



**MANGAN KATKILI LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
ALKALİ-AKTİVE EDİLMİŞ KOMPOZİTLERİN
ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Macid İBRAHİM

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

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

**MANGAN KATKILI LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ALKALİ-AKTİVE
EDİLMİŞ KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Macid İBRAHİM

**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**

Macid İBRAHİM tarafından hazırlanan “MANGAN KATKILI LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ALKALİ-AKTİVE EDİLMİŞ KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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. 23/09/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ (GAZİ Ü)

.....

Üye : Doç. Dr. İlker TEKİN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Mustafa DAYI (DÜ)

.....

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.”

Macid IBRAHİM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANGAN KATKILI LİFLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ALKALİ-AKTİVE EDİLMİŞ KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Macid İBRAHİM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İlker TEKİN

Eylül 2022, 125 sayfa

Bu çalışmada, alkali aktive edilmiş tüf-traverten esaslı kompozit hamurlarda (AAH) Manganoksit'in (MnO_2) fiziksel, mekanik, mikroskobik, mineralojik ve elektromanyetik özelliklere etkileri incelenmiştir. AAH'lerin üretiminde alümina silikat kaynağı olarak Bayburt ilinden yeşil ve beyaz renkli volkanik tüfler ile toz halde mikronize kalsit kullanılmıştır. Alkali aktivatör olarak Sodyum Hidroksit ($NaOH$) ve Sodyum Silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır. Elektromanyetik özellikleri geliştirmek amacıyla MnO_2 hacimce %1, %2,5 ve %5 oranında (ağırlıkça yaklaşık %2,5, %5 ve %10) karışıma eklenmiştir. Ayrıca üretilen AAH'lerin mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özelliklerini iyileştirmek için toplam malzemenin hacminde %2 oranında polipropilen lif (12 mm), kırılmış karbon lif (12 mm) ve pirinç kaplı mikro çelik lif (6 mm) kullanılmıştır. Prizma ve küp AAH numuneler üzerinde 2, 28, 90 ve 180 gün yaşlarında mekanik ve fiziksel özellikler; 300x300x10 mm boyutlu kaplama

malzemeleri üzerinde 90 gün yaşında elektromanyetik iletim ve yansıma özellikleri 900-6000 MHz frekans aralığı için test edilmiştir. Ayrıca, 90 gün yaşında AAH numuneler üzerinde mikroyapısal ve mineralojik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, beyaz tufle üretilen AAH'ler için 180 günlük en yüksek eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 16 MPa (karbon lifli %1 MnO₂ içerikli AAH) ve 25,7 MPa (karbon lifli %0 MnO₂ içerikli AAH); yeşil tufle üretilen AAH'ler için 180 günlük en yüksek eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 17,4 MPa (karbon lifli %0 MnO₂ içerikli AAH) ve 23,1 MPa (karbon lifli %1 MnO₂ içerikli AAH) olarak elde edilmiştir. Beyaz tuf-kalsit esaslı AAH'lerde 900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz ve 5000 MHz frekanslar için gerçekleştirilen elektromanyetik ölçümlerde en yüksek iletim değerleri karbon lifli karışımlarda sırasıyla -34 dB, -37 dB, -21dB, -32 dB; en yüksek yansıma değerleri çelik lifli karışımlarda sırasıyla 3 dB, 0,4 dB, 9 dB, 12 dB olarak ölçülmüştür. Yeşil tuf-kalsit esaslı AAH'lerde 900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz ve 5000 MHz frekanslar için gerçekleştirilen elektromanyetik ölçümlerde en yüksek iletim değerleri karbon lifli karışımlarda sırasıyla -16 dB, -18 dB, -11dB, -21 dB; en yüksek yansıma değerleri çelik lifli karışımlarda sırasıyla 3 dB, 4 dB, 4 dB, 16 dB olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Alkali Aktive Malzemeler, Zeolitik Tuf, Mangan, Lif, Elektromanyetizma, Mikroyapısal Analiz, elektromanyetik kalkanlama.

Bilim Kodu : 91127

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF MANGANESE ADDED FIBER REINFORCED ALKALI-ACTIVATED COMPOSITES

Macid IBRAHİM

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İlker TEKİN

September 2022, 125 pages

In this study, the effects of manganese oxide (MnO_2) on the physical, mechanical, microscopic, mineralogical, and electromagnetic properties of alkali-activated tuff-travertine-based composite pastes (AAH) were investigated. In the production of AAHs, micronized calcite in powder form together with green and white colored volcanic tuffs from Bayburt province was used as an alumina silicate source. Sodium Hydroxide (NaOH) and Sodium Silicate (Na_2SiO_3) were used as alkali activators. In order to improve the electromagnetic properties, manganese (MnO_2) was added to the mixture at 1%, 2,5% and 5% by volume (%2,5, %5 ve %10 by weighth). In addition, 2% polypropylene fiber (12 mm), chopped carbon fiber (12 mm) and brass coated micro steel fiber (6 mm) by volume of the total material were used to improve the mechanical, physical, and electromagnetic properties of the produced AAHs. Mechanical and physical properties were tested on prism and cube AAH specimens

at 2, 28, 90 and 180 days of age, and electromagnetic transmission and reflection properties were tested on coating materials of 300x300x10 mm size at 90 days of age in the range of 900-6000 MHz. In addition, microstructural analyzes were performed on 90-day-old AAH samples. According to the results obtained from the study, the 180-day maximum flexural and compressive strengths for AAHs produced with white tuff were 16 MPa (AAH with carbon fiber 1% MnO₂) and 25.7 MPa (AAH with 0% MnO₂ content with carbon fiber). The maximum 180-day flexural and compressive strengths for AAHs produced with green tuff were obtained as 17.4 MPa (AAH with carbon fiber 0% MnO₂ content) and 23.1 MPa (AAH with carbon fiber 1% MnO₂ content), respectively. In the electromagnetic measurements performed for 900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz and 5000 MHz frequencies in white tuff-calcite based AAHs, the highest transmission values were -34 dB, -37 dB, -21dB, -32 dB in carbon fiber mixtures; The highest reflectance values were measured as 3 dB, 0.4 dB, 9 dB, and 12 dB in steel fiber mixtures, respectively. In the electromagnetic measurements performed for 900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz and 5000 MHz frequencies in green tuff-calcite based AAHs, the highest transmission values were -16 dB, -18 dB, -11dB, -21 dB in carbon fiber mixtures; The highest reflectance values were measured as 3 dB, 4 dB, 4 dB, 16 dB in steel fiber mixtures, respectively.

Key Words : Alkali-Activated Materials, Zeolitic Tuff, Manganese, Fiber, Electromagnetism, Microstructural Analysis, electromagnetic shielding.

Science Code : 91127

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sürecinde ihtiyaç duyduğum her türlü desteği sağlayan, aşılacağı motivasyonla ve gerekli yönlendirmeleriyle yoluma ışık tutan, engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve kendisini çok sevdiğim sayın hocam Doç. Dr. İlker TEKİN'e, birçok konuda yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Mahfuz PEKGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Allaha hamdettikten sonra Çalışmalarım süresince hiçbir desteğini esirgmeden yanımda olan sol yanımda annem, değerli babamın ve canım kardeşim teşekkürü ödenemez borç bilirim, ayrıca eğitim hayatım boyunca yaptığım hatalara ve karşılaştığım zorluklara minnettarım.

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.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ MALZEME	5
2.1.1. Alkali Aktive Edilmiş Malzemenin Tarihçesi	6
2.1.2. Alkali Aktive Edilmiş Malzemelerin Mekanizması (Kimyası).....	7
2.1.2.1. Yüksek Kalsiyumlu Alkali Aktivasyon Sistemi ((Na,K) ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O).....	10
2.1.2.2. Düşük Kalsiyumlu Alkali Aktivasyon Sistemi ((N,K) ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O).....	16
2.2. ALKALİ AKTİVE MALZEME BİLEŞENLERİ	14
2.2.1. Puzolanik malzemeler	14
2.2.1.1. Doğal Puzolanlar.....	15
2.2.1.2. Yapay Puzolanlar	18
2.2.1.3 Mangan Dioksit (MnO ₂)	18
2.2.2. Alkali Aktivatörler.....	19
2.3. ALKALİ AKTİVE MALZEMELERDE LİF KULLANIMI.....	21
2.4. ELEKTROMANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM	22
2.4.1. Elektromanyetik Dalgaların Oluşturduğu Etkiler.....	25
2.4.2. Elektromanyetik Dalgaların Maddeyle Etkileşimi	26
2.4.3. Elektromanyetik Kalkanlama	26

	<u>Sayfa</u>
2.5. LİTERATÜR TARAMASI.....	28
BÖLÜM 3	38
MALZEME VE YÖNTEM	43
3.1. MALZEME	43
3.1.1. Bayburt bölgesinde bulunan tüfit taşlar	43
3.1.1.1. Bayburt Yeşil tüfü (tras)	43
3.1.1.2. Bayburt beyaz tüfü (zeolitik tüf).....	45
3.1.2. Kalsit.....	51
3.1.3. Alüminyum Oksit	47
3.1.4. Mangan	48
3.1.5. Su ve Alkali Aktivatörler.....	48
3.1.6. Polipropilen, Karbon ve Çelik Lif	49
3.2. YÖNTEM.....	49
3.2.1. Karışım Tasarımı ve Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Üretimi.....	50
3.2.1.1. Karışım Tasarımı ve Üretim Yöntemi	50
3.2.1.2. Kür İşlemi	53
3.2.2. Taze Haldeki Alkali Aktifleştirilmiş Hamur Deneyleri	53
3.2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi	53
3.2.3. Sertleşmiş Haldeki Alkali Aktifleştirilmiş Hamur Deneyleri.....	54
3.2.3.1. Büzülme Deneyi	54
3.2.3.2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri.....	55
3.2.3.3. Su Emme Deneyi	56
3.2.3.4. Elektromanyetik Özellik Ölçümleri.....	57
3.2.3.5. Mikroyapısal Analizler	62
BÖLÜM 4	59
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	59
4.1. PRİZ SÜRESİ VE YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	59
4.2. EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	62
4.2.1. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler	62

Sayfa

4.3. ÖZGÜL AĞIRLIK, SU EMME VE GÖRÜNEN POROZİTE SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	76
4.4. BÜZÜLME DENEYİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	80
4.5. ELEKTROMANYETİK ÖZELLİK TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	86
4.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM), ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) VE X-IŞINI DİFRAKSİYONU (XRD) ANALİZİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	104
 BÖLÜM 5	 112
SONUÇ	112
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. İki aşamalı jeopolimer reaksiyon mekanizması	9
Şekil 2.2. Uçucu kül alkali aktivitesinin bir modeli	9
Şekil 2.3. Davidovits'in jeopolimer terminolojisi (poli-sialat yapılar)	9
Şekil 2.4. Alkali ile aktifleştirilen bir cüruf partikülünde reaksiyon mekanizması	11
Şekil 2.5. Alümina silikat esaslı malzemelerin polimerizasyon süreci	13
Şekil 2.6. Elektrik ve manyetik alan etkileşimi	23
Şekil 2.7. Elektromanyetik Spektrum	24
Şekil 2.8. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması	32
Şekil 2.9. 2000 yılından günümüze kadar yayınlanmış jeopolimer çalışmalarının yıllara göre istatistiği	27
Şekil 2.10. 2000 yılından günümüze kadar yayınlanmış elektromanyetik kalkanlama çalışmalarının yıllara göre istatistiği	29
Şekil 2.11. MnO ₂ katkılı kaplamalarındaki Bulk ve Porozite gelişimş	38

Sayfa

Şekil 3.1. Yeşil Tras ve Beyaz tütün öğütüldükten sonraki görüntüsü.....	44
Şekil 3.2. BYT'nin minerolojik (XRD) analizi.	44
Şekil 3.3. BYT'nin mikroskobik görüntüsü (SEM analizi).	44
Şekil 3.4. BBT'nin minerolojik (XRD) analizi.	45
Şekil 3.5. BBT'nin mikroskobik görüntüsü (SEM analizi).	46
Şekil 3.6. a) Kalsit (mermer tozu- CaCO_3), b) Alüminyum Oksit (Al_2O_3)	47
Şekil 3.7. Mangan dioksitin görseli (MnO_2).	48
Şekil 3.8. Mangan dioksitin elek analizi (MnO_2).	48
Şekil 3.9. a) Polipropilen lif, b) Karbon lif ve c) Çelik lif.	49
Şekil 3.10. Üretim kombinasyonlarının şematik görünümü.	49
Şekil 3.11. Üretilmiş numunelerin kodlarının açılımı.....	49
Şekil 3.12. Yayılma tablası ve yayılma çapı ölçümü.	49
Şekil 3.13. Büzülme ölçüm aşamaları.....	49
Şekil 3.14. a) Eğilme Dayanımı Testi. b) Basınç Dayanımı Testi	55
Şekil 3.15. Su emme deneyi.....	57
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.	57
Şekil 4.1. Yeşil ve beyaz tütün esaslı AAH'lerde yayılma ve priz deneyi sonuçları. ..	61
Şekil 4.2. Yeşil tütün esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.3. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YP-M3 numunesi. b) PP lifin numune içindeki dağılımı.....	64
Şekil 4.4. Yeşil tütün esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.	65
Şekil 4.5. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YK-M1 numunesi. b) Karbon lifin numune içindeki dağılımı.....	66
Şekil 4.6. Yeşil tütün esaslı çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.....	66
Şekil 4.7. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YÇ-M2 numunesi. b) Çelik lifin numune içindeki dağılımı.....	67
Şekil 4.8. Yeşil tütün esaslı tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.	68
Şekil 4.9. Yeşil tütün esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.....	68
Şekil 4.10. Beyaz tütün esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.....	70

Şekil 4.11. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BP-M1 numunesi. b) PP lifin numune içindeki dağılımı.....	71
Şekil 4.12. Beyaz tuf esaslı kırılmış karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.....	72
Şekil 4.13. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BK-M0 numunesi. b) Karbon lifin numune içindeki dağılımı.....	73
Şekil 4.14. Beyaz tuf esaslı çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları	73
Şekil 4.15. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BÇ-M1 numunesi. b) Çelik lifin numune içindeki dağılımı.....	75
Şekil 4.16. Beyaz tuf esaslı tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.....	75
Şekil 4.3. Beyaz tuf esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.	76
Şekil 4.18. Yeşil tuf içerikli ve pp lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.....	80
Şekil 4.19. Yeşil tuf içerikli ve karbon lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.....	81
Şekil 4.20. Yeşil tuf içerikli ve çelik lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.	80
Şekil 4.21. Beyaz tuf içerikli ve pp lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.	83
Şekil 4.22. Beyaz tuf içerikli ve karbon lif takviyeli grupların büzülme sonuçları. ..	84
Şekil 4.23. Beyaz tuf içerikli ve çelik lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.	85
Şekil 4.24. Yeşil tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.....	86
Şekil 4.25. Yeşil tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı gündeki görüntüleri.	87
Şekil 4.26. Beyaz tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.....	88
Şekil 4.27. Beyaz tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı gündeki görüntüleri.	88
Şekil 4.28. Yeşil tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.....	90
Şekil 4.29. Yeşil tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı gündeki görüntüleri.....	90
Şekil 4.30. Beyaz tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.....	91
Şekil 4.31. Beyaz tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı gündeki görüntüleri.....	91
Şekil 4.32. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.....	93

