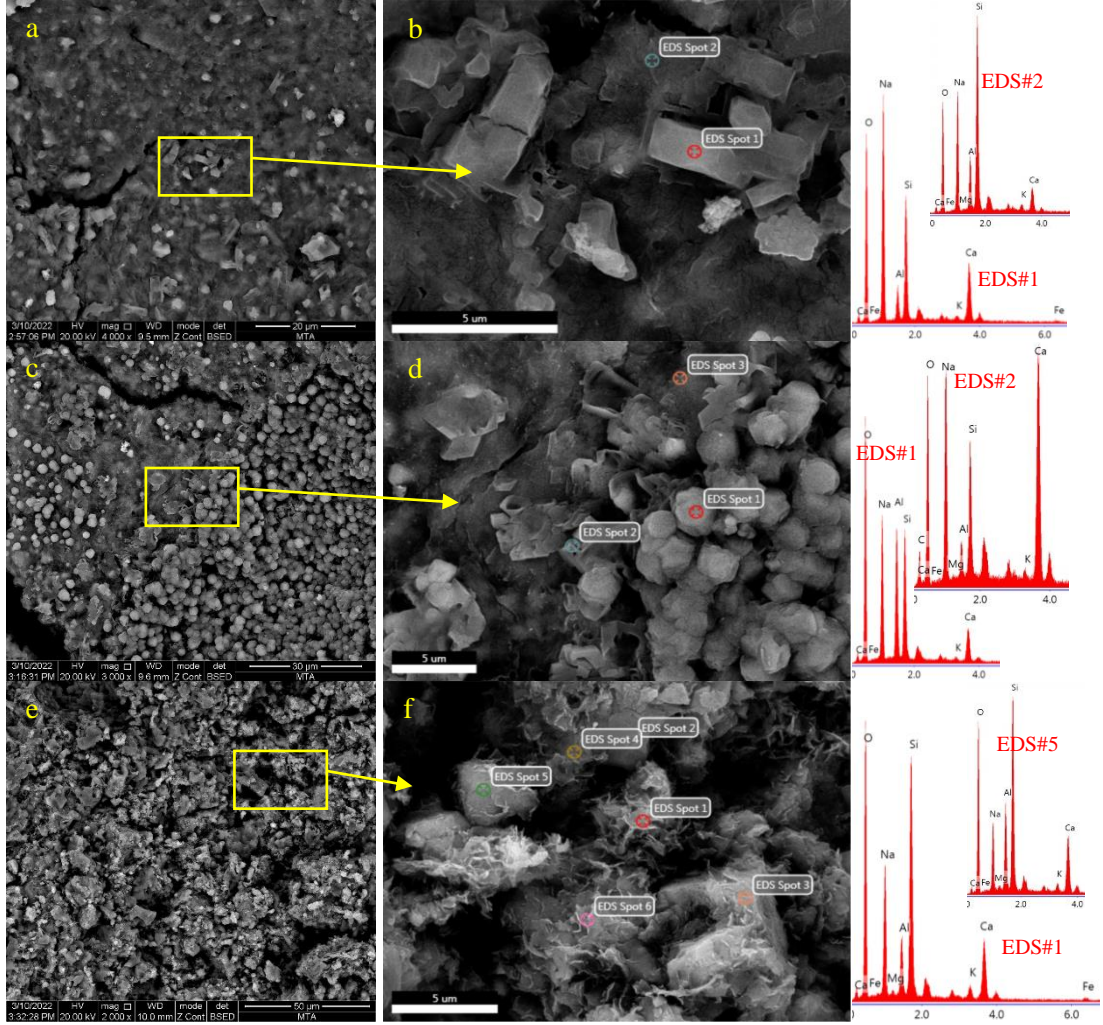


Şekil 4.36. YP kodlu alkali-aktif edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.

Şekil 4.36'da YP hamurunun XRD analiz sonucu verilmiştir. Analiz sonucuna göre XRD pikleri kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), pirsonit ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$), korundum (Al_2O_3), plajiyoklaz (Na-Al-Si-O), natrit (Na_2CO_3), termonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ve kil minerallerini ($\text{Na-K-Mg-Ca-Si-Al-Fe}$) göstermektedir.



Şekil 4.37. YP hamurunun alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analizi.



Şekil 4.38. YPB alkali-aktif edilmiş hamurun SEM ve EDS görselleri.

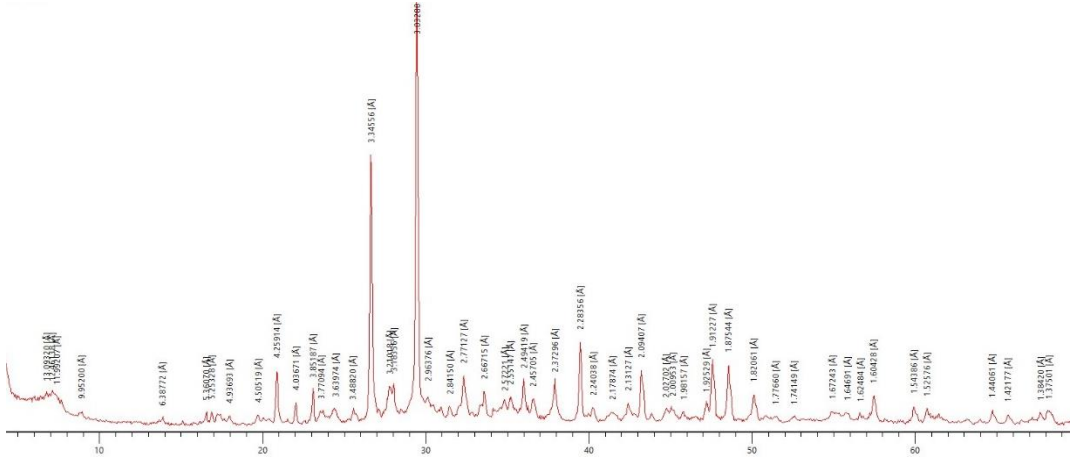
Şekil 4.38’de bor katkılı alkali aktive hamurun mikroyapısı çeşitli noktalardan alınan görüntülerle verilmiştir. Şekilde sağda verilen SEM görüntüleri soldakilerin belli alanlarının büyütülmüş hali olarak sunulmuştur. Büyütülmüş resimlerde EDS nokta analizleri gerçekleştirilmiş olup, kristal yapıların ve çeşitli fazların tanımlanabilmesi için elementel analizler yapılmıştır. Elementel analizler görsel olarak şekillerin yanında örneklenmesinin yanı sıra bazı önemli olduğu düşünülen noktalardaki elementel yapı Çizelge 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.38b’de görüntülenen kristal yapılar %85’e yakın Na-O, geri kalan %15’lik kısım ise Al-Ca-Si atomlarından oluşmuştur. Böylece molekül Si-Al-(Ca)-Na-O yapısından oluşmaktadır. Aynı şekilde yüzey dokusu ise az miktarda Al içeren %90’ı Si-Na-O atomlarından oluşmaktadır. Bu noktaların jeopolimer dokuyu işaret ettiği düşünülmektedir. Şekil 4.38d’de hegzagonal prizmatik yapılar az miktarda Ca içeren Na-Si-Al-O yapıli moleküle

sahiptir. Bunlar yapısal olarak zeolite benzemektedirler. Aynı şekilde EDS#3 ise az miktarda (%3,3) Al içeren Na-Si-Ca-O içerikli bir molekül görüntüsündedir. Bu yapı jeopolimer dokusunu tanımlamaktadır. Şekil 4.38f’de ise EDS#2 ve #4’te sodyum ve kalsiyum karbonatlı yapılar göze çarparken, EDS#1, #3 ve #5’te kalsiyumlu Na-Si-Al-O esaslı bir yapıyı Si/Al oranı yaklaşık 2 – 3 oranları ile belirlenmiştir. EDS#6’da ise Na-Si-O yapıları bir doku görüntülenmektedir. Bu alanda yoğun sodyum içeren bu yapılar kils dokulara sahiptirler. Ancak jeopolimer yapılar da benzer kimyasal yapıya sahiptir.