Şekil 4.33. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı günde ki görüntüleri.....	93
Şekil 4.34. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga ile tim özellikleri.....	95
Şekil 4.35. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı günde ki görüntüleri.....	95
Şekil 4.36. Yeşil tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	97
Şekil 4.37. Beyaz tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	98
Şekil 4.38. Yeşil tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	99
Şekil 4.39. Beyaz tuf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	95
Şekil 4.40. Yeşil tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	97
Şekil 4.41. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.....	98
Şekil 4.42. YK nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun SEM-EDS analizi.....	104
Şekil 4.43. YK nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun XRD analizi.	106
Şekil 4.44. YK-M3 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun SEM-EDS analizi.....	106
Şekil 4.45. YP-M3 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun SEM-EDS analizi.....	108
Şekil 4.46. BKM0 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun SEM-EDS analizi.	108
Şekil 4.47. BK-M0 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun XRD analizi.....	109
Şekil 4.48. BK-M3 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun SEM-EDS analizi	110
Şekil 4.49. BK-M3 nolu alkali-aktif e dilmiş hamurun XRD analizi.....	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli bağlayıcılarla oluşan birincil ve ikincil reaksiyon ürünleri	11
Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin sahip olduğu özellikler	22
Çizelge 3.1. BBT, BYT ve kalsitin kimyasal özellikleri.	46
Çizelge 3.2. Toz malzemelerin fiziksel özellikleri.	47
Çizelge 3.1. Na ₂ SiO ₃ 'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri.	49
Çizelge 3.4. Polipropilen, karbon ve çelik lifin teknik özellikleri.	49
Çizelge 3.5. Polipropilen, karbon ve çelik lifin teknik özellikleri.	49
Çizelge 4.1. Lifle güçlendirilmiş AAH'lerin priz süreleri ve yayılma çapı değerleri.	59
Çizelge 4.2. Yeşil tuf esaslı AAH numunelerin BHA, eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.....	62
Çizelge 4.3. Beyaz tuf esaslı AAH numunelerin BHA, eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.....	69
Çizelge 4.4. YBT ile üretilen Sertleşmiş hamurların su emme (S) ve görünen porozite (Pg) değerleri.....	77
Çizelge 4.5. BBT ile üretilen Sertleşmiş hamurların su emme (S) ve görünen porozite (Pg) değerleri.....	78
Çizelge 4.6. Şekil 4.42c ve Şekil 4.42d'de gösterilen EDS noktasal analiz sonuçları.	105
Çizelge 4.7. Şekil 4.44b, Şekil 4.44c ve Şekil 4.44d'de gösterilen EDS noktasal analiz sonuçları.....	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO_2	: Karbondioksit
%	: Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
kg	: Kilogram
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
μm	: Mikrometre
s	: Saniye
Ç/T	: Çözelti/Toz
M	: Molar
SiO_2	: Silis
Al_2O_3	: Alümina
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Na_2SiO_3	: Sodyum Silikat (Cam Suyu)
CaCO_3	: Kalsiyum Karbonat
Ca(OH)_2	: Kalsiyum Hidroksit
Fe_2O_3	: Demir Oksit
Fe_3O_4	: Manyetit (Demir (II,III) Oksit)
MPa	: Megapaskal
MHz	: Megahertz
GHz	: Gigahertz
dB	: Desibel
T_c	: Curie Sıcaklığı
M_s	: Doyum Manyetizasyonu

KISALTMALAR

PÇ	: Portland Çimentosu
AAM	: Alkali Aktive Malzeme
AAH	: Alkali Aktive Hamur
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
UK	: Uçucu Kül
MK	: Metakaolin
ZT	: Zeolitik Tüf
BYT	: Bayburt Yeşil Trası
BBT	: Bayburt Beyaz Tüfü
PP	: Polipropilen
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
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

Hammaddeler ve Enerji azlığı ile beraber teknolojininhızlıca gelişmesi nedeniyle yapı malzemelerinin iklimin gösterdiği değişikliklerden dolayı bazı mühendislik özellikleri gittikçe önemiyet kazanmaktadır. Bu Günlerimizde tatmin edici fiziksel ve mekanik özellikleri taşıyan, dış koşullara karşı dayanıklı bir ürün bulmak yanında insanın güvenliği ve sağlığı dikkate alınması gerekmektedir. Üretilecek yeşil ürünün elektromanyetik dalgalardan da koruma özelliği de olmalıdır [1].

Çimento üretimi sırasında ana bileşenleri yakmak için (1300-1400°C) sıcaklıklar kullanılır bu da büyük enerjinin kaybına sebep olur. Bu enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonu %7 ve bu enerji çelik üretimindekinden daha büyük olması yanında gittikçe büyümektedir [2–4]. 820 kg CO₂ 1 ton çimento üretiminden kaynaklanan o emisyon küresel ısınımına sebep olur [5,6]. Teknoloji ve sanayi gelişiminden kaynaklanan kirlilik artması ile beraber çevrenin etkilenmesi artmaktadır ve buna bağlı olarak bozulların erimesi ardından deniz seviyesi yükselip insanın hayatını tehlikeye maruz kalmaktadır. Büyük CO₂ emisyonu neticesi bilim insanların ortak korkusu olup eskiden beri çevre dostu bir yapı malzemesi ve meydana getirecekleri ürünün dış etkilere karşı dayanıklı olması şartıyla üretmeye çalışmaktadır[7,8]. Geniş endüstriyel sektörden kaynaklanan atık malzemeleri ve doğada hazır bulunan puzolan malzemelerin bağlayıcılık özelliklerinden faydalanarak alternatif bağlayıcı malzeme ve ürünler geliştirmeye çalışılmaktadır. Portland çimentosu (PÇ) malzemesine göre %80 daha az CO₂ emisyonuna sahip olan alkali aktive malzemelerdir (AAM) en iyi alternatif bağlayıcı olarak seçilmiştir [1].

1940 yılları purdon sayesinde AAM'lerin üretme başlama tarihidir. 1967'de ana alkali bileşenlerin bulunduğundan sonra AAM'lerle ilişkin Glukhovsky tarafından çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu gelişmelerden sonra alüminosilikatlı malzemelerin kimyasal birleşimlerinin kullanabilme imkanı söylenmiştir [9–12]. Geopolimer teriminin kullanması Davidovits'in polimerizasyon gelişimini incelemesi sonucunda olup 1979 yıllarına aittir [13]. alümina-silikat esaslı

malzemeler alkali ortamda çözölüp aktive edilir ondan sonra geopolimerizasyon reaksiyonlarının sonucunda elde edilen katılaşmaya meyilli ürüne AAM'ler denmektedir. Bu malzemeyi üretmek için (YFC), (MK) ve Zeolitik tuf gibi hem doğal hemde yapay alümina-silikatla zengin bileşenler kullanma imkanı vardır [15,16]. Hem endüstrinin (cüruf gibi) atıkları hem de doğal malzemeler (kil gibi) Alümina ve silika içermeleri şartıyla Alkali-aktivatör tekniği sayesinde bağlayıcılık özelliği gösterebilmektedir [17]. Glukhovsky periyodik çizelgeden hidrolik bağlayıcılık özelliği var olan elementlerden 1A alkali metal (Li, Na, K, Rb, Cs) ve alkali toprak metalleri (Mg, Ca, Sr, Ba) 2A iki grup olmak üzere seçmiştir [18]. Hem tek başına hem de kombinasyon olarak kullanabilen Alkali aktivatörlerin en uygunları sodyum hidroksit (NaOH), sodyum sülfat (Na₂SO₄), potasyum hidroksit (KOH) ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) görölmüştür [6–8,19]. PÇ hidratasyonundan kaynaklanan (CSH) oluşurken, geopolimer Alümina-silikatlı hammaddelerin alkali aktivesi reaksiyonundan (CASH) oluştuğu için bu iki malzeme birbirinden farklı tanımlanmaktadır [20–22].

Araştırmalara göre AAM betonları PÇ'lerinkinden daha iyi performansa sahip olduğu bulunmuştur. O iyi performans hem Erken yaşlarda sağladığı dayanım hem de bulunduğu ortamın koşullarına (kimyasal atakları, donma-çözölme etki vb.) karşı gösterdiği dirençten kaynaklanmaktadır [22,23]. Sıcaklık derecesi, kür süresi, çözeltinin konsantrasyonu vd; AAM'lerin performansında önemli derecede etkilediği bilinir [24]. PÇ betonları bilindiği nedenlerden dolayı hem dökümün bitimi sonrasında hem de kullanım süresi boyunca gerekli önlem alınmadığı müddetçe PÇ betonu çatlamaya devam eder olup eğilme ve çekme dayanımları az olmasıyla beraber zamanla malzemenin dış etkiler altında çökmesiyle sonuçlanmaktadır [8,25]. Bu sonucu önleme yollardan biri ise elyaf eklemektir. Eklenen Elyaf sayesinde çekeme dayanımının zaifliği, çatlak oluşumu ve çatlak oluşsa bile gelişmesini önleyip malzemenin ortam koşullarına dayanıklı olmasını sağlar. Buna ek olarak, liflerin köprü görevi aldığı için yükleri homojen dağıtıp malzemeye süneklik özelliği kazandırmaktadır [26].

Teknolojini gelişme neticesi her iki kaynaklı yapay veya doğal elektromanyetik dalgalara maruz kalmayan ortam kalmadığı söylenmiştir. İnsanın sağlığı ve

teknolojik kirliliğini düşündüren o elektromanyetik dalgaların olumlu yönü sayılır. Enerjisi yüksek olup bir çok malzemeye nüfuz etmesiyle kimyasal yapısını bozup İyonlaştırıcı özelliğe sahip olan (EMD) sağlık açısından çok tehlikeli tanımlanmaktadır. Telefon veya wifi gibi cihazlardan kaynaklanan düşük enerjili elektromanyetik dalgaları küçük görünmemeli çünkü uzun süre maruz kalınca o dalgalara insanın vücudundaki gerçekleşen kimyasal reaksiyonları bozabilme imkanı vardır [27,28].

EMD üretmiş olduğu zararlardan yapı malzemesi vasıtası ile kısmen veya tamamen korunabilir. Yüksek enerjili dalgalardan koruyucu malzemeler ile ilgili çalışmalar sonucunda absorban, yansıtıcı veya iki yönlü çalışan elemanlar üretilmiş, ve buna örnek olarak; nükleer santraller inşaatında ağır beton kullanılır, hastanelerdeki X ışını kullanıldığı bölümlerin bölme duvarları kurşun malzemesi ile kaplanmaktadır [29,30]. Buna ilişkin olarak, geleneksel çimento ile uyum sağlayabilen ve soğurma özelliği var olan metal ve karbon vb. liflerin yüksek maliyetlerinden dolayı kullanımı oldukça sınırlıdır [31]. Tepkime girecek enerjisi çok düşük olduğu için her türlü nesneden kolay geçebilen EMD'leriyle yoğun çalışmalar başlatılmalıdır.

Araştırmacılar tarafından AAM'lerin mekanik ve fiziksel özelliklerine odaklanıp o malzeme kullanarak düşük enerjili EMD'lerin mangan dioksit gibi bileşenlerle önlenmesi için yeterli sayıda çalışmalar yapılmadığı görünmüştür. MnO_2 1080°C üstüne çıkan sıcaklıklar için kararlı olmasından ziyade çömlek sırlara kahverengi vermektedir[32]. kapasitör üretimlerinde elektrot malzemesi olarak bolca kullanılması yanında doğada sıklıkla rastlanması, üretiminde düşük maliyete sahip olması ve elektrokimyasal reaksiyonlar esnasında birden fazla kez istihdam edebilmesi gibi özelliklerinden dolayı çok kullanılmaktadır [33]. Diğer bileşenlerle uyumu, EMD'lerin zararlarını önlemesi, homojen dağılımı ve bağlaç olarak olabilmesi gibi parametreleri sunan MnO_2 Seçmiş olduğumuz katkı oldu. literatür araştırması Yapılma süreci boyunca mangan dioksitin AAM'de (EMA) ve (EMD) etkileri ile ilgili araştırmalar bulunmamıştır. Buna istinaden bu çalışmanın araştırma “mangan dioksit, AAM'lerin elektromanyetik zırhlama etkisini iyileştirir beklentisiyle” olarak hazırlanmıştır. böylece, bu çalışmanın teorisi “AAM'lerde mangan dioksit, elektromanyetik zırhlama etkisini artırır” kalıbında hazırlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında iki farklı t f kullanarak, %2 oranında üç farklı lif takviyesi ve %0, %1, %2,5 ve %5 oranlarında mangan dioksit ilavesi ile AAM'ler  retiliecektir. Bunun ardından bu malzeme ile dökülen plakaların 900 MHz ile 6000 MHz arasındaki elektromanyetik kalkanlama özellikleri araştırılması yanında bu malzemenin mekanik özellikleri araştırılacaktır.



BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ MALZEME

Glukhovsy, “alkali” sonra “alkali çimento” ismini kullanıp çalışmaların çoğunu yürütür iken gösterdiği çabalardan dolayı en bariz isim olarak bilinmiştir. Çevre dostu ve iyi performanslı olan bu bağlayıcılar mühendisliğin çoğu alanında gündem olmuştur. Bu bağlayıcılar ise 30 yıldır çimentoya denk ve Sürdürülebilir bir çevreci malzeme olup geliştirmesi için çalışmalar yapılmıştır. Yıllardan beri bu malzemeler esas bağlayıcısı çimento olan seramiklerinin üretimlerinde çimento görevini görebilme yanında sentetik alümina-silikat olarak sınıflandırılır [13,34].

Silisyum ve alüminyum elementleri yer kabuğunda bolca bulunup %75’inden fazlası temsil etmektedir. Alüminyum +3, Silis +4 oksidasyonasa haptir. alelaide koşullarda silisyum atomu yakalşık olarak sürekli oksijenden 4 atoma bağlayıp tetrahedral yapıya sahip olur. (SiO₄) ve silikat minerallerini meydana getirmek için bir oksit iyonunu ortadan kaldırıp bir başkasını paylaşarak birbirlerini polimerize etme yeteneğine sahiptirler. Polimerizasyon derecesi arttıkça, Si/O oranı tek bir SiO₄ yapısı içeren ortosilikatlar için 1:4’ten tamamen polimerize edilmiş üç boyutlu bir çerçeve yapısı için 1:2 seviyesine düşmektedir. Çerçeve yapısındaki her oksijen atomu (O₂) iki silikon atomu arasında paylaşılır. Alüminyum oldukça elektromanyetik bir elementtir ve sadece Al⁺³ formundaki oksijen atomları ile bulunur. (SiO₄)⁻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 [21].

(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. 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

2.1.1. Alkali Aktive Edilmiş Malzemenin Tarihçesi

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. Alkalın aktif çimento malzemelerinin alkalın ve beton yapıların yanı sıra alkalın fonksiyonu ve alümina silikat bileşeninin tipi olduğu bildirilmiştir [2,10,14].

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 [12,10,17].

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 imento bazlı bağlayıcılar gibi kalsiyum silikat hidrat C-S-H gibi bir jel yapısı oluşur. Kimyasal alkali aktivatörlerin kullanıldığı, imento içermeyen %100 cüruf ve uçucu kül bağlayıcılar, özellikleri ve performansları nedeniyle, imento için modern bir bağlayıcı malzeme olarak kabul edilebilir [3,8,20]. 1979 tılından beri tarihsel süreçteki yapılan bazı kıymetli çalışmalar izelge 2.1’de sunulmaktadır.

AAMS ile ilgili ilk yayınlanan çalışmalar 1908 yılında Alman kimyager Khl tarafından yapıldı. Khl, temel patlama fırın cürufu ve alkaline 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 cüruflarının çeşitli kimyasal aktivatörlerle etkileşimini açıklayan ayrıntılı bir çalışma yayınladı. AAM’lerin gelişmesine ilişkin araştırma ve soruştırma 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 [17,38].

2.1.2. Alkali Aktive Edilmiş Malzemelerin Mekanizması (Kimyası)

Alkali imentolar, amorf alümina veya cam alminatlara alkaline 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

gruplandırılabilir: (a) yüksek kalsiyumlu (b) düşük kalsiyumlu çimentolar. [24,40, 44]

(Na,K)2O-CaO-Al2O3-SiO2-H2O : Bu modelde, yüksek fırın cürufu ($\text{SiO}_2 + \text{CaO} > \%70$) 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 [38,41,42,45].

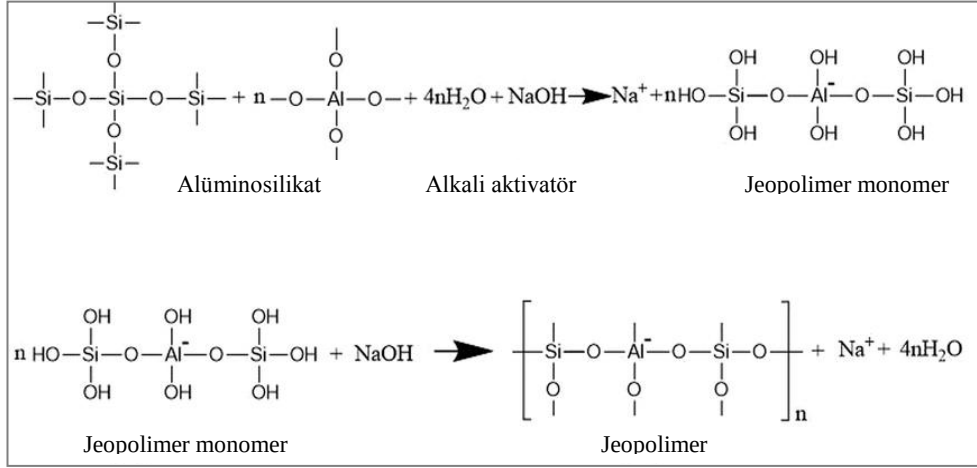
(Na,K)2O-Al2O3-SiO2-H2O : Bu modeldeki aktifleştirilmiş malzemeler öncelikle Al ve Si'den oluşur. Metakaolin ve F tipi uçucu kül gibi ikinci alkali aktivasyon yönteminde kullanılan malzemeler küçük bir içeriğe (CaO) sahiptir. Bu durumda reaksiyonların başlaması için daha agresif bir ortam gerekir. (yüksek 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 alkalin alümina silikat hidrat) olan üç boyutlu bir inorganik alkalin polimeridir. Bu jel, diğerleri arasında jeo veya mineral polimer olarak da bilinir [47].

Bugün, üçüncü alkali aktivasyon modeli, önceki ikisinin bir kombinasyonu olarak da tanımlanabilir. Burada üretilen ürün, $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 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

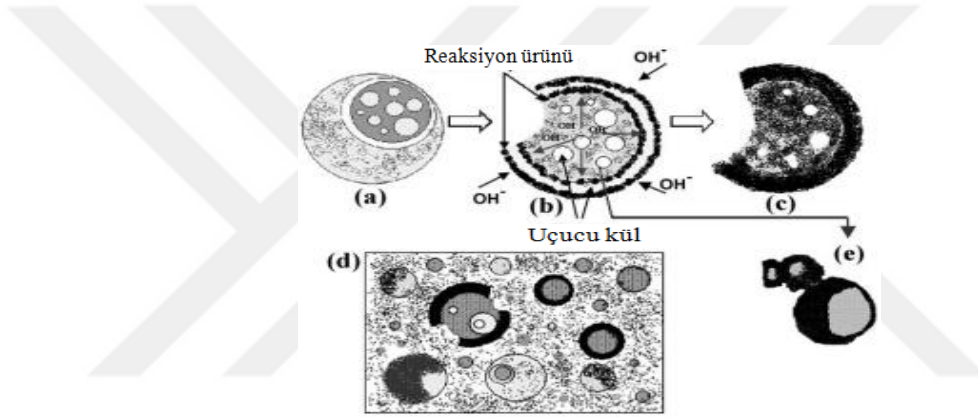
Kompoze Portland çimentosu gibi (CEM IIIb- CEM IV - CEM V) düşük oranda PÇ klinkeri içeriğine ve yüksek oranda (%70'in üzerinde).

PÇ klinkeri içermeyen karışımları kapsamaktadır: Yüksek Fırın Cürufu, Fosforlu Cüruf, Yüksek Fırın Cürufu ve Kül vb.

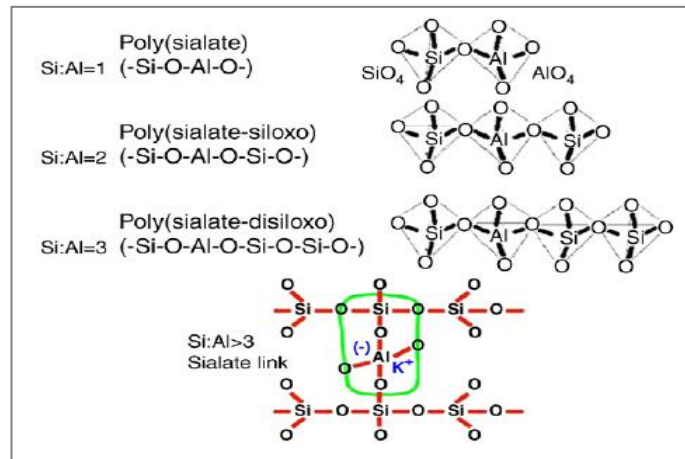
Bu üçüncü grupta kibrit çimentosu biriken reaksiyon ürünleri oldukça karmaşıktır. (C-A-S-H) jelleri sodyum içeren çimento jelleri (N, C) -A-S-H yüksek kalsiyum içerikli (N-A-S-H) jelleri karışımı [24,40,48].



Şekil 2.1. İki aşamalı jeopolimer reaksiyon mekanizması [47].



Şekil 2.2. Uçucu kül alkali aktivitesinin bir modeli [48].



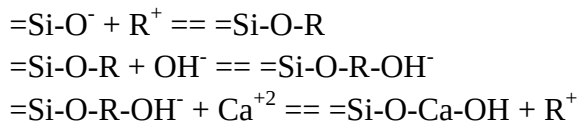
Şekil 2.3. Davidovits'in jeopolimer terminolojisi (poli-sialat yapılar) [50].

2.1.2.1. Yüksek Kalsiyumlu Alkali Aktivasyon Sistemi ((Na,K)₂O-CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O)

Bu modelde, orta derecede alkalin şartlar içerisinde kalsiyum (Ca) ve silisyum (Si) bileşenleri ile zengin malzemeler (CaO+SiO₂>%70) aktive edilir. Bu koşullar altında ana reaksiyon ürünü, yapısında Al içerebilen PÇ hidratasyonu sonucu oluşan jeli benzeyen kalsiyum alümina silikat hidrat (C-A-S-H) jelidir [38].

Kalsiyum ile zengin alkali çimento ve beton üretmek için faydalanılan en yaygın alümina silikat kaynağı olan YFC'nin kimyasal kompozisyonu %25-40 SiO₂, %35-40 CaO, %5-15 Al₂O₃ ve %5-10 MgO'dur [7]. Yalnız, az miktarda (<%1) S, Fe₂O₃, K₂O ve MnO bileşikleri içerebilir. Bu nedenle cüruf, hem ağ oluşturan anyonları (SiO₄)⁻⁴, (AlO₄)⁻⁵ ve (MgO₄)⁻⁶ hem de ağ değiştiren katyonları Ca⁺², Mg⁺² ve Al⁺³ içerir [52].

Glukhovsky (1994) ve Krivenko (1994)'nin reaksiyonlar aracılığıyla silika ve kireç açısından zengin YFC gibi puzolanların alkali aktivasyonlarını ifade ettikleri ve tavsiye ettikleri model aşağıda belirtilmiştir [17,53].



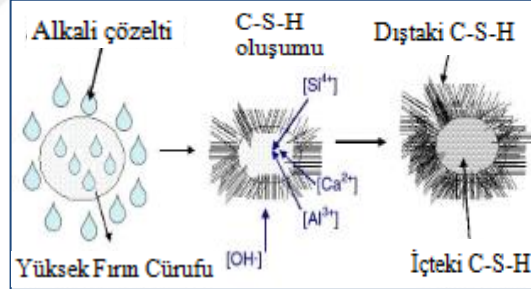
Alkali katyonu (R⁺), Ca⁺² iyonlarıyla katyonik değiştirme yöntemi ile hidratasyonun başlangıç evrelerinde yalnızca bir katalizör rolü oynamaktadır. solüsyondaki anyonların erken yaşlardaki reaksiyonlarda ve pastanın priz almasında görev aldığı bilinmektedir [14,38].

Camsı Ca-Si partikülleriyle zengin olan fazların çözünme prosesi alkali ile aktifleştirilmiş cürufun tepkime prosesine benzer şekilde dört safhada anlatılabilir. İlk olarak alkali solüsyon ve cürufun molekül yüzeyi arasında H⁺ iyonunun Ca²⁺ ve Na⁺ katyonlarıyla bir iyonik değişiminden ibarettir. Ca²⁺'nın ortamın dışında tutulması, Na⁺ iyonuna ve orijinal camsı yapıya zarar teşkil eder. İki değerliğe sahip

katyonun etkisi, katyon boyut değişimi nedeniyle daha çoktur. İkinci safhada Si-O-Al bağları hidrolize hale gelir. Sonraki tavırda depolimerizeye uğramış cam ağlar bozulur ve cürufun temel bağlarının çoğu (ör; Ca-O) bu aşamada kırılır. Bu süreç bütün camsı bağların kırılmasıyla ilerler. Son olarak da cüruf partikülünün yüzeyinin yakınında Si-Al levhası yoğunlaşır ve reaksiyon ürünleri meydana gelmeye başlar [54–56].

Çizelge 2.1. Çeşitli bağlayıcılarla oluşan birincil ve ikincil reaksiyon ürünleri [38].

Bağlayıcı türü		PÇ	Alkali çimento	
			(Na,K) ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O	(Na,K) ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -H ₂ O
Reaksiyon ürünü	Birincil	C-S-H	C-A-S-H	N-A-S-H
	İkincil	Ca(OH) ₂ Af _m AF _t	Hidrotalsit [Mg ₆ Al ₂ CO ₃ (OH) ₁₆ .4H ₂ O] C ₄ AH ₁₃ CASH ₈ C ₄ AcH ₁₁ C ₈ Ac ₂ H ₂₄	Zeolitler: Hidroksisodalit, Na-şabazit, zeolit P, zeolit Y ve faujasit
C=CaO, S=SiO ₂ , A=Al ₂ O ₃ , N=Na ₂ O, H=H ₂ O, c=CO ₂				



Şekil 2.4. Alkali ile aktive edilen bir cüruf partikülünde reaksiyon mekanizması [55].

Geleneksel PÇ hidratasyonu sonucuyla meydana gelen CSH jeli, malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli fazdır. Diğerleri ise, kalsiyum monosülfoalüminat, portlandit ve etrengit ürünleridir. Bu kimyasal vade, alkali çimentolardakine yakındır. Burada, reaksiyonlar sonucu kimyasal dokusu daha farklı olan, PÇ hamurundaki CSH jelindeki C/S oranından daha düşük bir orana (0.9-1.2) sahip olan, ana ürünü kuran bir C-A-S-H jeli ve ikincil ürünler ortaya çıkmaktadır. Bu fazların tipi ve bileşimi, karışımdaki malzeme türü ve miktarına, alkali aktivatör türü ve konsantrasyonuna, pH'a ve kür şartlarına bağlıdır. Örneğin; sodyum silikat (Na₂SiO₃) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile aktive edilen cüruf sonucunda ikincil

ürün olarak hidrotalsit ismiyle bilinen ($\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) fazı görülmüştür [52,57]. Ayrıca NaOH ile aktifleştirilen cürufta C_4AH_{13} tipi fazlar belirlenmiştir. Bunlar hemen hemen 1.5 mm çapında ve 0.2 mm kalınlığında bulunan levhacıklar ve trombositler ortaya koyar. Cürufun NaOH ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile alkali aktivasyonu ürünü ise $\text{C}_8\text{Ac}_2\text{H}_{24}$, $\text{C}_4\text{AcH}_{11}$ gibi karbonatlı fazların yaratıldığı gözlemlenmiştir [38,58]. Tüm bunların yanında alkali aktivasyon prosesi esnasında açığa çıkan ürünlerin kimyası ve doğası tartışmaya açıktır ve en çok araştırılmaya gerek duyan konulardandır.

2.1.3.2. Düşük Kalsiyumlu Alkali Aktivasyon Sistemi ($(\text{N},\text{K})_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$)

Metakaolin, kaolinit kilinin (CaCO_3) killerin saflığına ve kristalleşme derecesine bağlı olarak (650 ile 850) santigrat derece arasındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi sonucu oluşan puzolanik bir maddedir [20,41,45].

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 bağlıdır. Kural olarak, metakaolin partikülleri 5 mm'den küçük olmalı ve iç kil tane boyutu 20 nm olmalıdır [4,45,59,60].

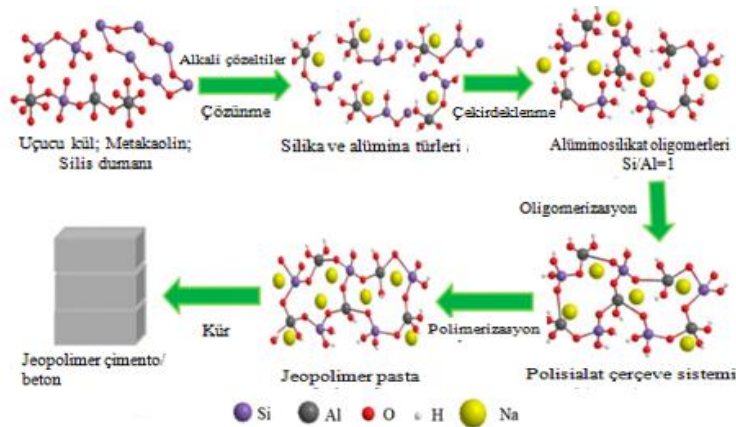
UK, termik stasyonlardaki kömürün yakılmasıyla elde edilir ve kimyasal bileşimi kömür tipi ve yakma prosesine göre farklılık gösterebilir. İçinde küçük boncuklar içerebilen veya içi boş boncuklardan meydana gelmiş morfolojiye hakimdir [61].

kuvars (%5-13), Mülit (%8-14), manyetit (%3-10) gibi birkaç vitröz fazdan ve düşük miktardaki kristal fazdan oluşmaktadır. Çok çeşitli UK araştıran Fernández-Jiménez ve Palomo (2003), alkali çimento yapımında kullanılması için bir F tipi uçucu külünün aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekli olduğunu söylemişlerdir [62];

- $[\text{CaO}] \leq \%10$;
- $[\text{SiO}_2]_{\text{reaktif}} > \%40$;
- $[\text{SiO}_2]_{\text{reaktif}} / [\text{Al}_2\text{O}_3]_{\text{reaktif}} > 1.5$
- $[\text{Fe}_2\text{O}_3] \leq \%10$;
- Yanmamış yüzdesi $< \%5$
- Vitröz faz içeriği $> \%50$
- 80-90 (%) partiküller $< 45 \text{ mm}$

Alümina silikat esaslı malzemelerin alkali aktivasyonu alanındaki araştırmaların daha az olmasının sebebi, cüruf alkali aktivasyonu neticesi gelişmeye devam eden bir araştırma dalı olduğundandır. Puzolanik niteliğe sahip malzemelerin alkali aktivasyonu ile ilgili genel bir proses tavsiye eden Glukhovsky (1994), bu prosesi üç adımda belirtmiştir [17]: 1) Tahribat-koagülasyon (topaklaşma), 2) Koagülasyon-yoğunlaşma ve 3) Yoğunlaşma-kristalleşme.

Yalnız en modern modele göre şekle 2.6. , 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.[17,40,44]



Şekil 2.5. Alümina silikat esaslı malzemelerin polimerizasyon süreci [55,63].

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. [63]

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 $Mn-SiO_2 - AlO_2 \cdot H_2O$ olarak bilinen amorf bir alkalın 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 [60,64].

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 [23,38].

2.2. ALKALİ AKTİVE MALZEME BİLEŞENLERİ

2.2.1. Puzolanik Malzemeler

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 [60,66,67].

2.2.1.1. Doğal Pozolanlar

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 [67,68]. Bugün alkalın aktif malzemeler üretmek için kullanılanlar genellikle tüfler, tras ve 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, daha sonra gerekirse öğütülmüştür [69]. 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 [76].

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 zeolitlenmesinin nedeni havanın malzeme üzerindeki etkisidir. Bu nedenle kimyasal ve fiziksel özelliklerin oluşumunda rol oynar. Zeolit oluşumları yaygınlaşır, bu da TÜFE endüstriyel değeri verir [70].

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 [71].

Bu çalışmada ise silisçe zengin bir zeolitik tuf olan Bayburt Taşından (BT) yararlanılmıştır. BT'nin ana bileşen Tekin (2016) tarafından %68.9 SiO_2 , %12 Al_2O_3 , %3.85 CaO , %0.34 Fe_2O_3 şeklinde bulunmuştur. Diğer bileşenler SO_3 ,

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 [56].

Tras esas olarak silika ve alümenyum oksitten oluşur ve az miktarda kireç içerir. tras 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.[37,56].

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⁺, M²⁺) O.AL₂O₃.9SiO₂.NH₂O formundadır. [77].

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 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 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 zeolitin deniz ve göllerdeki tüflerde de bulunması bilgisindendir [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 kilinin 600-800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda kalsine edilerek üretildi, amorf yapıya ve yüksek puzolanik özelliğe sahip olan beyaz renkli alüminosilikatlı bir malzemedir. Kil mineralleri 100-200 °C'lerde adsorbe suyunu kaybeder. Kaolin kilinin 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 bozulur. 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 SiO_2 ve %20-35 Al_2O_3 içermekle birlikte düşük oranlarda Fe_2O_3 ve TiO_2 (<%1) ve Na_2O , K_2O alkali oksitlerini bulundurur. Kaolinitin ısıtılmasıyla, metakaolinin yanı sıra illit veya kuvars gibi kristal bileşikler de oluşabilir [20,77].

2.2.1.2. Yapay Puzolanlar

yapay puzolanların en önemli örnekleri : (YFC), (UK) ve silis dumanı olarak söylenebilmektedir.

2.2.1.3 Mangan Dioksit (MnO_2)

Mangan (Manganez); Mn simgeli, 25 atom numarasına sahiptir, periyodik cetveldeki yeri 7-B ve grimsi metal renginde olan önemli bir metaldir. Doğada yapısal olarak inorganik halde bulunan Mn, pirolusit adı verilen MnO_2 ve siyah renkte bulunan minareli ile en önemli yapısını oluşturmaktadır, ayrıca manganın büyük miktarda karbon atomları içerdiği için %1 oranında demire katılıp çekme dayanımında olumlu katkıda bulunmaktadır [78]. MnO_2 kullanım tarihi yaklaşık olarak 17.000 sene öncesine dayanır. Yararlanılan Tarih kaynaklarına göre Taş Devrin’de insanoğlunun mağara çeperlerine çizmiş olduğu resimlere renk vermek amacıyla kullandığı gözlemlenmiştir. Antik Yunan dönemine bakıldığında ise çelik üretiminde kullanılmış olduğu bilinmiştir. benzer halde Mısırlı ve Romalılar bariz oldukları dönemlerde de cam imalatında renk kazandırmak amacıyla mangan dioksit kullanılmış olduğu belirlenmiştir. Yakın günlerde bakıldığında 18. asırda mangan malzemesinin kullanımında yükseliş sergilemektedir. 1868 senesinde Georges Leclanché adlı bilim adamı, mangan dioksit kullanmak suretiyle kuru pili üretti. yalnızca pil sanayisi bu günlerde en çok mangan tüketiminde bulunan sektörlerin birinci sırasında bulunmaktadır.