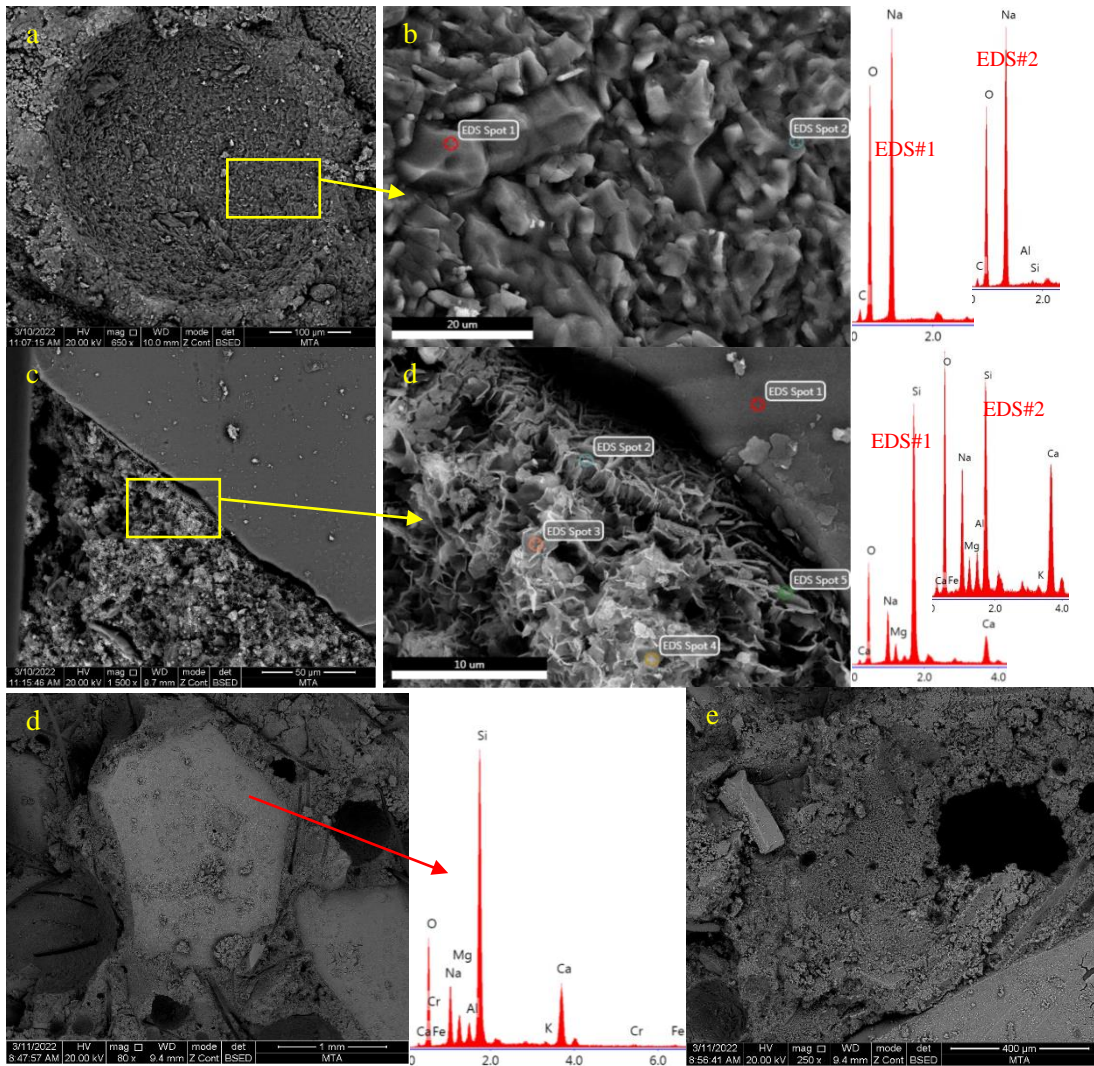
Çizelge 4.7. Şekil 4.38’de verilen EDS analiz noktalarının elementel tablosu.

Şekil	Nokta	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
4.37d	EDS#1	-	58,96	19,04		9,74	9,05	0,26	2,78	0,18
	EDS#2	13,47	50,79	18,09	0,19	1,42	4,82	0,49	10,41	0,33
	EDS#3	-	54,84	18,61	0,20	2,68	13,05	0,85	8,99	0,76
4.37f	EDS#1	-	61,72	15,83	0,82	3,79	12,94	0,71	3,91	0,29
	EDS#2	8,19	51,09	26,27	0,22	1,70	5,82	0,54	5,77	0,40
	EDS#3	-	59,69	13,41	0,63	7,06	17,82	0,21	0,97	0,22
	EDS#4	8,34	56,79	16,14	0,23	1,31	4,45	0,43	12,00	0,32
	EDS#5	-	61,13	11,34	0,44	6,81	14,09	0,52	5,38	0,30
	EDS#6	-	63,65	4,43	-	-	30,59	-	1,34	-

Şekil 4.38’de YPB alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA’da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre YPB hamuru kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), plajiyoklaz ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) ve korundum (Al_2O_3) içermektedir. Bu analiz sonuçları SEM görüntüleri ve EDS analizlerini desteklemektedir. Bor oranı ağırlıkça %2 mertebelerinde olduğu için numune içinde önemli oranda bor bileşiklerine rastlanılmamıştır. Ancak SEM görüntülerinden de açık şekilde görülebileceği gibi alkali-aktive hamurların düşük dayanıma sahip olmalarının temel sebebi yoğun mikro gözenekli yapı olmasından ve jeopolimer yapıların sürekliliğinin az olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

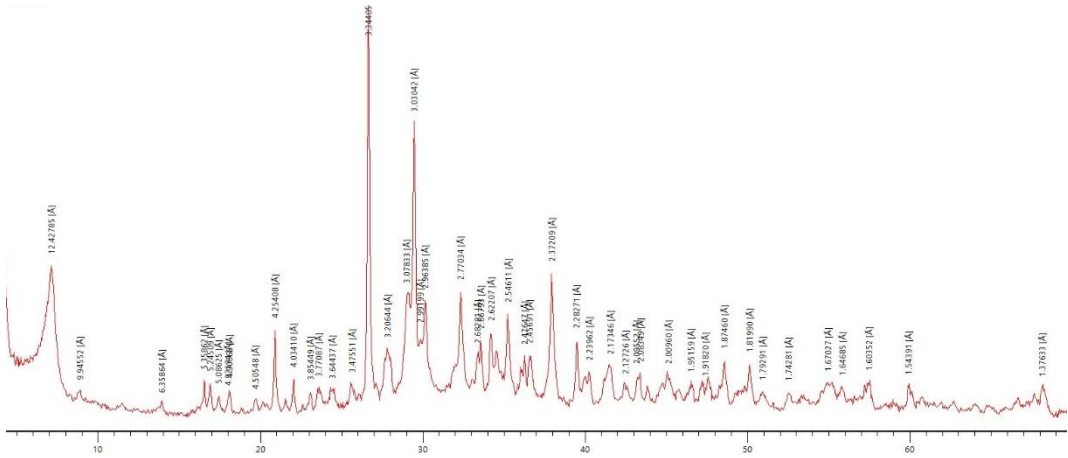


Şekil 4.39. YPB alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.



Şekil 4.40. YPC alkali-aktif edilmiş harcın SEM ve EDS analiz görüntüleri.

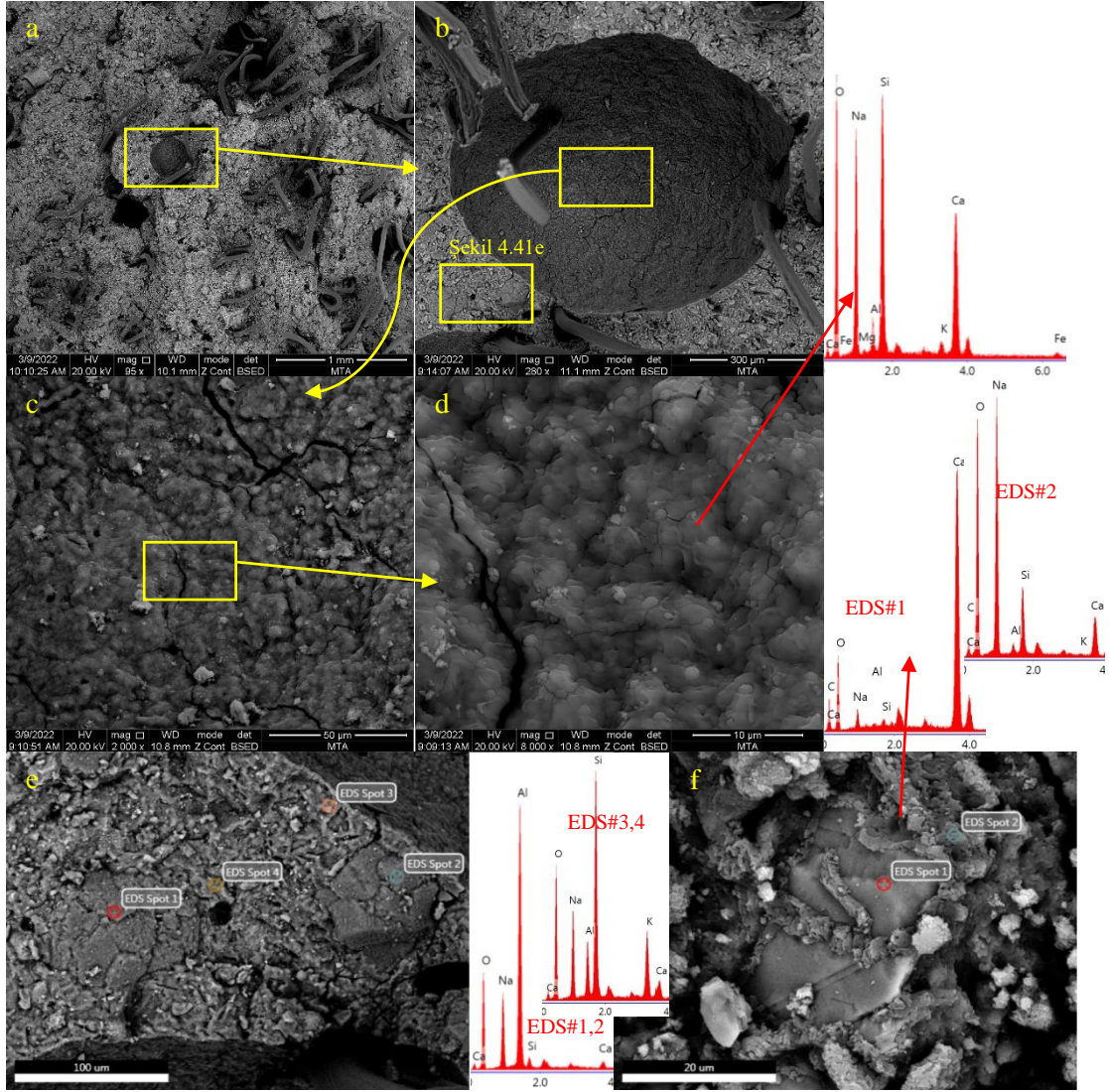
Şekil 4.40'da cam katkılı Yeşil tüf esaslı polipropilen lifle güçlendirilmiş alkali-aktif harçların mikroyapıları SEM görüntüleri ve EDS analizleriyle desteklenmiştir. Buna göre, Şekil 4.40a'da YPC'de yoğun sodyum karbonatlı bir yapı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Şekil 4.40c'de cam kırıntısının matrisle arasında önemli derecede boşlukların olduğu, arayüzde bağın oluşmadığı ve bunun dayanım kayıplarının temel sebeplerinden biri olduğu öngörülmüştür. Şekil 4.40d ve Şekil 4.40e'de ise makro boşlukların cam kırıklarının etrafında yoğunlaştığı da görülmektedir. Böylece cam katkılı alkali-aktif harçların dayanım kayıplarının temel sebeplerinin öncelikle cam partiküllerle matris arasındaki bağın yetersiz oluşu, makro boşlukların yoğun şekilde cam agreganın etrafında bulunması ve matrisle yoğun Na_2CO_3 oluşumlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Her ne kadar SEM analizleri küçük parçaları tanımlamada etkin bir yöntem olsa da, bu verileri desteklemek amacıyla daha büyük makro mineralojik analiz ile bu veriler Şekil 4.41'ta verilen XRD analizi ile desteklenmiştir.



Şekil 4.41. YPC alkali-aktif edilmiş harcın XRD analiz sonucu.

Şekil 4.41'da YPC alkali-aktif edilmiş harcın XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA'da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre YPC harcı kuvars (SiO_2), kalsit (CaCO_3), kil minerali (jeopolimer yapı), natrit (Na_2CO_3), termonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})$), plajiyoklaz ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mika minerali – illit (K-Al-Si-O-Mg) ve korundum (Al_2O_3) içermektedir. Bu yapılar dışında amorf faz da tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları SEM görüntüleri ve EDS analizlerini desteklemektedir. Ancak SEM

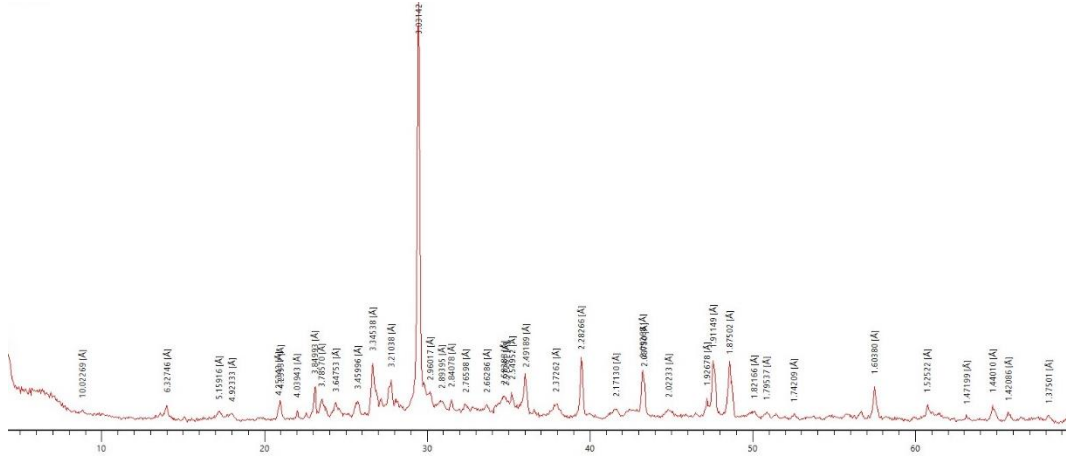
görüntülerinden de açık şekilde görülebileceği gibi alkali-aktif hamurların düşük dayanıma sahip olmalarının temel sebebi yoğun mikro gözenekli yapı olmasından ve jeopolimer yapıların sürekliliğinin az oranda olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.42. BP alkali-aktif edilmiş hamurun SEM ve EDS analiz görüntüleri.

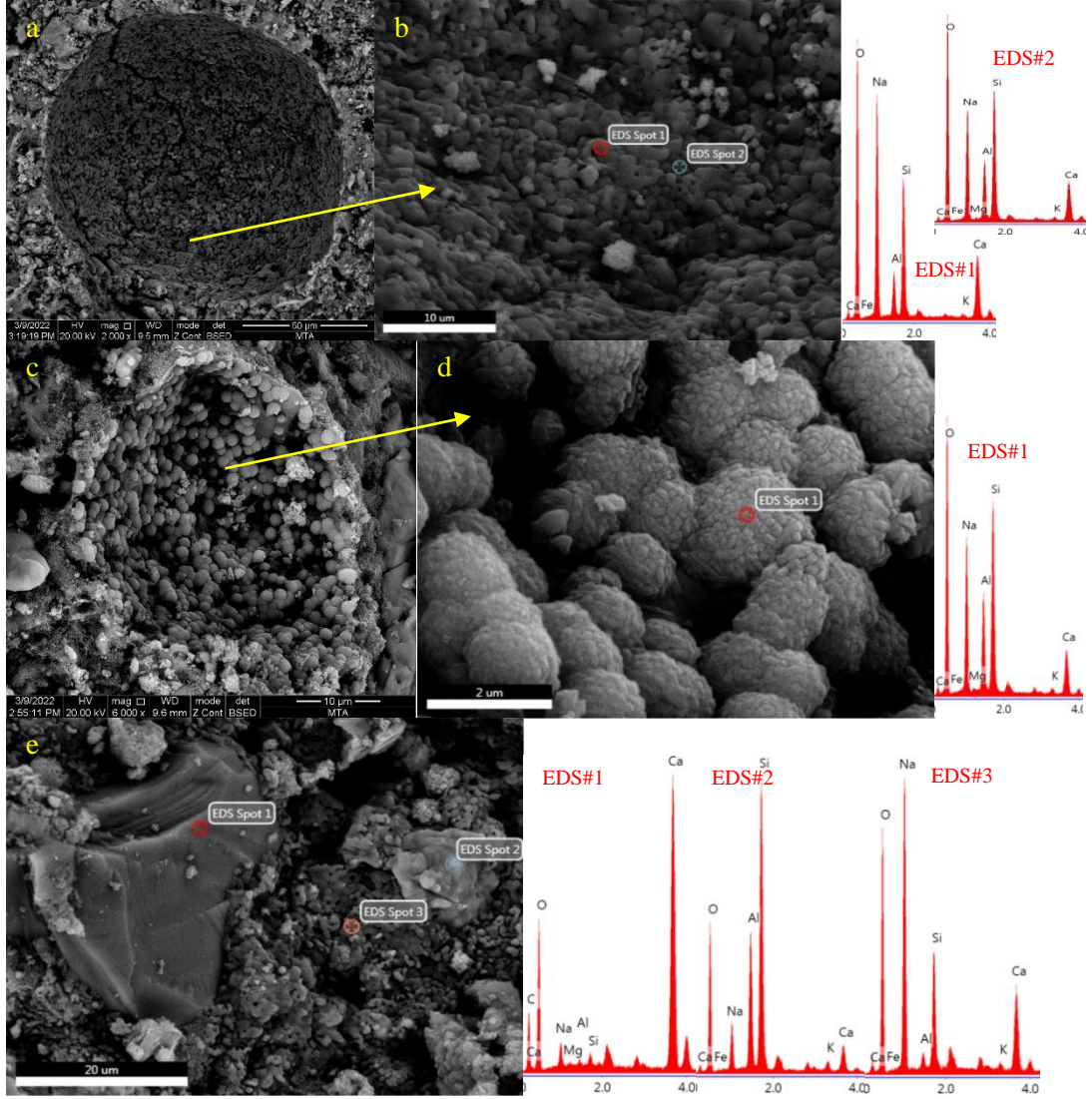
Şekil 4.42’de Beyaz tüf temelli polipropilen lifle güçlendirilmiş alkali-aktif hamurların mikroyapıları SEM görüntüleri ve EDS analizleriyle desteklenmiştir. Buna göre, Şekil 4.42a’da BP’de PP liflerin yeterince homojen dağılmadığı ve bu alanda yoğun makro gözeneklerin bulunduğu belirlenmiştir. Şekil 4.42b’de bir makro gözenek içinde mikro çatlaklar (rötre çatlakları) göze çarpmaktadır. Şekil 4.42c’de makro gözenegin içinden bir bölge görüntülenmiş ve Şekil 4.42d’de ise büyütülmüş

alanın EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. buna göre gözenğin içindeki yüzey tam bir jeopolimer dokuyu yansıtmaktadır. Na-(Ca)-Si-Al-O yapılı bu alan oldukça sert ve amorf bir görüntü oluşturmuştur. Şekil 4.42e’de makro gözenğin yanındaki alan büyütülmüş ve EDS analizi yapılmıştır. EDS#1 ve EDS#2’de Al₂O₃ (korundum), EDS#3 ve EDS#4’te ise jeopolimer doku (Na-(Ca)-Si-Al-O) tanımlanmıştır. Şekil 4.41f’de ise kalsit ve kalsitin çevresinde natrit oluşumu gözlenmiştir. Bu hamurlarda dayanımların en yüksek olmasının temel sebebi jeopolimer dokuların daha yayılmış ve sürekli olmasından kaynaklanmaktadır. bu verileri desteklemek amacıyla daha büyük makro mineralojik analiz ile bu veriler Şekil 4.43’de XRD analizi verilmiştir.