Manganez dioksitin kimyasal üretimleri türlü türlü yollar izleyerek sağlanmaktadır. birinci proses, doğada bulunan mangan dioksit ile başlayıp onu dinitrojen tetroksit ve su kullanarak bir manganez (II) nitrat çözeltisine dönüştürür. Suyun buharlaşması, kristalli nitrat tuzunun salınmasına yol açar. $400^{\circ}C$ 'ye kadar olan sıcaklıklarda tuz ayrışır, nitroz oksit açığa çıkarır ve saflaştırılmış manganez dioksit kalıntısı bırakır. İkinci yöntem ise, manganez dioksit, sülfürik asit içinde çözünen manganez (II) okside karotermik olarak indirgenir. Arıtılmış çözelti, $MnCO_3$ 'ü çöktürmek için amonyum karbonat ile işlenir. Karbonat, manganez (II) ve manganez (IV) oksitlerin

bir karışımını elde etmek için havada kalsine edilir. İşlemi tamamlamak için bu maddenin sülfürik asit içindeki bir süspansiyonu sodyum klorat ile işlenir. Yerinde oluşan klorik asit, Mn (III) ve Mn (II)'nin tüm oksitlerini dioksite dönüştürür ve yan ürün olarak kloru serbest bırakır. Mangan dioksit tarım, boya, seramik, cam, kuru pil ve kimya sektörlerinde kullanılmaktadır.

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 (M_2CO_3 , M_2SO_3 , M_3PO_4 , MF), silikatlar ($M_2O + nSiO_3$), alüminatlar ($M_2O + nAl_2O_3$), alüminosilikatlar ($M_2O + Al_2O_3 + (26)SiO_2$) ve silikatsız güçlü asit tuzları (M_2SO_4) şeklinde altı gruba ayrılırlar [15,20].

NaOH, Na_2CO_3 , $Na_2O.nSiO_2$ ve Na_2SO_4 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. 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 [3,52].

Alkali aktivatörleri olarak reaksiyonlarda en yaygın olarak kullanılanlar, sodyum hidroksit veya potasyum hidroksitin sodyum silikat veya potasyum silikat ile karıştırılması sonucu oluşan aktivatörlerdir. 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 Na_2SiO_3 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 [23,37,52].

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 [69]. 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 arttırılması kötü bir etkiye sahiptir. Bu, malzemenin hızla sertleşmesini sağlar, ancak işlenebilirliği önemli ölçüde azaltır. Sonraki adımlarda, bağlayıcının gücünü azaltır [79,80].

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 [13,39].

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 [57].

Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH)₂): Kalsiyum karbonat içerikli kalkerlerin hemen hemen 900-1000 °C sıcaklıkta kalsinasyonu ile sönmemiş kireç (CaO) elde edilir. Kalsiyum hidroksit, sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucu meydana gelir. Kireç, milattan evvel asırlardan beri bilinen ve çok kullanışlı bir maddedir. Günümüzde de sanayi, tarım ve çevre alanlarında dayet fazla bir şekilde istihdam etmektedir. Bu da üretim gelişmesinin daha da ilerlemesiyle beraber kireç üretim stasyonlarının geniş alana yayınlığı ve maliyetinin başka bağlayıcılara nazaran daha düşük olmasına yararmaktadır [20].

2.3. ALKALİ AKTİVE MALZEMELERDE LİF KULLANIMI

Eski zamanlarde kullanılması yanında günümüzde inşaat alanında ehemmiyetli bir rol oynayan ve birçok türü bulunanvar olan elyaflar, eski tarihte de hayvan kılı, saman vb. olarak istihdam etmişlerdi [80]. Çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle kırılğan (gevrek) bir davranış gösteren yapısal betonlara sürekli veya kısa liflerin güçlendirmesi, betonda çatlak ve rötire oluşumunu, ilerlemesini ve birleşimini engellemektedir [81–83]. Bunun sebebi, dağınık bir şekilde dağılan elyafların gerilme enerjisi geçişi yeteneğidir. Çatlaklar üzerinde köprü görevi yapan elyaflar, matriste meydana gelen gerilmenin bir bölümü kendileri üstlenir ve diğere bölümünü da çimento matrisi alanlarına ulaştırırlar. Gerilme-şekil değıştirme grafiğini incelendiğinde, birinci çatlak oluşumundan sonra elaf takviyeli betonun yük almaya devam ettiğı hatta eğilme mukavemetinin arttığı tespit edilirken, normal beton doğrudan kırılacaktır [84,85]. Matrisi destekleyen bu elyaflar, çekme-eğilme dayanımları, aşınma-darbe dayanımları, tokluk gibi mühendislik özelliklerini olumlu yönde geliştirir. Büzölme veya genleşme davranışlarında da olumlu yönde tesir edicidirler. sunduğı faydalar nedeniyle malzemenin dayanıklılığını ve direncini üst seviyelere taşıyarak şklimsel etkilere karşı daha durabiliteli hale getirirler. Bu amaçla hedefle kullanılan elyaf türleri genellikle sentetik, karbon (KL), çelik(ÇL), ahşap, cam ve doğal elyaflardır [85].

Lifli bağlayıcıların yapısal özelliklerini etkileyen parametreler arasında narinlik oranı (lif uzunluğu/lif çapı) ile lif oranı (miktarı) önemli rol oynar. Lif içeriğinde veya narinliğin oranında artış olması takdirde mekanik performansı artırsa da dökümün

karıştırması, yerleştirmesi ve sıkıştırması esnasında problemlere karşı karşıya gelebilmektedir. Bu nedenle, bu değerlerin uygun düzeylerde bulundurulması gerekir. başka yandan, karışımdaki bulunan lif dağılımı homojen olmasına özen gösterilir [84,86].

Çizelge 2.2. Çeşitli liflerin sahip olduğu özellikler [84,87].

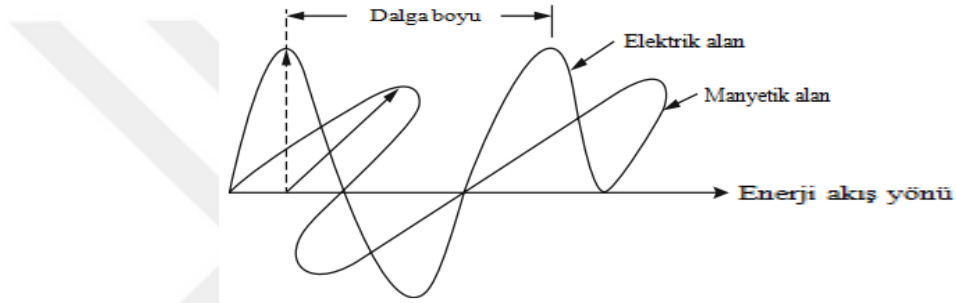
Lif Tipi	Çekme Dayanımı (ksi*)	Young Modülü (10 ³ ksi*)	Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	30-60	0.3	25-45	1.1
Rayon (Suni ipek)	60-90	1.0	10-25	1.5
Pamuk	60-100	0.7	3-10	1.5
Polietilen	~100	0.02-0.06	~10	0.95
Taş Yünü	70-110	10-17	~0.6	2.7
Polipropilen(PP)	80-110	0.5	~25	0.9
Naylon	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester	105-125	1.2	11-13	1.4
Asbest	80-140	12-20	~0.6	3.2
PVA	125-230	3.5-6	6-10	1.3
Çelik (ÇL)	40-400	29	0.5-35	7.8
Cam (CL)	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 [86]. Ayrıca, lifler elektromanyetik dalgaların absorplanması ya da yansıtılmasında görev alarak oluşabilecek tehlikeleri önlemede yardımcı olabilir. 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 [82].

2.4. ELEKTROMANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Atomları, maddeyi hatta Dünya'yı bir arada sıkça tutan, doğanın dört ana kuvvetlerinden biri olan elektromanyetizma, elektrik yüklü parçacıkların etkileşime

girmesini inceleyen alandır. Manyetik ve elektriksel alan fizikte bir bütün olarak ele alınıp araştırılır. Atomlar elektron (e^-) geçiş vasıtası ile pozitif (+) ya da negatif (-) yük alabilir. Bunun neticesinde bir elektriksel alan (E) oluşumuna sebep olur. Parçacıklar belli bir Elektrik yükü sahip olduktan sonra harekete geçerse bu alan elektrik akışına dönmüş olur ve parçacıkların çevresinde bir manyetik alan (B) ortaya çıkar [88]. Özet olarak, elektrik alan elektrik yüklerinin birbirini üzerindeki çekme-itme tesiri neticesi, manyetik alan ise elektrik yüklerinin hareketi veya titreşimi nedeniyle oluşan elektrik akıntısı sonucu kurulur [89]. Yalnız manyetik ve elektrik alanlarının bir araya gelmesiyle Elektromanyetik alan oluşur.



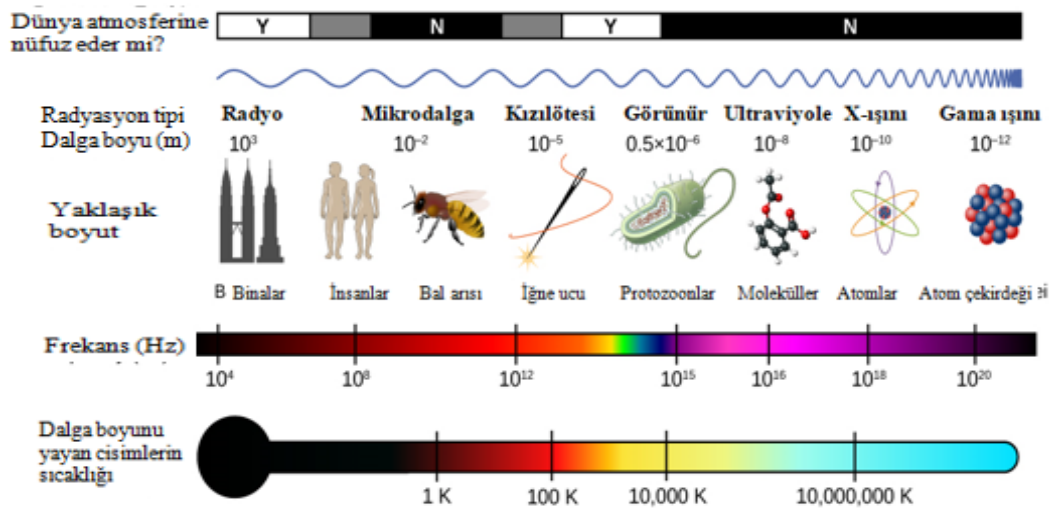
Şekil 2.6. Elektrik ve manyetik alan etkileşimi [90].

İdeal şartlar altında etkileşime giren manyetik ve elektrik alanlar birbirini devamlı bir şekilde üretirler ve devam edilebilir. Bu, yer yüzünde her mekana ve uzaya elektromanyetik enerji dalgaları ya da ışıyım (parçacık halinde veya enerjinin dalga aktarımı) yayılmış olan bir elektromanyetik alan meydana gelir. Örnek olarak, dünyanın çekirdeğinde yerleşen ve titreşim halinde olan likit (viskos sıvı) metallerin ürettiği elektriksel akışlar neticesinde meydana gelen manyetik alan dünyayı içine alır ve buna bağlı olarak dünyayı iki kutuplu bir mıknatıs yapar. Yalnız oluşan bu tabakalar yaratılanları güneşten enerjisinden kaynaklanan UV (mor ötesi) ışınlarından koruma sağlayan koruyucu bir katman ortaya koyar [91].

Bilim insanları bir yük ya da akış kullanmadan B ve E oluşumunun yöntemlerini sorgulayıp araştırmışlar. Bir bölgede zamanla değişiklik gösteren E var ise akıma gerek duyulmadan B'nin, zamanla değişiklik gösteren B varsa da yüke gerek olmadan E'nin oluştuğunu görmüşler. Bu neden ile Maxwell dalga üretebilen zincirleme bir tepkime meydana getirmiş, yük ve akımdan ilişlisiz olarak

elektromanyetik dalgaların bulunduğunu belirtmiştir. Gauss Yasasının matematiksel bir ifadesi olan Maxwell denklemleri olarak bilinen dört ana denklemle de elektrik alanın manyetik alana dönüşebileceğini açıklar. Belli bir zaman diliminden sonra da bu dalgaların bulunması doğrulanmış, radyo dalgaları Heinrich Rudolf Hertz tarafından icad edilmiştir [92].

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 [93].

2.4.1. Elektromanyetik Dalgaların Oluşturduğu Etkiler

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 [28,93]. 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 34 iyonlaşmaya neden olan, yüksek enerjili, kütesiz 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 [88].

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 [94]. 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 [27,95]. 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[96].

2.4.2. Elektromanyetik Dalgaların Maddeyle Etkileşimi

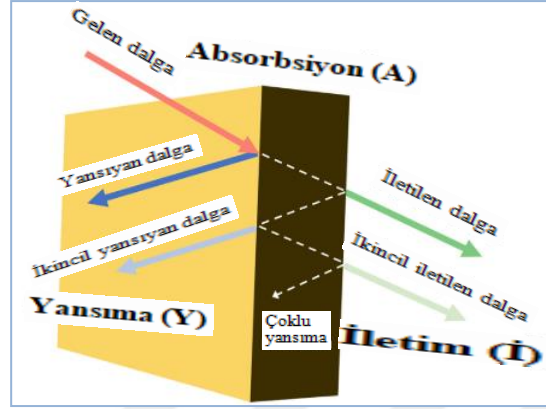
Bir yandan malzemenin yoğunluğu ve kalınlığı diğer yandan dalgaın boyu, türü ve derinliği, ayrıca ortam koşulları da Dalgaın Maddeyle Etkileşiminde esas belirten factördürler [98].

Düşük frekanslı radyo dalgaları yuvalarımızdaki bölme duvarlarından hatta yanımızdaki insanlardan kolayca geçebilir. Mikrodalga, kızılötesi ve görünür ışığa direkt ilerledikçe, dalgalar malzemelerce daha çok absorbe edilir. Düşük UV aralığında, güneşin tüm UV ışınları cildimiz tarafından emilebilir. X-ışınları ve 35 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 [99]. Genel olarak malzeme ve EMD arasındaki etkileşim; Yansıma, soğurma ve iletme olarak üç şekilde oluşur[100].

2.4.3. Elektromanyetik 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 [101,102]. 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[103].



Şekil 2.8. Malzeme-EMD etkileşimine dayalı ekranlama etkinliği mekanizması [104].

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) [103,105]. 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 [106].

$$SE_T = SE_Y + SE_A + SE_C \quad (2.1)$$

Burada, SET 15 dB'den büyükse, SEM 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[107,108].

$$SE_T = 10 \log \frac{P_I}{P_T} = 20 \log \frac{E_I}{E_T} = 20 \log \frac{H_I}{H_T} \quad (2.2)$$

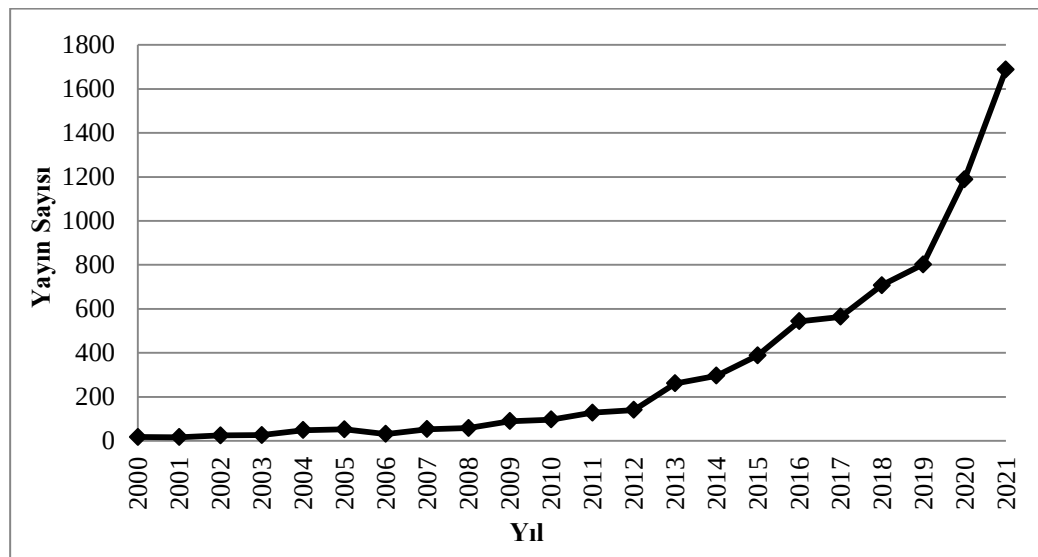
Ortalama değer olarak 30 dB SE kabul edilmiştir. Genel olarak, çoğu problem 40 dB SE değeri ile çözülebilir. Askeri sistemlerde bu değer 100-120 dB arasında olabilir.