Şekil 4.43. BP alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.

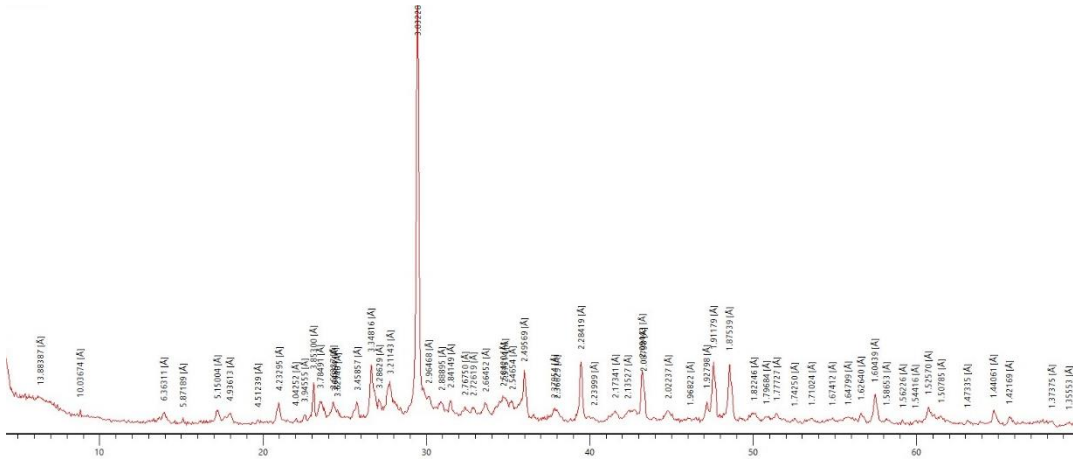
Şekil 4.43’de Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA’da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre BP hamuru kuvars (SiO₂), kalsit (CaCO₃), natrit (Na₂CO₃), termonatrit (Na₂CO₃·(H₂O)), plajiyoklaz (NaAlSi₃O₈ - CaAl₂Si₂O₈), alkali feldispat (Si-Al-Na-O), mika minerali – illit (K-Al-Si-O-Mg), dolomit (CaMg(CO₃)₂), sodalit-hidrosodalit (Na₄Al₃(SiO₄)₃Cl), pirsonit (Na₂Ca(CO₃)₂·2(H₂O)) ve korundum (Al₂O₃) içermektedir. Bu analiz sonuçları SEM görüntüleri ve EDS analizlerini desteklemektedir.



Şekil 4.44. Bor katkılı Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktif edilmiş hamurun SEM ve EDS analiz görüntüleri.

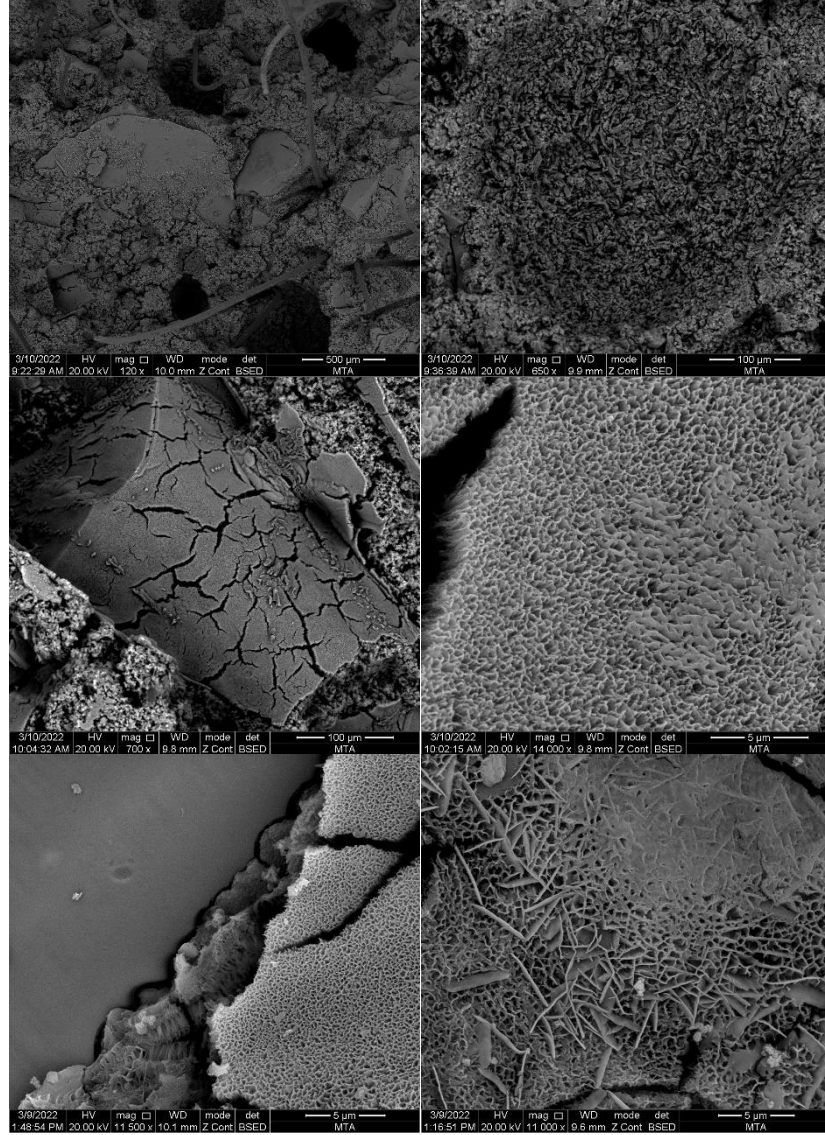
Şekil 4.44'te boraks katkılı Beyaz tüf esaslı polipropilen lifle güçlendirilmiş alkali-aktif hamurların mikroyapıları SEM görüntüleri ve EDS analizleriyle desteklenmiştir. Şekil 4.44a'da bir makro gözenek içinde mikro çatlaklar (rötre çatlakları) göze çarpmaktadır. Şekil 4.44b'de makro gözenegin içinden bir bölge görüntülenmiş ve büyütülmüş alanın EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre gözenegin içindeki yüzey tam bir Na-(Ca)-Si-Al-O yapılı jeopolimer dokuyu yansıtmaktadır. Ancak doku parçalı şekilde gelişmiştir. Bu sebeple matriste süreklilik yoktur. Genelde süreksizlik yapılanmasının temel sebebinin bor katkısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu davranış dayanımın azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.44c'de gözenegin içindeki alan büyütülmüş ve EDS analizi

yapılmıştır. EDS analizinde jeopolimer yapının (Na-(Ca)-Si-Al-O) başka bir geometrik formu tanımlanmıştır. Şekil 4.44e’de ise kalsit ve kalsitin çevresinde jeopolimer dokuların oluşumu gözlenmiştir. Bu hamurlarda dayanımların en yüksek olmasının temel sebebi jeopolimer dokuların daha yayılmış ve sürekli olmasından kaynaklanmaktadır. bu verileri desteklemek amacıyla daha büyük makro mineralojik analiz ile bu veriler Şekil 4.45’te XRD analizi verilmiştir.



Şekil 4.45. BPB alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.

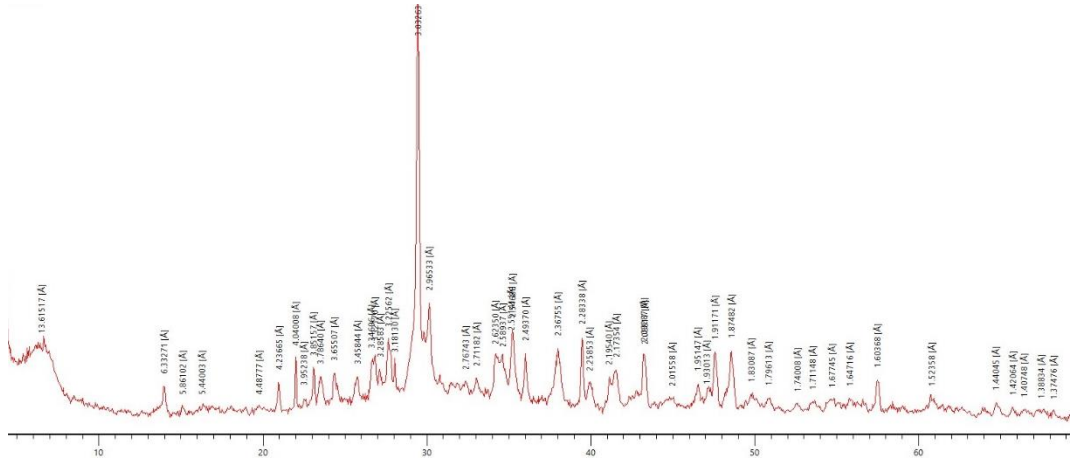
Şekil 4.45’te bor katkılı Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktive edilmiş hamurun XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA’da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre BP hamuru kuvars (SiO_2), kalsit (CaCO_3), natrit (Na_2CO_3), termonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})$), plajiyoklaz ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), alkali feldspat (Si-Al-Na-O), mika minerali – illit (K-Al-Si-O-Mg) ve pirsonit ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) içermektedir. Plajiyoklaz ve alkali feldspat yapıları jeopolimer yapıları da tanımlamaktadır. Bu analiz sonuçları SEM görüntüleri ve EDS analizlerini desteklemektedir.