Spesifikasyondaki telefon kabloları için istenen değerler yaklaşık 80-90 dB'dir. Koruma amaçlı kullanılan malzemeler üç gruba ayrılır [109];

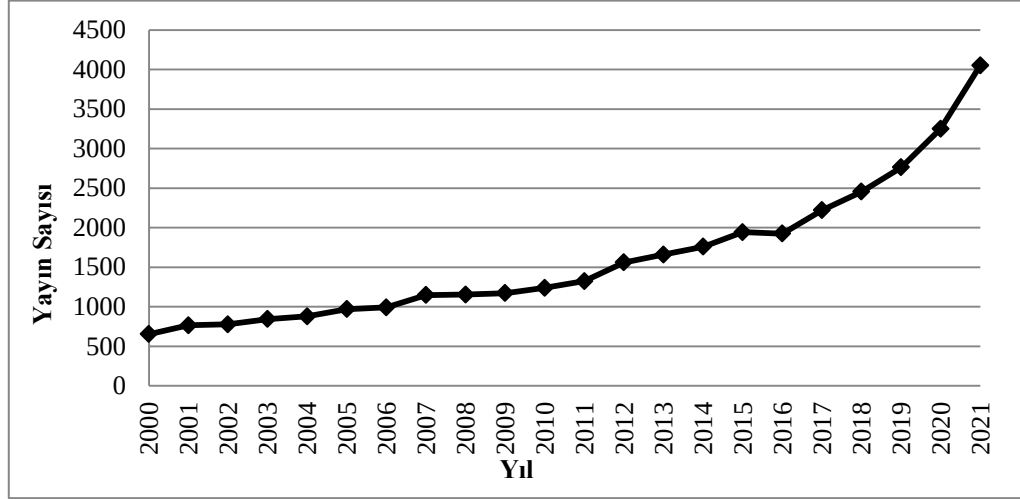
- a) *performansı Yüksek malzemeler*: Çelik, bakır ve paslanmayan çelik gibi malzeme türlerinden üretilmiş ve tümüyle metal kaplı kutu (80-120 dB korutucu etkiliği)
- b) *performansı Standart malzemeler*: Metal parçacıklı plastikler veya iletken metal tabakalar (20-40 dB korutucu etkiliği)
- c) *performansı Zayıf malzemeler*: Metalize kumaş yapı ve iletken polimer türü malzemeler, (15-30 dB korutucu etkiliği)

2.5. 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 % 1.22 beton , % 0.07 geopolimer malzemeler ve % 0.72'si doğal puzolanlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Aşağıdaki bölümde ayrıntıları sunulan çalışma bilgiler konuya yakın araştırmalardan seçilmiş olup, bu çalışmalardan elde edilen bilgilere göre çalışma planlaması ve değerlendirmeleri yapılmıştır.



Şekil 2.9. 2000 yılından günümüze kadar yayınlanmış geopolimer çalışmalarının yıllara göre istatistiği [110].



Şekil 2.10. 2000 yılından günümüze kadar yayınlanmış elektromanyetik kalkanlama çalışmalarının yıllara göre istatistiği [111].

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, kılcal su emme, su emme, birim ağırlık, aşınma dayanıklılığı, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklığın etkileri test edilmiş. yalnız örnek 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 olarak %25-45 olan jeopolimer kompozit macunların su direncinin genellikle zayıf olduğu bulunmuştur [44].

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 (kivam) 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 (65oC ve 85oC) 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 [139]

Yadollahi vd (2016) yılında yaptıkları bir çalışmada bulduklarına göre, 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 mukavemetlerinin iyi derecede yüksek olduğunu ve yapısal bir malzeme olarak kullanılabileceğini açıklamıştır [140].

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 karbondioksit nedeniyle, daha az

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 adımdır [141].

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 geopolimer teknolojisi ile üretilen geopolimer 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 [142].

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 elemanı üretmeye çalışmış. Farklı oran ve sıcaklıklardaki tuğlaların pişirme sıcaklığı ile fiziki özellikleri arasındaki bağlantı araştırılmıştır. Pişirme sıcaklığına bağlı olarak tuğlalarda mukavemet, su emme ve pişme kaybının arttığı gözlemlenmiştir. 900 °C ve üzeri sıcaklık derecelerinde pişirilmiş tuğlaların TSE EN 771 tuğlalarının fiziksel özelliklerine yakın olduğu görülmektedir. 1000 °C ve üzeri, 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 [143]

Şengün (2016), çalışmasında etriyesiz betonarme kirişlerin karbon lif takviyeli polimer (CFRP) ile takviye etme nedeniyle dayanımlarında oluşan değişimler irdelenmiştir. 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 hedefi ile, üç adet hasar görmeyen ve iki adet hasar gören 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 [144].

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 60 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 [145]

Girgin'in (2016) tarafından yapılmış olduğu çalışmalarda UK (uçucu kül) ve metakaolin NaOH ve Sodyum silikatla aktifleştirilmiş, değişik süre ve sıcaklıklarda kür yapılmış, sonrasında hamur numunelerinin basınç mukavemetleri test edilmiştir ve örnekler 24 saat süreyle su havuzunda bekletilmiştir. birim hacim ağırlığı, Su emme, yoğunluk ve porozite değerleri belirlenen numunelerde kür sürecinin uzamasıyla su emme ve porozite değerlerinde azalma, yoğunluk değerlerinde artma görülmüştür [59].

Tekin (2016), AAM (Alkali aktivatör) olarak 1 M, 5 M ve 10 M NaOH ile hem doğal hem de atık bulunan puzolan, mermer (MT) ve traverten kullanma sureti ile geopolimer kompozisyonlar pastaları hazırlanmıştır. örneklere kütleme uygulaması etüvde 20 °C, 45 °C ve 75 °C sıcaklık derecelerde 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. ardından pastalara iki farklı ıslak ve kuru ortamlara maruz kalınmıştır. dayanım deneyleri 2, 3, 7, 28 ve 90. kür süreçlerinde uygulanmıştır. Örnek numunelerin basma mukavemetlerinin ıslak ortam maruziyeti sonucunda zamana ilişkin olarak düştüğü, kuru şartlarda ise kür süresiyle yükseldiği görülmüştür. Örneklerin yaş şartlarında basınç mukavemetleri zamanla ilişkili olarak düşmüş, kuru şartlarda ise kür süresci ile yükselmiştir. maksimum basma dayanımımukavemeti 90 günde,

10Mol konsantrasyona sahip, kuru halde herhangi bir ısı işlemi olmadan (20°C) kür gören pastada 46 MPa olarak bulunmuştur [68].

Sikora vd. (2016), nano-Fe₃O₄'ü ağırlık olarak %1 ile %5 oranlarında çimento ikamesiyle manyetit mikroyapı ve mekanik üzerinde yaptığı tesiri araştırılmıştır. Bu nano-partikülün toplam gözenekliliğinin oranını düşüren, mikroyapısal nitelikleri olumlu etkileyen ve böylelikle kompozite ait yoğunluk artışa uğramış olup da bir dolgu rolü aldığı belirlenmiştir. Fe₃O₄'ün ideal katkısı % 3 oranında saptanmıştır, bu şekilde üretilmiş olan örnek numunelerin basma mukavemetlerinde %20 oranına varan yükseliş bulunmuştur. Nanomagnetin bulunmasının, çimento hidrate olma oranını ve esas hidrate olma ürün bileşenlerini etki etmediği saptanmıştır. ideal limidin %3 geçmesi takdirinde pozitif tesir eden nötrale olduğu, yüzeyindeki enerjisi yüksek olmasından nedeniyle rötre mve çatlama oluşumu, aglomerasyon eğilimi ve bu parametrelere ilişkili olarak dayanım tahrib olması görülmüştür [112].

Ekinci (2017), araştırmasında farklı iki seri şeklinde hazırladığı geopolimer betonda volkanik tüf kullanmış, serileri ilk seri silis modülü 0.8 ve 0.6, ikinci seri 10, 12, 14 ve 16 M NaOH tabanında yapmıştır. dökümde değişken alkali ç/b ve dökümün neticesi değişik ısı kür uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İki grupta da maksimum basma mukavemetine hakim betonlara belli ikamelerde nano-silika, mikro-silika ve stiren-bütadien lateklers ilavelerinin tesirini incelenmiştir. bulgulara göre; geopolimer hamur, harç ve beton üretiminde tüfün eklenebileceği söylenmiştir. başka yandan, NaOH ile aktifleştirilen geopolimer betonların basınç mukavemetlerinin, silis kullanılarak aktifleştirilenlerinkine nazaran daha fazla olması bulunmuştur, SEM analizleri ve su absorblama testleri bulgularına göre ise sıkı bir yapı sağlamakta mikro-silisin tesirli olduğu gözlemlenmiştir [46].

Farhan vd. (2018), farklı türdeki çelik elyafların (deforme makro, düz mikro ve hibrit çelik lif), ortam şartlarıyla kür işlemi gören, (AAC)-UK Geopolimer örnek numunelerinin mühendislik özelliklerine tesirini incelemişlerdir. numunelerde liflerin ilave oranının artması ile işlenebilirliğin azaldığı; eğilme, basınç ve yarmada çekme mukavemetlerinin ise arttığı saptanmıştır. elyaf takviyesiyle sünekliği artırılmış bir

yapı imal etmiştir. elyafların üç türünün de hacim olarak %2 ilavesi, mekanik performansını iyileştirmesine sebep olmuş, en olumlu ilerleme ise hibrit çelik elyaf (1 düz mikro çelik elyaf + 1 deforme makro çelik elyaf) geopolimer numunede bulunduğu olunmuştur [116].

Najm (2018) değişken derişimlerdeki sodyum hidroksit (NaOH) ve farklı elyaf tipleri (çelik ve PP elyaf) bulunduran UK/C tabanlı geopolimer betonların davranışını irdelemeyi hedeflenmiştir. Solüsyonda NaOH ve Na₂SiO₃ aktivatörleri varlığıyla birlikte SS (Sodyum Silikat) /NaOH 2.5'te sabit tutulmuştur. Çalışma bulgusunda, çelik ve PP elyaf güçlendirmesinin betonda gevrekliğini önlediği söylenerek elyaf ilavelerinin betonda yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, gerilme şekil değiştirme grafiğindeki bulunan sapsmış yük eğrisi altındaki bulunan kırılma ve alansal enerji seviyesinde yüksek artmaya sebep olması belirlenmiştir. Buna ziyade, lif güçlendirmeli beton dökümlerde çeşitli konsantrasyonlardaki NaOH bileşeninin davranışa tesirinin ehemmiyeti az olduğu saptanmıştır [117].

Şinik'in (2019) UK hammadde şeklinde kullanmış olduğu,aktivasyon olarak NaOH ve Sodyum Silikat ile kullandığı araştırmada jeopolimer beton numuneleri ısıl kür işlemi için üç değişken süreçte (5, 8 ve 24 saat) ve üç farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) kürleme prosesi yapılmıştır. Sıcaklık artmasıyla birlikte geopolimerizasyon prosesinin fazlalaştığı, buna ilişkin olarak yapıdaki boşlukların oranı düştüğü ve su absorblama - porozite sonuçlarında de düşüş olduğu görülmüştür. Donma-çözünme etkisini gören numunelerde kür sıcaklığı 70 °C olan numunelerin ağırlık kayıplarının 50 °C'de kür görenlere göre daha az olduğu söylenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde ise 70 °C'de kür görenlerde mukavemet kaybı bulunduğı, diğerlerinde bariz bir azalış olmadığı vurgulanmıştır. MgSO₄ ve NaSO₄ solüsyonlarına (sülfat etkisi) maruz kalan numunelerin MgSO₄ etkisinde daha çok ufalandığı saptanmıştır [6].

Arslan (2019), polivinil alkol ve bazaltlı elyaf ilave, metakaolin (MK) ve kolemanit bağlayıcı malzemelerinin alkali aktivatörlerle aktifleşmesini saşlamıştır. örneklere ıslanma-kuruma ve ısı kürleme olmak üzere iki değişik kürleme işlemi yapmıştır. sıcaklığın Yüksek etkisi (200, 400 ve 600 °C) neticesi mukavemetlerin öngörülenden yüksek olması bulunmuştur. örneklerin rijit bünyesini savunduğı ve Si-O-Al bağ

elemanlarının ıslanma-kuruma kürleme yapımış örneklerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Yalnız, elyaf miktarındaki artmanın mukavemete pozitif ilavesini olmasını açıklanmıştır [15].

Eltundal (2019), hammadde olarak UK ve YFG kullandığı çalışmasında bu alümina silikat kaynaklarını karışıma tekil ya da kütlece oranları 1 olacak şekilde eklemiş, aktivat rce de NaOH ve SS'i kullanarak üç farklı geopolimer beton üretmiştir. K r koşullarının etkisi ve üretilen numunelerin %5 sülfürik asit etkisindeki performansları değerlendirilmiştir. Sonuçta UK'l  betonların ısı k r ne ihtiyaç duyduğu, cüruflu betonların ise buna ihtiyaç duymadığı gözlemlenmiştir. %50 UK-%50 YFC içeren betonların performansının diğerlerinden daha iyi olduğu, 90 gün asite maruz bırakılan betonlarda en yüksek dayanımın yine bu betonda g r ld ğu belirtilmiştir. Yüzeyde en fazla bozulma ve en fazla ağırlık kaybına tekil UK'lı betonlarda rastlanılmıştır [1].

Dirikolu (2019), Bayburt ilinde bulunan farklı özelliklere sahip  ğ t lme işlemine uğramış t fitleri $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ ve $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ aktivatör malzemeleriyle belli oranlarda harmanlayarak AAM hamuru hazırlanmıştır. Buna ek olarak, döküme belirli ilave oranlarında öğütülmüş mermer tyozu (MT) de ilave edilmiştir. Sert durumunda bulunmuş hamur dökümler üzerine 2, 28 ve 90 gün günleri referans alınarak basınç mukavemetleri ve su absorblama (su emme) testleri yapılmıştır. Bir kaç hamur numunelerinde basma mukavemetlerinin 28 g n den sonra d şt ğu bulunmuştur, hamurların çoğunda sonuçların 10 MPa – 38 MPa aralarında değiştiklik gösterdiği görülmüştür. 90. günün nihayetinde $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ aktivatör ile aktive edilmiş hamurlarda maksimum mukavemet 37,8 MPa olarak %100 bayburt yeşil tüfü ile hazırlanmış hamur örneklerinde, $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ aktivat r yle üretilmiş olan hamur dökümlerde ise bu sonuç 19,7 MPa olarak % 100 bayburt beyaz t f yle hazırlanmış hamur örneklerde gözlemlenmiştir. sonuçlara nazaran; $\text{NaOH} / \text{Na}_2\text{SiO}_3$ oranı,  /T oranı, solüsyonun ısısı ve NaOH mol olarak derişimi test bulgularındaki tesirlerinin ehemmiyetli olması saptanmıştır [20].

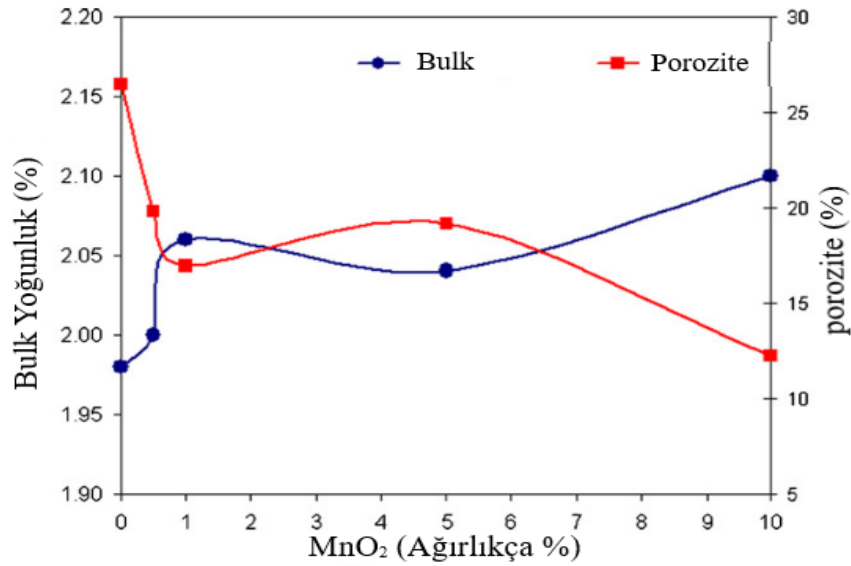
şahin ve Tekin (2020), Bayburt bölgesinde bulunan ve özel olarak yapı kaplaması hedefiyle kullanılmışolan zeolitik t fiklerin  imento ikameli malzeme şeklinde

istihdam edilebilirliğini incelemişler. Bu kapsamda, BBT olarak tanımlanan zeolit tüfler öğütölme sonrasında çimento yerine %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 oranlarında eklenmiştir. Meydana gelen farklı tür çimentolar kullanılarak hazırlanan taze çimento hamurları üzerinde priz testi, kıvam ve hacim sabitliği deneyleri uygulanmıştır, sert halde bulunmuş çimento pastaları üzerinde ise basınç ve eğilme mukavemet deneyleri yapılmıştır. bulgulara göre, BBT çimento yerine %30'a kadar eklenebileceği söylenmiştir. Erken mukavemetlerde belirgin azalmalar meydana gelmemiş, uzun vadeli (270. günü) mukavemetlerin ise puzolanik aktivite sayesinde artış gördüğü gözlemlenmiştir. Çimento pastalarında taze haldeki %30'a kadar çıkan işlenebilme azalışının uzun avdede mekanik dayanımlara negatif etkisi görülmemiştir [119].