Şekil 4. 46. Cam katkılı Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktive edilmiş harcın SEM ve EDS analiz görüntüleri.

Şekil 4.46'te cam katkılı Beyaz tüf esaslı polipropilen lifle güçlendirilmiş alkali-aktive harçların mikroyapıları SEM görüntüleri ve EDS analizleriyle desteklenmiştir. Şekil 4.46a'da genel makro görünüm verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi küçük bir alanda yoğun makro gözenekler bulunmaktadır. Dayanımı negatif etkileyen bu boşluklar matrise dağılmış şekildedir. Şekil 4.46b'de makro gözeneğin içinden bir bölge görüntülenmiş ve büyütülmüş alanın EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre gözeneğin içindeki yüzey tam bir Na-(Ca)-Si-Al-O yapılı jeopolimer dokuyu yansıtmaktadır. Ancak doku parçalı şekilde gelişmiştir. Bu sebeple matriste süreklilik yoktur. Genelde süreksizlik yapılanmasının sebebinin 6M konsantrasyonlu NaOH

aktivatöründen kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.46c’de bir cam partikülü büyütülmüş ve EDS analizi yapılmıştır. EDS analizinde Ca-Si-H (C-S-H) yapısı tanımlanmıştır. Diğer şekillerde de C-S-H yapıların cam partiküllerin üstünden ve çevresinden geliştiği gösterilmiştir. Bu verileri desteklemek amacıyla daha büyük makro mineralojik analiz ile bu veriler Şekil 4.47’te XRD analizi verilmiştir.



Şekil 4.47. BPC alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analiz sonucu.

Şekil 4.47’te cam katkılı Beyaz tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktif edilmiş harcın XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA’da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre BP hamuru kuvars (SiO_2), kalsit (CaCO_3), natrit (Na_2CO_3), plajiyoklaz ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), alkali feldispat (Si-Al-Na-O), kil minerali (K-Al-Si-O-Mg), sodalit-hidrosodalit ($\text{Na}_4\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3\text{Cl}$) ve korundum (Al_2O_3) içermektedir. Amorf yapı da malzemede gözlenmiştir. Plajiyoklaz ve alkali feldispat yapıları jeopolimer yapıları da tanımlamaktadır. Bu analiz sonuçları SEM görüntüleri ve EDS analizlerini desteklemektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada Alkali ile aktifleştirilmiş kompozit macun ve harç üretiminde Türkiye'nin Bayburt bölgesinde bulan yeşil ve beyaz volkanik tüfikler kullanılmıştır. Karışımda kalsiyum kaynağı olarak kalsit, alümina kaynağı olarak alüminyum oksit kullanılmıştır. Sodyum Hidroksit (NaOH) kullanılan alkali aktivatördür. Elektromanyetik özelliği iyileştirmek için karışıma hacimce %30 ve %2,5 oranında cam veya boraks ikame edilmiştir. Ayrıca mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özellikleri geliştirmek için alkali aktif maddeler üretilmiştir farklı hacimsel sürtünme yüzdelere sahip üç tip fiber (polipropilen, karbon ve çelik) kullanılmıştır. Kompozit hamur ve harçların üretimin 2., 28., 90. ve 180. günlerinde mekanik ve fiziksel özellikleri; Kaplama malzemelerinin elektromanyetik iletim ve yansıma özellikleri, 6000-900 MHz aralığında 56 ila 90 günlük üretim arasında test edilmiştir. Ayrıca 90 günlük testler sonucunda belirlenen numuneler üzerinde mikroyapı analizi yapılmıştır.

- Yeşil ve beyaz tuf üretilen alkali aktive hamurlarda boraks ilavesi yayılma miktarında önemli derecede sırasıyla karbon ve pp lifte etkilemiştir. Yeşil ve şeffaf cam ise harçlarda yayılma çapını değiştirmemiştir.
- Yeşil tuf esaslı alkali aktive hamur ve harçlarda 180 günlük su emme deneyleri sadece karbon lifli gruplarla yapılabilmektedir. PP ve çelik lifli numunelerde ise 180 günlük vücut Suya dayanıklılık sağlanamadı. Buna göre, gözeneklilik en düşüktür YK'de %54,30 olarak, en yüksek YKB'de %73,30 olarak ölçülmüştür. Beyaz tuf esaslı alkali aktive hamur ve harçlarda 180 günlük su emme deneyleri pp ve karbon lif takviyeli hamurlarda yapılabilmektedir. PP ve karbon lifli harçlarda ve çelik lifli tüm numunelerde ise 180 Günlük süreçte suya dayanıklılık sağlanamaz. Buna göre, gözeneklilik en

düşüktür. BPB'de %53,10 olarak, en yüksek BP'de %56,90 olarak ölçülmüştür.

- Yeşil tüf esaslı alkali aktive malzemelerde 180 Günlük eğilme mukavemeti PP elyafta YP'de maksimum 5,6 MPa, mikro çelik elyaflarda YÇC3ş'de maksimum 7,5 MPa, karbon elyafta YK'da maksimum 10,7 MPa. YPB'de PP elyafta maksimum 7,4 MPa, YÇB'de mikro çelik elyafta maksimum 7,6 MPa ve YKB'de karbon elyafta maksimum 7,8 MPa ile 180 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir.
- Beyaz tüf esaslı alkali aktive malzemelerde 180 günlük eğilme dayanımı PP lifte en fazla 59,9 MPa ile BP'de, mikro çelik lifte en fazla 8,9 MPa ile BÇC3ş'de, karbon lifte ise en fazla 11,8 MPa ile BK'de; 180 günlük basınç dayanımı PP lifte en fazla 17,8 MPa ile BP'de, mikro çelik lifte en fazla 19 MPa ile BÇC3ş'de, karbon lifte ise en fazla 16 MPa ile BKB'de elde edilmiştir.
- Yeşil tüf esaslı alkali aktive malzemelerde 180 günlük süreçte en fazla hacim değişimi PP lifte %10,9 genleşme yönünde YPB'de, karbon lifte %0,3 büzülme yönünde YKB'de, mikro çelik lifte ise %0,9 büzülme yönünde YÇC3ş'de elde edilmiştir.
- Beyaz tüf esaslı alkali aktive malzemelerde 180 günlük süreçte en fazla büzülme pp lifte %1,3 ile BP'de, karbon lifte %0,3 ile BK'de, mikro çelik lifte ise %1 ile BÇ'de elde edilmiştir.
- Yeşil tüf tarafından üretilen AAH'lerde 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları için en yüksek elektromanyetik ekranlama değerleri fiberde sırasıyla -16.20 dB, -14.50 dB, -17.10 dB ve -19.65 dB'dir. mikro çelik liflerde sırasıyla -19.90 dB, -18.70 dB, -25.80 ve -51.55 dB. Karbon fiberde sırasıyla -26.15 dB, -26.06 dB, -27.16 dB ve -39.73 dB idi. Kaplama malzemesinden yansıma değeri pp fiberde sırasıyla 9,09 dB, 2,22 dB, 3,07 dB ve 1,52 dB'dir. Mikro çelik fiber için 4,31 dB, 3,21 dB, 5,16 dB ve 8,71 dB ve karbon fiber için sırasıyla 4,61 dB, 5,01 dB, 8,42 dB ve 9,04 dB.

- Beyaz tuf PP fiber ile üretilen AAH'lerde 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları için en yüksek elektromanyetik ekranlama değerleri sırasıyla -10.72 dB, -11.55, -12.42 ve -17.30 dB'dir. mikro çelik liflerde sırasıyla -15.24 dB, -12.35 dB, -17.34 dB ve -29.25 dB. Karbon fiberde sırasıyla -37.28 dB, -31.36 dB, -24.84 dB ve -37.75 dB idi. Kaplama malzemesinden yansıma değeri pp fiberde sırasıyla 8.33 dB, 1.89 dB, 2.16 dB ve -0.86 dB'dir. Çelik mikro fiberde sırasıyla 2.43 dB, 3.52 dB, 5.17 dB ve 6.67 dB. Karbon fiberde sırasıyla 3.65 dB, 4.99 dB, 8.47 dB ve 7.93 dB idi.

- Mikroyapısal analizler sonucunda matristeki Na-(Ca)-Si-Al-O, Al-Na-Si-Ca-O, Na-Si-O, C-S-H ve karbonat bileşenlerinin jeopolimer jel yapıları ve. Jeopolimer dokunun matriste süreklilik arz ettiği numunelerde basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Boraks ilavesinin sistemde süreksizlik oluşturarak gözeneklerin yayılışına sebep olduğu ve kompaktlığı engellediği görülmüştür. Harçlardaki cam partiküllerinin etrafındaki boşlukların yoğun olmasıyla nedeniyle cam agrega-matris arasındaki ara yüzeyin zayıf oluşu ve çözünmeyen Na kaynaklı olarak gözeneklerdeki yoğun Na₂CO₃ fazı dayanımı düşüren ana sebeplerdendir. Yanlaz , tüm numunelerde ciddi mikro çatlaklar ve kapiler gözenekler gözlemlendi.

KAYNAKLAR

1. Luga, E., "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Jeopolimer Harçların Özellikleri", (2015).
2. Khalel Rashid, R., "Uçucu Küllü Geopolimer Betonlarda Gecikmiş Isı Kürünün Dayanım Ve Durabilite Özelliklerine Etkisi", (2021).
3. Kurt, H., "İnorganik Malzemelerle Jeopolimer Sentezi ve Pomza Taşının Jeopolimer Üzerine Etkisinin İncelenmesi", (2016).
4. Sarıdemir, M., "Alkali-activated slag cement and concrete: a review of properties and problems", *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 124–134 (2016).
5. Yenidünya, E., "Farklı Maksimum Sıcaklık Değerleri Altında Buhar Kürü Uygulamasının Çelik Lifli Betonların Mekanik Dayanımına Etkisi", (2013).
6. Paya, J., "Reuse of aluminosilicate industrial waste materials in the production of alkali-activated concrete binders", 487–518 (2015).
7. Nazari, A. and Sanjayan, J. G., "Synthesis of geopolymer from industrial wastes", *Journal of Cleaner Production*, 99: 297–304 (2015).
8. İlkentapar, S. and Örklemmez, E., "Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Harçlara Diatomit İkamelerinin Isı İletkenliğe Etkisi", *ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 36(3): 312-324 (2020).
9. Koç, M. and Zeybek, M. S., "Kalsit İlaveli Jeopolimer Malzemeleri Sinterlemenin Gözenekliliğe Etkileri", *C.B.Ü Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1): 25–31 (2014).
10. Yadollahi, M. M. and Varolgüneş, S., "Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 7(2): 36-41 (2018).
11. Karahisar Gökkonca, E., "Diatomit Katkili Harçların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi", (2010).
12. Akgül, Ö., "Farklı Bor Minerallerinden Çinko Borat Üretimi", (2010).
13. Akçelik, F., "Devlet Muhasebesinde Bütçe Hesaplarının Kullanımı: Bor Mal Müdürlüğü Ve Bor Vergi Dairesi Örneği", (2016).
14. Süleyman, Ü., "Pilot Ölçekli Membran Sistemleri ile Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Tesisi Espey Bölgesi Kaynak Suyunda Bor ve Arsenik Giderimi", (2019).

15. Erkan, İ. E., "Bor Hiperakümülatör Bitkilerde miR408 ve Bor2 Genlerinin Yüksek Düzeyde İfadesinin Bor Fitoremediasyonuna Etkileri", (2019), Yüksek Lisans Tezi, Üni.Adı.
16. Annakoa, M. A. İ., "Geopolimer Betonda Cam Tozu Kullanımının Araştırılması", (2019).
17. Nassar, R. U. D. and Soroushian, P., "Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement", *Construction and Building Materials*, 29: 368–377 (2012).
18. Poom, C. S. and Wonge, H. W., "Management and recycling of waste glass in concrete products", *Resources, Conservation and Recycling*, 70: 25-31, (2017).
19. Jevtic, D., Zakic, D. and Savic, A., "Achieving Sustainability of Concrete By Recycling of Solid Waste Materials", *Mechanical Testing and Diagnosis*, 1(II): 22–39 (2012).
20. Ledererova M. and Grünner K., "Optimization of the Technology for Recycling Concrete Materials", *Slovak Journal of Civil Engineering*, 4: 29–40 (2006).
21. Caijun, S., "Corrosion of glasses and expansion mechanism of concrete containing Waste glasses as aggregates", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (10): 529–534 (2010).
22. Wang, S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., and Pratt, P. L., "Alkali-activated slag cement and concrete: A review of properties and problems", *Advances in Cement Research*, 7 (27): 93–102 (1995).
23. Dural, G., "Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı" (2018).
24. Yağmur, F., Bozbıyık, A., and Hancı, İ. H., "Elektromanyetik Dalgaların İnsan Biyokimyası Üzerine Etkileri", *Sted*, 12 (8): 296–297 (2003).
25. Ahmed, I., "Electromagnetic Radiation Properties Of Cementless Alkali Activated Materials Reinforced With Polypropylene And Steel Fibers", (2021).
26. Dirikolu, İ., "Volkanik Tüf Esaslı Alkalilerle Aktive Edilmiş Bağlayıcıların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri", (2019).
27. Davidovits, J. and Resins, G., "Geopolymer chemistry and sustainable development. The Poly (silate) terminology : a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry", *Geopolymer 2005 Conference*, (July 2005): 9–16 (1980).
28. Geopolymer Institute, "Why Alkali-Activated Materials are NOT

- Geopolymers ? – Geopolymer Institute", (November): (2017).
29. Krivenko, P., "Why alkaline activation - 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials", *Journal of Ceramic Science and Technology*, 8(3): 323–333 (2017).
 30. Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J. A., Leonelli, C., Palomo, A., and Chindapasirt, P., "Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes", 1–830 (2014).
 31. Fang, G., Ho, W. K., Tu, W., and Zhang, M., "Workability and mechanical properties of alkali-activated fly ash-slag concrete cured at ambient temperature", *Construction and Building Materials*, 172: 476–487 (2018).
 32. Mısıır, M. N., "Elazığ Ferrokrom Cürufu ile Alkali Aktive Edilmiş Cam Lifi ve Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi", (2021).
 33. Valencia-Saavedra, W., Robayo-Salazar, R., and de Gutiérrez, R. M., "Alkali-activated hybrid cements based on fly ash and construction and demolition wastes using sodium sulfate and sodium carbonate", *Molecules*, 26 (24): (2021).
 34. Kim, H. K., Jeon, J. H., and Lee, H. K., "Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air", *Construction and Building Materials*, 29: 193–200 (2012).
 35. Akbulut, F., Polat, R., and Karagöl, F., "Erzurum Pasinler Bölgesi Perlitinin Geopolimer Üretiminde Kullanımının Araştırılması", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10 (1): 37–45 (2021).
 36. Gök, S. G., "Alkali İle Aktive Edilmiş Harç Ve Atık Çelik Tel Donatılı Betonların (Sifcon) Fiziksel, Mekanik Ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması", (2020).
 37. M, M., "Elazığ Ferrokrom Cürufundan Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Sülfat Direncinin Araştırılması", (2013).
 38. Noori, M., "Effect of Alkali-Activation on Aluminosilicate Based Cementitious Materials", (2018).
 39. Mohabbi, M., Varolğüneş, S., and İşsever, F., "Na₂O, silika modülü, su/bağlayıcı oranı ve yaşlanmanın cüruf tabanlı geopolimerlerin basınç mukavemetinde olan etkileri", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6 (2): (2016).
 40. Mammana, M. F., Mecke, S., and Wagner, D., "The station location problem on two intersecting lines", *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 92 (1): 52–64 (2004).

41. Shi, C. and Fernández-Jiménez, A., "Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated cements", *Journal of Hazardous Materials*, 137 (3): 1656–1663 (2006).
42. Carvalho, M. J., Laranjo, M., Abrantes, A. M., Torgal, I., Botelho, M. F., and Oliveira, C. F., "Clinical translation for endometrial cancer stem cells hypothesis", *Cancer Metastasis Rev*, 34 (3): 401–416 (2015).
43. Abdollahnejad, Z., Pacheco-Torgal, F., Félix, T., Tahri, W., and Barroso Aguiar, J., "Mix design, properties and cost analysis of fly ash-based geopolymer foam", *Construction and Building Materials*, 80 (May 2010): 18–30 (2015).
44. Krivenko, P., "Why alkaline activation - 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials", *Journal Of Ceramic Science And Technology*, 8 (3): 323–333 (2017).
45. Arık, F. and Arık, I. A., "Grounded Teori Metodolojisi Ve Türkiye’de Grounded Teori Çalışmaları", *Akademik Bakış Dergisi*, 58: 285–309 (2016).
46. Palomo, A., Krivenko, P., García-Lodeiro, I., Kavalerova, E., Maltseva, O., and Fernández-Jiménez, A., "A review on alkaline activation: New analytical perspectives", *Materiales De Construcción*, 64: (2014).
47. Wang, S. D. and Scrivener, K. L., "Hydration products of alkali activated slag cement", *Cement and Concrete Research*, 25 (3): 561–571 (1995).
48. Fernandez-Jimenez, A. and Puertas, F., "Effect of activator mix on the hydration and strength behaviour of alkali-activated slag cements", *Advances in Cement Research*, 15 (3): 129–136 (2003).
49. Puertas, F., Palacios, M., Manzano, H., Dolado, J. S., Rico, A., and Rodríguez, J., "A model for the C-A-S-H gel formed in alkali-activated slag cements", *Journal of the European Ceramic Society*, 31 (12): 2043–2056 (2011).
50. Kİtabi, E. L., "ÇiMento MühendiSliĞi El KiTabi", *Türk Çimento* (2021).
51. Hannus, I., Kónya, Z., Lentz, P., Nagy, J. B., and Kiricsi, I., "Multinuclear MAS NMR investigation of zeolites reacted with chlorofluorocarbons", *Journal of Molecular Structure*, 482–483: 359–364 (1999).
52. Çetin, S., Toprak, M. U., and Güz, S., "Investigation of Kaolin Based One Part Geopolymers", *Investigation Of Kaolin Based One Part Geopolymers*, 29 (2): 172–181 (2021).
53. Guo, G., Huss, M., Tong, G. Q., Wang, C., Li Sun, L., Clarke, N., and Robson, P., "Resolution of Cell Fate Decisions Revealed by Single-Cell Gene Expression Analysis from Zygote to Blastocyst", *Developmental Cell*, 18 (4): 675–685 (2010).