Wanasinghe vd. (2020), çimento esaslı kombozisyona elektromanyetik zırhlama niteliği sağlamak amacıyla 3,6 ve 12 mm boyutunda bulundurulmuş karbon lif (KL) ilave edilmiş, ikame oranlarını %0,1, %0,3, %0,5 ve %0,7 şeklinde açıklamıştır. Uygulanmış olan testler bulgularına göre, karışımlara karbon fiberlerin ilavesi neticesi elektrik iletkenliği, eğilme ve elektromanyetik parazit koruma sonuçlarında kayda değer bir gelişmenin olması bulunmuştur. elektriksel iletkenliğe en fazla Ağırlık oranı %0,7 ve uzunluğu 12 mm ulunan (KL)'li kompozite ait olması, tekrar aynı örneğin 300 MHz ile 1,5 GHz frekans aralığında hemen hemen 40-60 dB ile en iyi performanslı elektromanyetik zırhlamayı sunduğu vurgulanmıştır [106].

Özen (2021), BBT esaslı geopolimerlerin PÇ yerine kullanabilme potansiyellerini araştırmıştır. araştırmada alkali aktivatör olarak (NaOH) ve (Na₂SiO₃) istihdam etmiştir. Kürleme sıcaklık derecesi ve sürecinin tesirini izlemek için 40 °C - 90 °C sıcaklık dereceleri; 7, 28, 56 ve 90. günleri için saptanmıştır. 40 °C'de kürlme gören geopolimerin (90. günlük) 30 MPa ile en yüksek basma mukavemeti değerini sunduğu bulunmuştur. Yüksek erken basınç mukavemeti için yüksek sıcaklıklarda ısıtılma prosesi, yüksek nihai basınç mukavemeti için ise alçak sıcaklık derecelerde ısıtılma prosesi tavsiye edilmektedir. Buna ek olarak, feldispatın üretilmiş olan geopolimerlerin mukavemeti üzerinde ana tesirli mineral olması, buna ek olarak hammaddenin fiziksel niteliklerine kuvars minerallerinin etkilemesi bunun için geopolimerizasyon prozesinde olumlu tesir meydana getirdiği saptanmıştır [70].

Sabar D. Hutagalung (2011) tarafından hazırlanan çimento esaslı ve ağırlıkça %0, %1, %0,5, %1, %5, %10 oranlarda MnO_2 katkılı seramik kaplamalar EMF özelliklerini incelenmesinin sonucunda MnO_2 katkısı arttıkça EMF performansı olumlu yönde geliştiğini görülmüştür. Ayrıca %10 MnO_2 katkılı referans numunesine göre hem yoğunluk hem de porozite sonuçlarında 2.12 görselinde görüldüğü gibi olumlu gelişmeler göstermektedir [121]



Şekil 2.11.. MnO_2 katkılı kaplamalarındaki Bulk ve Porozite gelişimi [121]

Mingtao Qiao (2016) tarafından Hafif özellikli gözenekli çekirdek kabuk $Fe_3O_4@MnO_2$ kompozit mikroküreler için kolay sentez ve gelişmiş elektromanyetik mikrodalga absorpsiyon performansını incelemesinin sonucunda Mikrodalga soğurma özelliklerinin araştırmaları, yükleme %10 ağırlık grubuna sahip $Fe_3O_4@MnO_2$ kompozit mikrokürelerin, 4.0 mm eşleşen kalınlıkta -42.6 dB (5.7 GHz) en güçlü RL tepe noktasına ve %20 ağırlık fraksiyonuna sahip $Fe_3O_4@MnO_2$ kompozit mikrokürelere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. 1.5 mm eşleşen kalınlıkta daha geniş bir emici bant genişliğine (10.2-15.0 GHz ve 15.5-17.3 GHz) sahiptir. Yoğun absorpsiyon, geniş etkili absorbe edici bant genişliği bandı ve içsel hafiflik özelliğinin avantajlarını elde eden gözenekli çekirdek-kabuk $Fe_3O_4@MnO_2$ kompozit mikrokürelerin mikrodalga absorpsiyon uygulamasında daha umut verici olduğuna belirtilmektedir [122].

Tejendra K. Gupta (2014) Üstün geçirgenlik ve mükemmel mikrodalga koruma özelliklerine sahip MnO₂ ile süslenmiş grafen nanoşeritler çalışma kapsamında Kimyasal olarak sentezlenmiş MnO₂ ile süslenmiş grafen nanoşeritlerin (GNR'ler) mikrodalga koruma özellikleri ilk kez rapor edilmiştir. GNR'ler üzerindeki MnO₂ dekorasyonunun doğası, taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınımı, Raman spektroskopisi ve yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak araştırılmıştır. Bu malzemenin elektromanyetik girişim (EMI) koruma etkinliği mikrodalga bölgesinde (Ku-bandı, 12.4–18 GHz) araştırılmıştır. GNR üzerinde MnO₂'nin varlığı, arayüzey polarizasyonunu, çoklu saçılımı, doğal rezonansları ve etkili anizotropi enerjisini artırır, bu da 3 mm kalınlığında bir numune tarafından -57 dB'lik (bloke eden>%99,9999 radyasyonu) absorpsiyonun hakim olduğu yüksek koruma etkinliğine yol açar. Mükemmel ekranlama etkinliğinin mekanizmasını anlamak için dielektrik özellikler (ϵ' ve ϵ'') değerlendirildi. Ve sonuç olarak Malzeme, radar emici uygulamalar için mükemmel bir seçim olacaktır [123].

Çağatay Yamçıçier (2022) bize sunduğu çalışmanın önemli kısmından alınan bilgi şöyle anlatmakta: MnO₆ oktahedron Tüm yapısal polimorfların ortak yapı taşı olarak tanımlanmaktadır Bu oktahedronların değişik uzamsal düzenlemeleri, değişik polimorfların oluşmasına yol açar. Literatürde sıkça olarak gösterilen altı polimorfтан α -MnO₂ ve β -MnO₂, sırasıyla hollandite (uzay grubu) ve pirolusit yapılarına sahip olup tetragonal birim hücrelere sahiptir Rutil tipte bir tetragonal yapısı olan β -MnO₂, tek bir kenar paylaşımlı MnO₆ oktahedra zinciri tarafından oluşturulan termodinamik olarak en kararlı yapılardan biridir buna ziyade λ -MnO₂, kübik yapıya sahip olan bir spinel bileşiği δ -MnO₂ altıgen bir yapıya sahiptir[124].

Min Zhou (2010) tarafından Kolumnar nano çubuk kümeleri, tetragonal nanotüp kümeleri ve tetragonal nano çubuk kümeleri olmak üzere üç tür içi boş kestane benzeri α -MnO₂ nanoyapısı, kolay bir hidrotermal yöntemle sentezlenmiştir. Elde edilen malzemelerin mikroyapı ve morfolojileri, X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu, geçirgenlik elektron mikroskobu ve seçilmiş alan elektron kırınımı ile araştırıldı ve bu nanoyapıların mikrodalga absorpsiyon özellikleri, karmaşık geçirgenlik ve geçirgenlik açısından araştırıldı. Sonuçlar, manganez oksit/parafin

mumu kompozitlerinde bariz bir manyetik kayıp olduğunu göstermektedir. Dörtgen nano çubuk kümeleri, uygun elektromanyetik empedans eşleşmesinden kaynaklanan sütunlu nano çubuk kümeleri ve dörtgen nanotüp kümeleri ile karşılaştırıldığında gelişmiş mikrodalga absorpsiyon özellikleri sergiler. Bu kestane benzeri manganez oksit nanoyapılarının mikrodalga emiciler olarak büyük potansiyel uygulamalara sahip olduğu düşünülmektedir [125].

Xingliang Chen ve diğerleri (2019) yaptığı Bu çalışmada, yeni bir $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}@\text{MnO}_2$ hibriti kolay yöntemle başarıyla sentezlendi. Hibritin morfolojisi, yapısı, kimyasal bileşimi, manyetik davranışı ve EM dalga soğurma performansı sistematik olarak araştırıldı. Sonuçlar, hibritin tek tip hiyerarşik ve mezo gözenekli yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Hibritin manyetik doygunluk (M_s) değeri, manyetik kaybı iyileştirmek için faydalı olan 19.8 emu/g'dir. Yansıma kaybı eğrisine göre, hibrit, numune kalınlığı 2,7 mm olduğunda minimum yansıma kaybı değeri ve -35 dB ve 5 GHz efektif soğurma bant genişliği ile üstün EM dalga absorpsiyon kapasitesi gerçekleştirir. Bu hibritin mükemmel performansı, esas olarak, manyetik kayıp ve dielektrik kaybının ideal eşleşmesine, geniş spesifik yüzey alanına atfedilebileceği belirtmişlerdir[126].

Lulu Song ve diğerleri (2020) yaptıkları çalışmanın kapsamında Kristal yapı tasarımı ve ilgili morfoloji tasarımı, kaliteli bir mikrodalga soğurucu elde etmek için iki ana yöntemdir. Bu iki faktörün mikrodalga absorpsiyonu üzerindeki etkili mekanizmasını anlamak için çok fazlı ve çok morfoloji özelliğinden dolayı MnO_2 seçilmiştir. Bu yazıda, dipol hesaplaması ile birleştirilerek başarılı bir şekilde dört bağımsız örnek elde edilmiş, MnO_2 'nin fazların (α ve δ) ve morfolojilerinin (nanoteller ve mikroküreler) mikrodalga absorpsiyon performansı üzerindeki çabaları tam ölçekli olarak tartışılmıştır. Daha büyük dipol moment ve daha yüksek iletkenlik nedeniyle $\alpha\text{-MnO}_2$, $\delta\text{-MnO}_2$ 'den daha iyi dielektrik kaybı gerçekleştirir; Daha fazla arayüze ve yakalama merkezine sahip nanoteller, mikrokürelere kıyasla emiciler için en uygun yapıdır. Sonuç olarak, nanoteller- $\alpha\text{-MnO}_2$ (NA) en iyi absorpsiyon performansını gösterir, NA-mum kompozitinin yansıma kayıp değeri 6 mm kalınlığında 2.64 GHz'de -39.6 dB'ye ulaşabilir ve 2.4 bandında etkili absorpsiyon elde edilebilir. -18 GHz, uygun soğurucu kalınlığını seçerek. Bu çalışma sadece mikrodalga soğurucu

malzemeler olarak MnO_2 'nin tasarım konseptini sağlamakta kalmaz, aynı zamanda mükemmel bir soğurucu elde etmenin uygun malzeme türlerini sentezlemek ve mikro yapıyı optimize etmek olduğu anlaşıyor da sergiler[127].

Lulu Song ve diğerleri (2020) yapmış olduğu çalışmada Co^{2+} dopingindeki artışlarla birlikte MnO_2 fazının faz geçiş süreci Ouroboros sembolü ile tanımlanabilir. Katkisız numune, nanosheets yapılarına sahip saf $\delta\text{-MnO}_2$ 'dir. Daha sonra az miktarda Co^{2+} iyonu nihai ürünleri değiştirir ve $\delta\text{-MnO}_2$ matrisinde $\alpha\text{-MnO}_2$ nanolifleri üretir. Ürünler, uygun miktarda Co eklendiğinde saf $\alpha\text{-MnO}_2$ haline gelir. Ancak Co miktarı artmaya devam ettiğinde ürünlerdeki $\alpha\text{-MnO}_2$ miktarı azalır ve sonunda saf $\delta\text{-MnO}_2$ formuna geri döner. Elektromanyetik absorpsiyon performansı analiz edilerek, Co^{2+} dopingi ile ayarlanan tozlardaki $\delta\text{-MnO}_2/\alpha\text{-MnO}_2$ özellikleri ve oranı arasındaki ilişki araştırılmış ve $\delta\text{-}/\alpha\text{-MnO}_2$ kompozitleri tekliden daha iyi absorpsiyon kabiliyeti göstermektedir. -faz örnekleri. Sonuç olarak, optimal yansıma kaybı (RL) $-54,8$ dB'dir ve efektif absorpsiyon bant genişliği, ağırlıkça %50 dolgu yükleme oranları ile 2,2 mm kalınlığındaki Ku bandını ve 3,1 mm kalınlığındaki X bandını kapsayabilmektedir. Bu araştırma, yeni mikrodalga absorpsiyon malzemelerinin geliştirilmesine yeni bir ışık tutabileceğini açıklamıştır[128].

Tingting Su (2019) çalışmalarında Kolay bir tek kap hidrotermal işlemle üç tip hiyerarşik MnO_2 nanoyapısı hazırlandı. Kristal faz ve mikro yapı, XRD, SEM, TEM ve HRTEM ile karakterize edildi. Mikroküre/nano-tabaka yapılarının 120°C 'de $\delta\text{-MnO}_2$ katmanlı olduğu bulundu. $\delta\text{-MnO}_2$ mikro küre/nano levhaların çekirdeği ve $\alpha\text{-MnO}_2$ nano çubuklarının kabuğu ile çift fazlı çekirdek-kabuk yapısı 150°C 'de sentezlendi. 180°C 'de içi boş kestane benzeri $\alpha\text{-MnO}_2$ yapısı elde edildi. Bu MnO_2 'nin mikrodalga absorpsiyon özelliklerinin analizi ile, çekirdek-kabuk kompozitlerinde gelişmiş mikrodalga absorpsiyon özellikleri gözlemlendi ve 4.5 GHz'de 3.9mm kalınlığında -45.2 dB'lik minimum yansıma kaybı (RL_{min}) 40 ile elde edildi. Balmumu kompozitlerinde ağırlıkça % emiciler. Kompozitlerin mükemmel mikrodalga absorpsiyon özellikleri, çekirdek-kabuk hetero yapısının neden olduğu iyi empedans uyumundan ve $\delta\text{-MnO}_2$ mikroküre/nano levhalar ve $\alpha\text{-MnO}_2$ nano çubuklar arasındaki daha fazla arayüzey polarizasyonundan kaynaklandığını bulmuştur[129].

Tingting Su (2019) kapsamında Çubuk benzeri α -MnO₂ ve β -MnO₂ hidrotermal yöntemle farklı sıcaklıklarda başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler XRD, SEM, TG, TEM ve HRTEM ile karakterize edilmiştir. β -MnO₂, 150 °C ve 220 °C koşullarında elde edildi ve 220 °C'lik kristallik daha iyi olurdu, α -MnO₂ 180 °C'de sentezlendi. Manganez oksidin termal stabiliteleri, kristal fazlarından etkilenmiştir. Çubuk benzeri α -MnO₂ ve β -MnO₂'nin mikrodalga absorpsiyon özellikleri 2.0–18.0 GHz'de incelenmiştir ve β -MnO₂, α -MnO₂'den çok daha iyi absorpsiyon özellikleri göstermektedir. 220 °C koşul altında hazırlanan β -MnO₂, 14,7 GHz'de – 25,5 dB RL değerleri, 1,5 mm kalınlık ve 5,0 GHz (13–18.0 GHz) etkin bant genişliği ile optimal mikrodalga absorpsiyon özelliklerini sunar. Bu sonuçlar MnO₂'nin dielektrik kayıplı malzemeler olduğunu, absorpsiyon özelliklerinin kristal faz, morfolojik boyut ve kristallikten önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Özel çubuk benzeri morfoloji ve iyi kristallik, üstün empedans uyumuna ve orta zayıflama sabitine, α ve nihayetinde gelişmiş mikrodalga absorpsiyonuna yol açar[130].