54. Ali, H. K. and Tayşı, N., "Investigation of Alkaline Activator ratio on Geopolymer Concrete under Ambient Curing Regime", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (2): 89–100 (2019).
55. Garcia-Lodeiro, I., Palomo, A., and Fernández-Jiménez, A., "An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders", *Materiales de Construcción*, (April 2016): 19–47 (2015).
56. Kau, C. H., Richmond, S., Palomo, J. M., and Hans, M. G., "Current Products and Practice Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics", *Journal of Orthodontics*, 32 (4): 282–293 (2005).
57. Provis, J. L., Rose, V., And, S. A. B., and Deventer, J. S. J. V., "High-resolution Nanoprobe X-ray fluorescence characterization of heterogeneous calcium and heavy metal distributions in alkali-activated fly ash", *Langmuir*, 25 (19): 11897–11904 (2009).
58. Pacheco-Torgal, F., Felix, T. W., Tahri., " Mix design, properties and cost analysis of fly ash-based geopolymer foam ", *Construction and Building Materials*, (80): 18–30 (2015).
59. Dr. Vladimir, V. F., "Alkali İle Akti Le Aktifleştirilen Uçucu Kül Geopol İmer Harcin Mekanik Özellikleri Üzeri Ne Isil Kür Süresi Nin Etkisi", *Normal Araştırma Projesi*, 1 (69): 5–24 (1967).
60. Tekin, İ., "Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes", *Construction And Building Materials*, 127: 607–617 (2016).
61. Coşan, F. Ş., "Amorf Silika, Volkanik Tuf Ve Kireç Kullanılarak İyileştirilmiş Yüksek Plastisiteli Kilin Mühendislik Özellikleri", (2016).
62. Gökçe, H. S., Taban, S., and Şimşek, O., "Zeolitik tuf ikamesinin farklı agregalar üzerinde alkali-silika reaksiyonu etkilerinin belirlenmesi", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 25 (4): 803–809 (2010).
63. Taban, S. and Şimşek, O., "Zeolitik tuf katkı oranı ve deniz suyunun çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24 (1): 145–153 (2009).
64. Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., and Criado, M., "Microstructure development of alkali-activated fly ash cement: A descriptive model", *Cement and Concrete Research*, 35 (6): 1204–1209 (2005).
65. Kaplan, H., Binici, H., "Tras Ve Traslı Çimentolar", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (2): 121–127 (1995).
66. Çavdar, A., "Trabzon Yöresi Tüflerinin Çimentoda Tras Olarak

- Kullanılabilirliği Çimento İnceliği Ve Tras Oranının Traslı Çimentonun Özelliklerine Etkisi", (2004).
67. Duman, N., "Bentonit, Zeolit Nanopartiküllerinin Ve Bentonit-Zeolit Nanokompozitinin Melanom Hücrelerine Etkileri", (2020).
 68. Bilim, C., "Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumani kullanımı Use of zeolite and silica fume as replacement materials in cement mortars", *Bilim, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27 (4): 339–345 (2011).
 69. Arslan, F., "Tabakali Zemin Ortamında İmal Edilen Zeolit Katkılı Derin Karıştırma Kolonu Davranışlarının Model Deneyle Araştırılması", (2011).
 70. Dağcı, Y., "Zeolit Ve Yüksek Firin Cürufu Katkılı Onarım Harçlarının Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi", (2019).
 71. Duman, R., "Bentonit, Zeolit Nanopartiküllerinin Ve Bentonit- Zeolit Nanokompozitinin Retina Pigment Epitel Hücrelerine Etkileri", (2020).
 72. Gümüş, A., "Geopolimer Beton Özelliklerine Termal Kür Prosesinin Etkisi", (2016).
 73. Girgin, S., "NaOH ile Aktifleştirilmiş Metakaolin Katkılı Geopolimer Malzeme Özelliklerinin Araştırılması", (2016)
 74. Ali Arslan, A., "Metakaolin Tabanlı Geopolimer Harçlara Farklı Kür Koşullarının Etkisinin İncelenmesi", (2019).
 75. Türkel, S. and Tevriçci, M. M., " Metakaolin ve Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Harçların Mekanik Performansına ve Bazı Durabilite Özelliklerine Etkileri", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1): 40–46 (2015).
 76. Eren, E., "Borik Asit Ve Borik Asit Atıklarının Uçucu Kül Ve Yüksek Firin Cürufu Alkali Aktivasyonu Sürecine Etkilerinin Araştırılması", (2018).
 77. Mohabbi Yaddollahi, M., "Hasankale Pomzasından Alkali Aktivasyon Yöntemiyle Geopolimer Çimentosunun Üretilebilirliğinin Araştırılması", (2013).
 78. Kerimak Öner, N., "Zorunlu Alkalifilik Bacillus Marmariensis Gmbe 72 Soyundan İzole Edilen Alkalen Proteaz Enziminin Saflaştırılması ve Karakterizasyonu", (2008).
 79. Kasem, K. S., "Çimento Alkalinitesinin Alkali Silis Reaksiyonuna Etkisinin Araştırılması", (2009).
 80. Kızıltepe, C. Ç., "Kolemanit Zenginleştirme Atıklarını Alkali Aktivasyon

Potansiyelinin Araştırılması", (2018).

81. Musdif Their, J., Öazkça, M., " Developing Geopolymer Concrete By Using Cold-Bonded Fly Ash Aggregate, Nano-Silica, And Steel Fiber", 20 (180): 12-22 (2018).
82. Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., and Jalali, S., "Alkali-activated binders: A review. Part 2. About materials and binders manufacture", *Construction and Building Materials*, 22 (7): 1315–1322 (2008).
83. Uğur Toprak, M., "Geopolymer Production From Thermal Power Plant Bottom Ashes by Alkali Activation", (2011).
84. Kantarcı, F., "Elaziğ Ferrokrom Cürufundan Alkalğ Aktğvasyon Metoduyla Üretğlen Geopolğmer Çğmentolu Betonların Yangın Dayanımının Arağtırılması", (2013).
85. Baharavar, S., "Uçucu Kül Tipi İle Ortam Koşullarının Beton Karbonatlaşmasına Etkisi Ve Kendiliğinden İyileşmesinin Arağtırılması", (2016).
86. Duman, N., "Bentonit, Zeolit Nanopartiküllerinin Ve Bentonit-Zeolit Nanokompozitinin Melanom Hücrelerine Etkileri", (2020).
87. Talefirouz, D., "A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University", (2013).
88. Turan, M. T., "Farkli Lif Çeşitlerinin Ve Sodyum Silikat Solüsyonunun Alçi Malzeme Özelliklerine Etkisi", (2017).
89. Samatar, A. H., "Atdişi Misirda Yapraftan Potasyum Silikat Ve Sodyum Silikat Uygulamalarının Verim Ve Ve- Rim Bileşenlerine Etkisi", (2021).
90. Kantarcı, F., "Lif boyunun ve içeriğinin geopolimer betonların asit direncine etkisi", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (2): 424–437 (2021).
91. Aydın, S. and Baradan, B., "Mineral Ve Kimyasal Katkıların Alkalilerle Aktive Edilmiş Harçların Özelliklerine Etkisi", 200–209 .
92. Çelikten, S. and Canbaz, M., "Behaviour of the waste steel fibre reinforced alkali-activated slag mortars exposed to high temperatures", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26 (6): 1110–1116 (2020).
93. Öğüt, R., "Bazalt Lifi Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Dayanıklılığına Etkisi", (2020).
94. Kızıllıgın, B., "Çelik ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi", (2009).