Jia-Wei Wang (2014) yapmış olduğu çalışmada Geçiş metali katyonları (Zn, Co ve Ag) katkılı δ -MnO₂ malzemeleri bir hidrotermal teknik kullanılarak başarıyla sentezlendi. Elde edilen oksitlerin yapıları ve morfolojileri, X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu ve Brunauer-Emmett-Teller ölçümleri kullanılarak analiz edildi. Ayrıca elektrokimyasal özellikler, döngüsel voltametri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve galvanostatik döngü ölçümleri yoluyla değerlendirildi. Sonuçlar, saf ve katkılı numunelerin katmanlı bir yapı ile δ formunda kristalleştiğini ve Mn/Zn, Mn/Co ve Mn/Ag molar oranlarının yaklaşık 1:0.09 olduğunu göstermektedir. Hem Zn katkılı hem de saf MnO₂ malzemeleri petal benzeri bir morfoloji sergiler; ancak, birincisi 98.97m²/g'a kadar daha yüksek bir spesifik yüzey alanına sahiptir. Ayrıca, Zn katkılı MnO₂, 2mV/s'lik bir CV tarama hızında ve 182.9 F/g'lık bir spesifik kapasitansta geniş yarı-tersinir redoks tepe noktalarına sahip dikdörtgene yakın bir döngüsel voltametri (CV) eğrisi sergiler. Birlikte katkılı malzeme, belirgin bir dikenli lif morfolojisi sergiler ve bu malzemenin elektrokimyasal performansı, saf MnO₂'ninkinden önemli ölçüde daha kötüdür. Ag katkılı malzemenin ortalama zayıflama oranı, saf MnO₂'den daha düşük olan 1000 döngüden sonra sadece %0.028 olduğu gösterilmiştir[131].

BÖLÜM 3

MALZEME VE YÖNTEM

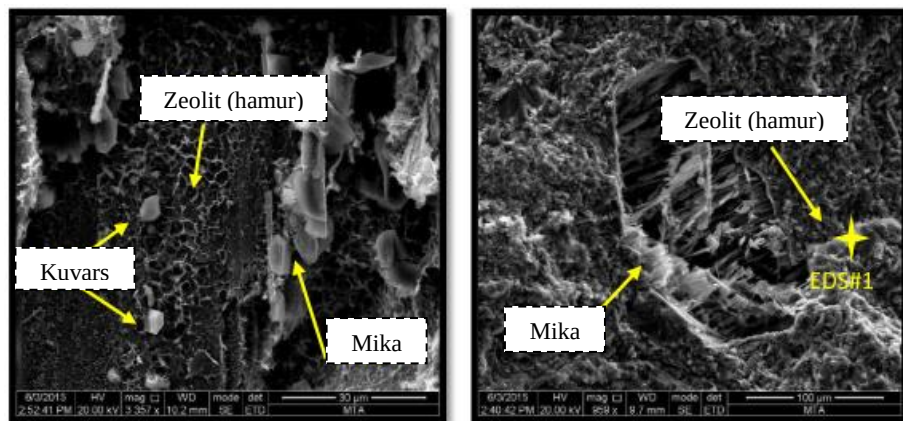
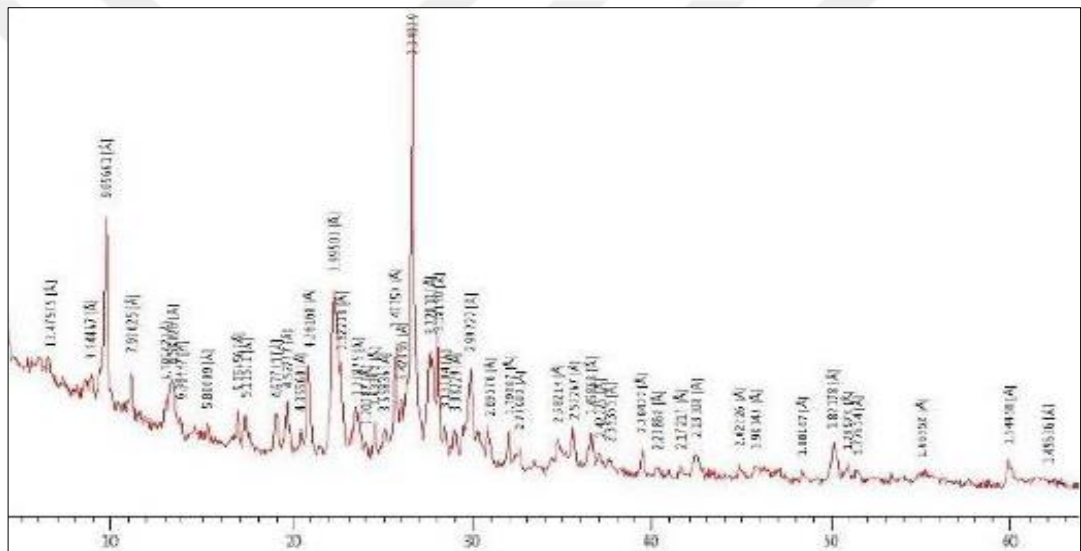
3.1.MALZEME

3.1.1. Bayburt bölgesinde bulunan tüfit taşlar

Alkali-aktive malzemeleri (AAM) üretmek için iç enerjisi yüksek amorf yapıli 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. [44,132,133].

3.1.1.1. Bayburt Yeşil tufu (Tras)

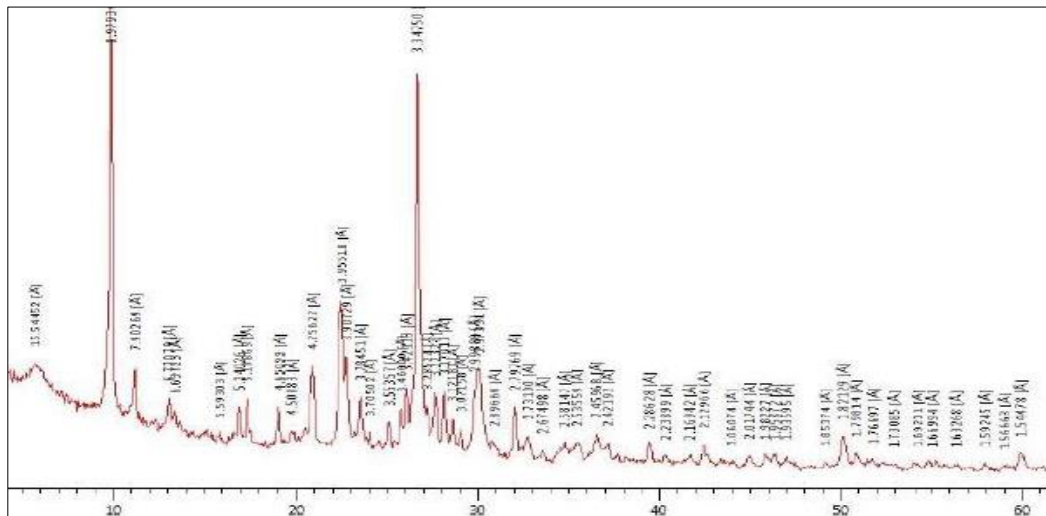
Deneysel çalışmalarda öncü malzeme olarak Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Bayburt ili sınırları içindeki yeşil renkli puzolan esaslı ve CEM II, CEM IV üretiminde kullanılan tras (Bayburt Yeşil Trası: BYT) kullanılmıştır. BYT'nin MTA'da (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) yapılan mineralojik analizine göre; BYT, Şekil 3.1'in sol resminde 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 kayada, 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 [134,135].



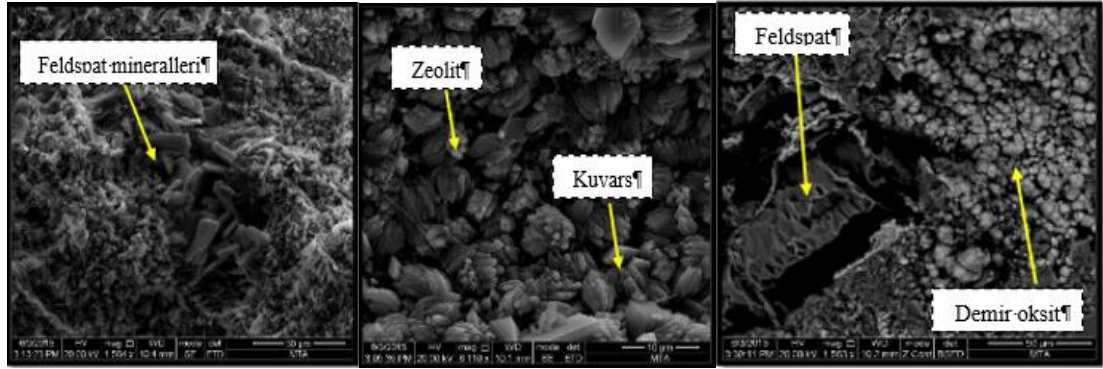
3.1.1.2. Bayburt Beyaz Tüfü (zeolitik tüf)

Deneysel çalışmalarda karşılaştırma amaçlı bir diğer öncü malzeme olarak Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Bayburt ili sınırları içindeki Şekil 3.1 sağ resminde gösterildiği gibi kirli beyaz renkli puzolan esaslı zeolitik tuf (Bayburt Beyaz Tufu: BBT) kullanılmıştır. Zeolitik Tuf (BBT) Şekil 3.4'de verilen MTA'da (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) yapılan XRD mineralojik analizine göre; riyodasidik Kompozit vitrik bir tuf 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 [134].

Ayrıca BBT, makroskopik tanımıyla zeolitik tuf 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 minerolojik (XRD) analizi [20].



Şekil 3.5. BBT'nin mikroskopik görüntüsü (SEM analizi) [20].

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. BBT, BYT ve kalsitin kimyasal özellikleri.

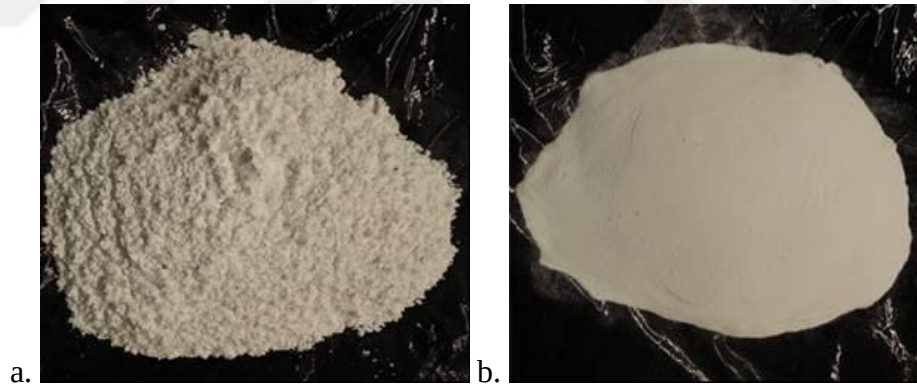
Oksitler	BYT	BBT	Kalsit
SiO ₂	49,92	68,92	<0,1
Al ₂ O ₃	10,25	11,96	-
Fe ₂ O ₃	6,00	0,34	<0,005
CaO	13,10	3,85	95-99
MgO	2,57	1,29	<0,2
SO ₃	0,26	0,21	-
Na ₂ O	1,45	0,23	-
K ₂ O	1,82	2,38	-
Toplam Alkali	2,65	1,8	-
Toplam	99,41	99,31	99,21
K.K.	14,04	10,13	-

Çizelge 3.2. Toz malzemelerin fiziksel özellikleri.

Malzemeler	Özgöl ağırlık (g/cm ³)	Özgöl yüzey alanı (cm ² /g)	İncelik (μm) Elekten geçen (%)		
			D ₉₀	D ₅₀	D ₁₀
BYT	2,61	8420	83,0	26,4	9,82
BBT	2,43	11237	61,3	16,6	3,94
Kalsit	2,71	2645	100	35	3,5
Alüminyum	3,95	15000	60	12,8	5

3.1.2. 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. kimyasal Özellikleri çizelge 3.1'de, Fiziksel özellikleri çizelge 3.2'de ve görsel görüntüleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



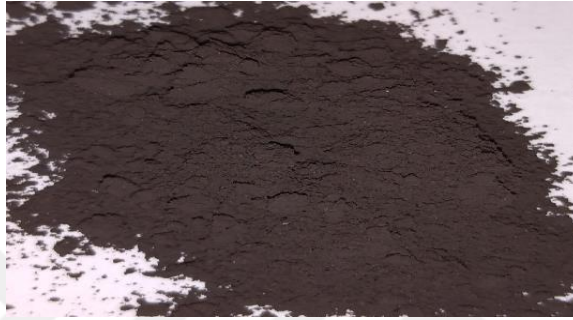
Şekil 3.6. a) Kalsit (mermer tozu-CaCO₃), b) Alüminyum Oksit (Al₂O₃).

3.1.3. Alüminyum Oksit

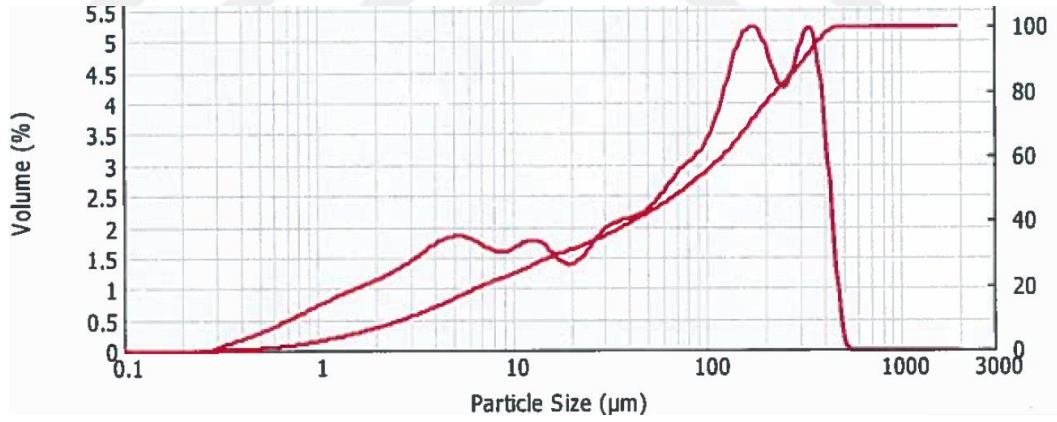
Niğtaş A.Ş. kurumundan temin edilen ve Kompozit hamurların kullanılan, polimerleşme prosesine ve su direncine katkıda bulunan alüminyum oksit %99,9 safsızlığındadır.

3.1.4. Mangan

Bu çalışmada kullanılan MnO_2 'nin görseli Şekil 3.7'da, elek analizi Şekil 3.8'de verilmiştir. Elek analizi sonuçlarına göre MnO_2 'nin D_{90} : 320 μ , D_{50} : 78 μ ve D_{10} : 2,9 μ olarak elde edilmiştir. MnO_2 'nin özgül yüzey alanı 0,746 m^2/g (7460 cm^2/g), özgül ağırlığı 5,03 g/cm^3 'tür. MnO_2 'nin kimyasal analizinde %75 MnO_2 , %3,3 Fe_2O_3 %2 Al_2O_3 ve %15 SiO_2 içermektedir.



Şekil 3.7. Mangan dioksitin görseli (MnO_2)



Şekil 3.8. Mangan dioksitin elek analizi (MnO_2)

3.1.5. Su ve Alkali Aktivatörler

Çalışma sürecinde ilin şebekesinden alınan içilebilir musluk suyundan faydalanılmıştır. yaklaşık % 100 saflıkta katı fazdaki NaOH ve Na_2SiO_3 39.5 bome sıvı formu kullanılmıştır. Na_2SiO_3 'ün kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. Na₂SiO₃'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	1,374
Na ₂ O (%)	8,62
SiO ₂ (%)	27,53
Modül (Ms: SiO ₂ /Na ₂ O)	3,3

3.1.6. Polipropilen, Karbon ve Çelik Lif

Çalışmada kullanılan polipropilen (PP), karbon ve çelik elyaflar sırasıyla Şekil 3.9'da verilmektedir. Kullanılan elyafların teknik özellikleri ise Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.9. a) Polipropilen lif (PP), b) Karbon lif(K) ve c) Çelik lif(Ç).

Çizelge 3.4. Polipropilen, karbon ve çelik lifin teknik özellikleri.