95. Yonar, Y., "Geopolimer Çimentolu ve Polivinil Alkol Fiberli Betonların Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı", (2014).
96. Kozak, M., "Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması", *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 3 (5): 26–35 (2013).
97. Gülmez, N., "Bağlayıcı Ve Agregası Olarak Kullanılan Endüstriyel Atıkların Geopolimer Harçların Özellikleri Üzerine Etkisi", (2018).
98. Mohabbi, M., Varolgüneş, S., and İşsever, F., "Na₂O, silika modülü, su/bağlayıcı oranı ve yaşlanmanın cüruf tabanlı geopolimerlerin basınç mukavemetinde olan etkileri", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6 (2): (2016).
99. Kantarcı, F., "Nano Sılgı, Mıgkro Sılgı Ve Polımer Katkılar Ğçeren Volkanık Tuf Esaslı Geopolımer Beton Üretımı Ve Özellıklerinı Araıtırılması Fatıh", (2018).
100. Edeb, F. E. N. and Fak, Y. A. T., "Fizik Laboratuari – Ii (Elektrik Ve Manyetizma)", (2012).
101. Yakıncı, Z. D., "Elektromanyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri Effects Of Electromagnetic Field On Human Health" *T.C.İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 4(2): 44-52 (2016).
102. Türkel, S. and Tevrihci, M. M., "METEKAOLİN Ve Akışkanlaştırici Katkı Kullanımının Harçların Mekanik Performansına Ve Bazı Durabilite Özelliklerine Etkisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1): 40–46 (2015).
103. Güzel, G., "Lityum Ve Borca Zengin Bazı Kimyasal Bileşiklerin Sentezi Ve Yapısal Özelliklerinin Xrd İle İncelenmesi", (2006).
104. Gülmez, N., "Bağlayıcı Ve Agregası Olarak Kullanılan Endüstriyel Atıkların Geopolımer Harçların Özelliklerđ Üzerine Etkisi", (2018).
105. Yaşar, Ö. and Çiftlikli, T., "Engel Geçiş Katsayılarının Yüksek Enerjili X Işınları Altında Farklı Zırhlama Materyalleri İçin Deneysel Olarak Belirlenmesi", (2019).
106. Taş, S., "Çeliklerde X-Işınları Yöntemi İle Artık Östenit Ve İndentasyon Yöntemi İle Artık Gerilme Tayini", (2010).
107. Orun, O., "Sinkrotron X -Işınları Yöntemlerinin Biyolojik Makromolekül Yapısı Çözümlemesinde Kullanılması", (1999).
108. Dedeoğlu, N., "Baz İstasyonları Sağlığa Zarar Verebilir Mi ?", 39: 191–201 (2015).
109. Yakıncı, Z. D., "Elektromanyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkileri",

T.C.İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi,4 (2) 44–54 (2016).

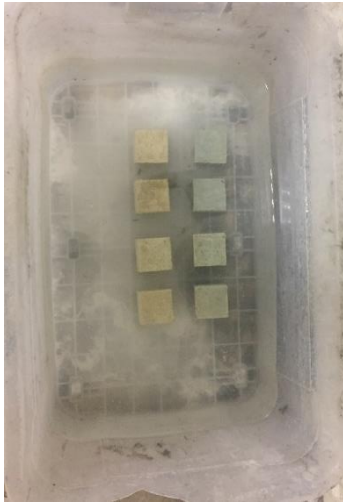
110. Nelson, S. O., "Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials", *Journal Of Food Engineering*, 21 (3): 365–384 (1994).
111. Xie, S., Ji, Z., Zhu, L., Zhang, J., Cao, Y., Chen, J., Liu, R., and Wang, J., "Recent progress in electromagnetic wave absorption building materials", *Journal Of Building Engineering*, 27 (June 2019): 100-963 (2020).
112. Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Molla, T., and Sancar, S., "Radyoaktif ışınlardan korunaklı ekolojik yapılar", *Politeknik Dergisi*, 14 (2): 93–99 (2011).
113. Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., and Akkaş, A., "Yüksek Fırın Cürüflü Betonların Radyasyon Soğurma Karakteristiklerinin Belirlenmesi", *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (4):1-47 (2011):
114. Yılmaz, R., "Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler", *Ejovoc (Electronic Journal Of Vocational Colleges)*, 4 (1): 136–150 (2014).
115. Saraço, Ö. G., "Güç Elektroniği Sistemlerinde Elektromanyetik Uyumluluğun İncelenmesi", (2008).
116. Chung, D. D. L., "Materials for electromagnetic interference shielding", *Materials Chemistry And Physics*, 255 (April): 123587 (2020).
117. Wanasinghe, D., Aslani, F., and Ma, G., "Electromagnetic shielding properties of carbon fibre reinforced cementitious composites", *Construction And Building Materials*, 260: 120439 (2020).
118. Liu, C., Wang, L., Liu, S., Tong, L., and Liu, X., "Fabrication strategies of polymer-based electromagnetic interference shielding materials", *Advanced Industrial And Engineering Polymer Research*, 3 (4): 149–159 (2020).
119. Zhang, L., Bi, S., and Liu, M., "Lightweight electromagnetic interference shielding materials and their mechanisms", (2018).
120. Ribadeneyra, M. C., "EMI shielding composites based on magnetic nanoparticles and nanocarbons", (2014).
121. Palamutcu, S. and Dağ, N., "Fonksiyonel Tekstiller 1: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3 (1): 87–101 (2009).
122. Bayrak, G., "Yerli Bazaltlardan Üretilen Cam-Seramik Esasli Tozların Plazma Sprey Kaplamalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (2009).
123. Çavdar, Ş., Bulut, D., İzmirli, S., Turan, N., and Koralay, H., "Bi1,8-

- $x\text{GaxPb}_0,2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Cam Seramiklerin Termal Özelliklerinin İncelenmesi", *Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (1): 86–102 (2022).
124. Kitabi, E. L., "Çimento Mühendisliği El Kitabı", (2021).
 125. Çetin, S., "Deli Halil (Osmaniye) Bazaltik Pomzalarının Cam Seramik Yapımında Kullanım Olanakları Ve Karakterizasyonu", (2012).
 126. Önen, U., "Vermikülitten üretilen cam - seramik malzemelerin karakterizasyonu ve işlenebilirlik özellikleri", (2020).
 127. Heidelberger, M. and Treffers, H. P., "Quantitative chemical studies on hemolysins: I. The estimation of total antibody in antisera to sheep erythrocytes and stromata", *Journal of General Physiology*, 25 (4): 523–531 (1942).
 128. Arslan, D., "Yüksek Mukavemetli Polimer Kompozit Hazırlanması", (2016).
 129. Internet: ASTM C596-18, "ASTM C596 - 18 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement", .
 130. Kocabağ, D., "Cam Hammaddeleri : Bir İşlevsel Değerlendirme", *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, (Rawson 1980): 110–122 (1997).
 131. Kuru, D. M., "Seramikler Cam, Camın Yapısı", *MBM 429*,
 132. Ercenk, E., Bayrak, G., Şen, U., Yılmaz, Ş., "Bazalt Esaslı Cam ve Cam-Seramik Kaplamaların Mekanik Özellikleri", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Afyon*, 14: 5703–5720 (2014).
 133. Bakanlığı, M. E., "Seramik Ve Cam Teknolojisi Cam Türleri Ve Cami Oluşturan Oksitler", (2013).
 134. İlker, E., "Differentiated Chaos In Phases And Phase Boundaries, Overfrustrated/Underfrustrated Repressed/Induced Spin-Glass Order, Asymmetric Phase Diagrams, And Critical Phases In Spin-Glass Systems", (2015).
 135. Demir, M., "Sarıkamış Obsidian Sources and Evaluation", *Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (19): 119–139 (2017).
 136. Gülşan, M. E., "Stochastic Finite Element Based Reliability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) Corbels", (2015).
 137. Düzgün , O. A., "Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi", (2001).
 138. Pekdemir, N. ., "Polipropilen Lif Oranının Betonun Eğilmede Çekme Ve Basınç Dayanımına Etkisi", (2020).

139. Uçar, G., "İki Farklı Polipropilen Lifin Rijit Kaplamalarda Hibrit Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (2022).
140. Eryılmaz, O., "Karbon Lif Takviyeli Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi", (2017).
141. Arık, M. T., "Effect of Aggregate Size and Amount on the Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites Incorporating Fly Ash and Slag", (2011).
142. Sanı, A., "The Effect of Fly-Ash Stabilized Sub-Base on Cost of the Flexible Pavement", (2014).
143. Kurşunlu, B., "Züccaciye Cami Üretim Verimliliğinde Doğru Refrakter Malzeme Seçiminin Etkileri", (2019).
144. Öksüzer, N., "Farklı İnceliklere Sahip Mermer Ve Bayburt Taşı Atıklarının Lif Donatılı Geopolimer Bağlayıcı Sistemlerde Kullanılması", (2016).
145. Özen, S., "Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri", *Araştırma Makalesi*, 11 (2): 530–536 (2021).
146. Kuranlı, Ö. F., "Farklı Bağlayıcı Ve Lif İçeren Geopolimer Betonların Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi", (2020).
147. İnceyol, M., "Adıyaman Yerleşim Alanlarından Çıkan Killi Toprağın Soda Camı Katkısı ile Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (2019).
148. Şengün, K., "Cfrp İle Güçlendirilen Çelik Lifli Betonarme Kirişlerde Dayanım Artışlarının İrdelenmesi", (2016).
149. Kurtulus, R. and Kavas, T., "Investigation on the physical properties, shielding parameters, glass formation ability, and cost analysis for waste soda-lime-silica (SLS) glass containing SrO", *Radiation Physics And Chemistry*, 176 (June): 109090 (2020).
150. Dirikolu, İ., "Volkanik Tüf Esaslı Alkalilerle Aktive Edilmiş Bağlayıcıların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri", (2019).
151. Şahin, H., "Bayburt taşı olarak bilinen tüflerin çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", (2018).
152. Naenudon, S., Vilaivong, A., and Zaetang, Y., "High flexural strength lightweight fly ash geopolymer mortar containing waste fi ber cement", *Case Studies in Construction Materials*, 16: e01121, (2022).

EK AÇIKLAMALAR

Deneysel Çalışmalardan Görüntüler



ÖZGEÇMİŞ

Sheir Ahmad RAHMANI, 1994 yılında Faryab'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mazar Sharif şehirde tamamladı. 2013 yılında başladığı Aria Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği lisans programından 2016 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 yılında, Doç. Dr. İlker TEKİN danışmanlığında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Alkali-Aktif Malzemeler ile ilgili tamamen finanse edilen bir projede, bursiyer olarak görev aldı.