Özellik	Polipropilen	Karbon	Çelik
Çekme Dayanımı (MPa)	350	3800	3000
Elastisite Modülü (GPa)	3,5	228	200
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	140	-	1083
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0,81	1,81	7,87
Lif çapı (µm)	300	7,2	150
Lif Uzunluğu (mm)	12	6	6
Narinlik Oranı (uzunluk/çap)	12	1750	87
Elektrik İletkenliği (Ohm ⁻¹ /cm)	-	0,00155	100%

3.2. YÖNTEM

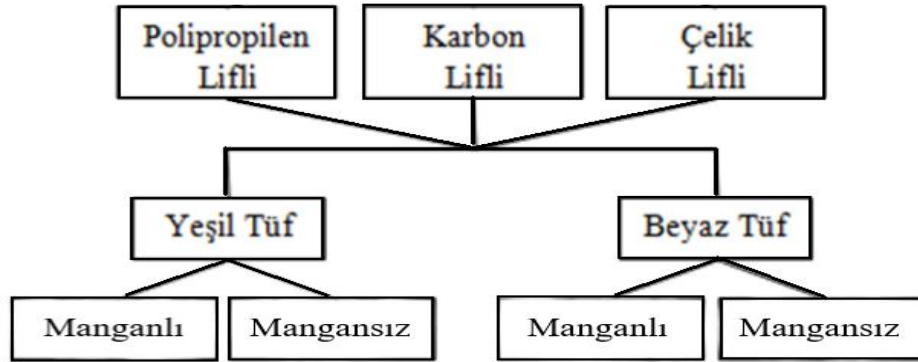
Bu bölüm iki alt başlığa ayrılmış olup; ilk kısım taze haldeki alkali aktive edilen hamurlar üzerinde yapılan yayılma tablası deneyini, ikinci kısım ise sertleşmiş haldeki numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme-basınç dayanımı, su emme, büzülme, elektromanyetik özellik testlerini ve mikroyapısal analizi kapsamaktadır.

3.2.1. Karışım Tasarımı ve Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Üretimi

3.2.1.1. Karışım Tasarımı ve Üretim Yöntemi

Çalışmada NaOH ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq})$ (Ms:3) aktivatörleri kullanılarak üretilmiş alkali-aktive edilmiş hamurlar hacimce %2 oranında PP, kırılmış karbon (K) ve çelik (Ç) fiberle takviye edilmiştir. Bununla birlikte Yeşil ve beyaz tüflerin ayrı ayrı ilave edildiği AAH'lerde ayrıca hacimce %0 (çahit numune), %1, %2,5 ve %5 mangan (MnO_2) eklenerek lifle güçlendirilmiş AAH kompozitler üretilmiştir. Aynı zamanda tüflerin Al_2O_3 bileşenlerinin düşük oranda olması (su direncinin artırılması ve büzülme engelleyici olarak) sebebiyle tüm karışımlarda sabit olmak üzere toz halde hacimce %5 mikronize Alüminyum oksit (Al_2O_3) ve farklı oranlarda kalsit (CaCO_3) AAH kompozitlerin üretimlerinde kullanılmıştır. Karışım kompozisyonu (şeması: Algoritması) Şekil 3.10'da verilmiştir.

Karışım: Çözelti ((%70 Na_2SiO_3 + %30 Su) + (NaOH)) + Yeşil veya Beyaz Tüf + Al_2O_3 + Manganlı/Mangansız+ PP/Karbon/Çelik Lif + Kalsit



Şekil 3.10. Üretim kombinasyonlarının şematik görünümü.

Esas AAH kompozitlerin üretim prosesine başlamadan önce işlenebilirliği optimize edilmiş uygun solusyon oranını bulmak amacıyla BBT ve BYT esaslı AAH'lar farklı çözelti/toz (Ç/T) oranlarında üretilmiştir. Deneme üretimlerinde esas beklenti işlenebilirliği iyi AAH'lerin en yüksek erken mukavemete ulaşabilmesini gözlemlemektir. Deneme üretimlerine ilgili sonuçlar: Esas AAH numunelerinin üretimi, deneme dökümlerinin sonuçları esas alınarak her iki seride 24 grup olacak şekilde karışım tasarımı Çizelge 3.5'te gösterildiği gibi kurulmuştur. Her bir üretim

grubuna ait AAH numune üretiminde toplam 8'şer adet 40x40x160 mm ve 8'er adet 50x50x50 mm boyutlara sahip hamur numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Her bir grupta belirli günlerde yapılacak basınç-eğilme, büzülme testleri için toplam 9'ar adet 40x40x160 mm boyutlu dikdörtgen prizma ve su emme deneyleri için 8'er adet 50x50x50 mm boyutlu küp numuneler ile elektromanyetik özellik ölçümleri için 1'er adet 300x300x10 mm boyutlara sahip plaka numuneler üretilmiştir. Her bir fiber tipi AAH kompozisyonunda hacim olarak %2 istihdam edilmiştir. Tasarımlarda PP, çelik ve karbon lifli üretimler Ç/T : 0,7 oranına sahiptir grup isimlerinde Y, BYT'yi ve B, BBT'yi; P, K ve Ç sırasıyla polipropilen, karbon ve çelik lifleri; M, Mangan olmak üzere M0: %0 (hacimce), M1: %1 (hacimce), M2: %2,5 (hacimce) ve M3: %5 (hacimce) olarak karışımda hacimce kullanıldıkları oranları ifade etmektedir.

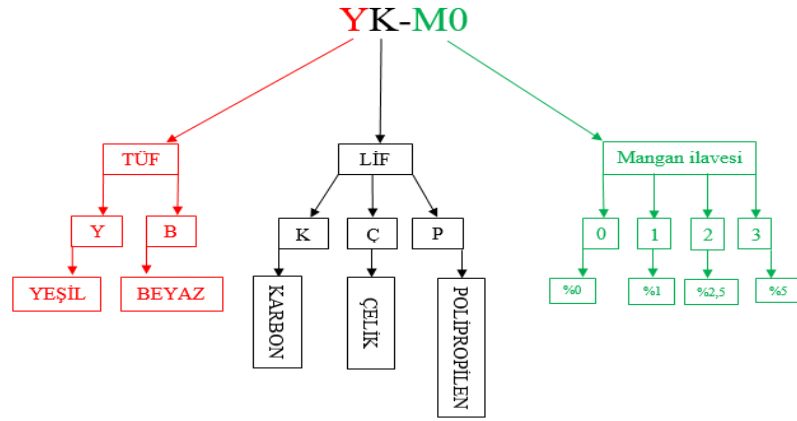
Mol derişimi ve mangan oranları deneme dökümleri bulguları yorumlayarak kararlaştırıldı. Deneme dökümlerinde başlangıçta BYT ve BBT tüflü numuneler En büyük mekanik dayanım değerlerine ulaşabilmek hedefiyle 8 mol NaOH solüsyon kullanılarak üretilmiştir. Ancak numunelerden kıvam alınamaması sebebiyle her iki seri 6 mol ile üretildi. mangan kullanım yüzdesi ise deneme yoluyla %1, %2.5, %5 ve %10 olarak test edilmesinin sonrasında %10 oranı ile üretilen numunelerden alınan negatif bulgular yüzünden %5'e indirilmiş.

Deneyssel AAH örneklerin üretilmesinde, bir başlangıç olarak solüsyonu hazırlamak için 6 mol olarak belirlenen, behere konulan NaOH üzerine bir önceki Dirikolu (2019) yaptığı çalışmada belirlenen maliyet-fiziksel ve mekanik özellik optimizasyonu sürecinde ağırlık olarak %70 Na₂SiO₃ + %30 su karışımı 1000 ml ulşmasına kadar eklendi. solüsyonun döküme uygun hale gelmesi hedefiyle NaOH'un %100 çözünmesi ve çözeltinin 55±2 °C'ye düşmesi manyetik karıştırıcı vasıtasıyla karıştırıldı. solüsyonun sıcaklık şartları uygun olduğunda ve NaOH'ın %100 çözüldükten sonra öncelikle solüsyonu mikserin kovalına dökülmüştür. Sonra sa toz bileşenler sırasıyla; BYT ya da BBT (60 s) + Al₂O₃ (30 s) + mangan (30 s) + lif (30 s) + kalsit (30 s) + hızlı karışım (60 s) olacak şekilde ilave edilmiştir. Toplam olarak 240 s karışım gerçekleştirilmiş ve ardından hızlı katılaşma nedeniyle işlenebilirlikteki azalışı engellemek için hızlı bir şekilde taze hal testi ile kalıplanmıştır.

Çizelge 3.5. BYT ve BBT esaslı AAH kompozit numunelerin karışım tasarımı.

Kod	NaOH (M)	Ç/T	Bileşen Miktarları (ağırlıkça) (%)							Lif Hacmi (%)
			BYT	BBT	Kalsit	Al ₂ O ₃	MnO ₂	Çözelti	Lif	
YP-M0	6	0,7	25,15	-	23,23	9,96	0,00	40,97	0,70	2
YP-M1	6	0,7	24,11	-	22,26	10,04	2,07	40,84	0,69	2
YP-M2	6	0,7	22,63	-	20,90	9,98	5,08	40,74	0,68	2
YP-M3	6	0,7	20,13	-	18,59	9,97	9,90	40,75	0,67	2
YÇ-M0	6	0,7	23,32	-	21,54	10,02	0,00	38,21	6,91	2
YÇ-M1	6	0,7	22,24	-	20,54	9,97	2,21	38,21	6,83	2
YÇ-M2	6	0,7	20,56	-	18,98	9,99	5,45	38,25	6,76	2
YÇ-M3	6	0,7	17,80	-	16,44	9,98	10,73	38,48	6,58	2
YK-M0	6	0,7	24,92	-	23,01	10,01	0,00	40,58	1,49	2
YK-M1	6	0,7	23,92	-	22,08	9,96	2,05	40,51	1,48	2
YK-M2	6	0,7	22,36	-	20,65	9,98	5,14	40,42	1,45	2
YK-M3	6	0,7	19,72	-	18,21	10,00	10,00	40,67	1,42	2
BP-M0	6	0,7	-	25,15	23,22	9,96	0,00	40,96	0,71	2
BP-M1	6	0,7	-	24,10	22,26	10,04	2,07	40,83	0,70	2
BP-M2	6	0,7	-	22,63	20,89	9,98	5,08	40,73	0,69	2
BP-M3	6	0,7	-	20,12	18,58	9,96	9,94	40,73	0,67	2
BÇ-M0	6	0,7	-	23,30	21,51	10,00	0,00	38,17	7,02	2
BÇ-M1	6	0,7	-	22,22	20,52	9,95	2,21	38,16	6,94	2
BÇ-M2	6	0,7	-	20,54	18,97	9,99	5,45	38,22	6,84	2
BÇ-M3	6	0,7	-	17,75	16,39	9,95	10,85	38,38	6,66	2
BK-M0	6	0,7	-	24,91	23,00	10,00	0,00	40,57	1,52	2
BK-M1	6	0,7	-	23,91	22,08	9,96	2,05	40,51	1,50	2
BK-M2	6	0,7	-	22,36	20,64	9,98	5,14	40,41	1,48	2
BK-M3	6	0,7	-	19,69	18,18	9,98	10,08	40,62	1,44	2

Karışım ardından taze haldeki hamurlar, yayılma tablası testinin sonrasında 40×40×160 mm, 50×50×50 mm ve 300×300×10 mm boyutlu çelik kalıplara yerleştirildi ve 60 s boyunca titreşim işlemi uygulandı (bu süre çelik elyafı dökümlerde liflerin dibe çökmesini engellemek amacıyla çok kısa tutulmuştur).



Şekil 3.11. Üretilmiş numunelerin kodlarının açılımı.

3.2.1.2. Kür İşlemi

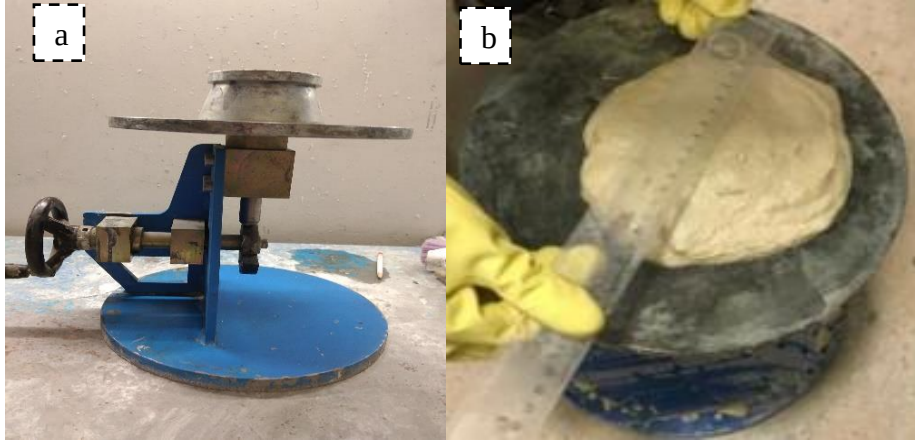
Kürleme işlemi, deneme dökümlerinde 50×50×50 mm boyutlara sahip örnekler üzerinde laboratuvar sıcaklığında uygulanmıştır, bulunan sonuçlar bakımından temel dökümlerde örneklerin tümü priz tamamlama sonrası kalıplardan sökülerek ortamda kür görmüştür. başkaca, kompozitler, jeopolimerizasyon prosesinin uygulanışı için döküm ile priz tamamlama arasındaki aralıkta 24 ± 2 °C'de laboratuvar sıcaklığında ve $\%35 \pm \%10$ bağıl nemde bulundurmuştur [69].

3.2.2. Taze Haldeki Alkali Aktifleştirilmiş Hamur Deneyleri

3.2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi

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 ve 50 mm yüksekliğinde pirinçten mamul Şekil 3.12a'da gösterilen kullanılmıştır.

ASTM C1437 standartlarına göre 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 [136].

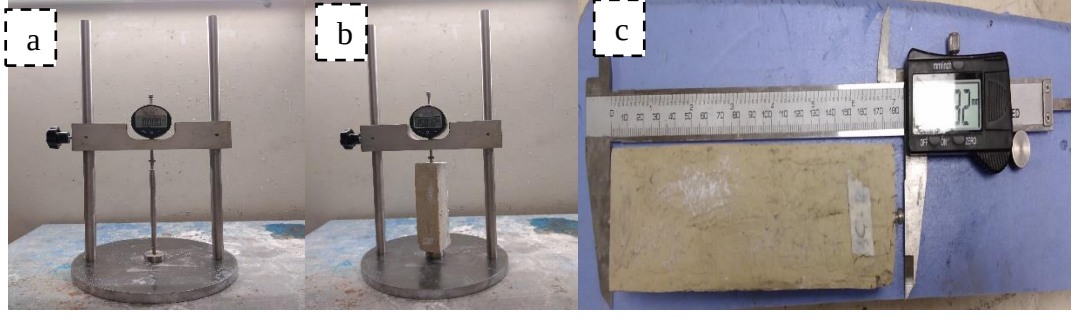


Şekil 3.12. Yayılma tablası ve yayılma çapı ölçümü.

3.2.3. Sertleşmiş Haldeki Alkali Aktifleştirilmiş Hamur Deneyleri

3.2.3.1. Büzülme Deneyi

ASTM C596 – 18'e göre [137], 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 kalıptan çıkarıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. 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.



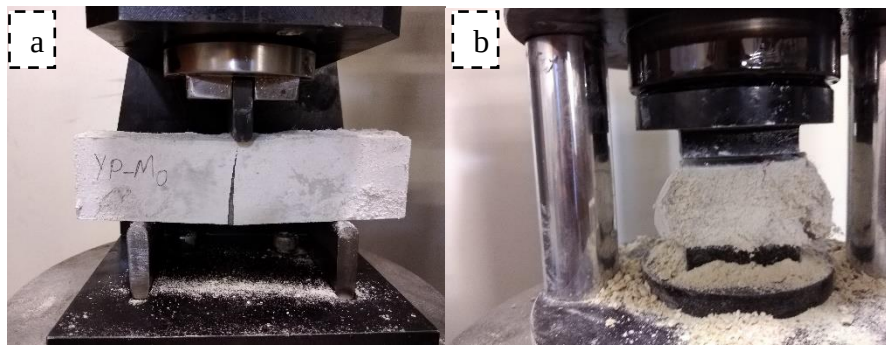
Şekil 3.13. Büzülme ölçüm aşamaları.

Kasalma verileri denklem (3.1)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Daha sonra iki referans okuma arasındaki fark belirlenerek kalibrasyon (ölçüm) yapılmıştır.

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

3.2.3.2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri

40×40×160 mm boyutundaki numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi ASTM C348-18'e [138] göre, basınç dayanımı deneyi ise ASTM C109/C109M-16'e [139] göre yapılmıştır. Deneyler üretimden sonraki 2, 28, 90 ve 180'inci günlerde gerçekleştirilmiştir. Birim hacim ağırlıklarının (BHA) hesaplanması için tartıldıktan sonra numuneler ilk olarak eğilme testine tabi tutulmuş, üç noktanın üzerine düşey yük numune boyunu ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney sonunda kalan iki parça üzerinde ise 40×40 mm yüzey alanı dahilinde eksenel sıkıştırma testi uygulanarak bu iki değer ortalaması alınmıştır. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi sürecindeki örnekler sırasıyla Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. a) Eğilme Dayanımı Testi. b) Basınç Dayanımı Testi.

örneklerin basınç ve eğilme mukavemetlerinin hesaplanmış olduğu Denklem (3.2) ve Denklem (3.3) aşağıdaki verilmiştir.

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

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

Burada;

σ_e : Eğilme mukavemeti (MPa).

L : Mesnetler arasındaki mesafe (mm).

P : en büyük yük miktarı (N)

b : Kesit kısa kenar uzunluğu (mm).

d : Kesit uzun kenar uzunluğu (mm)

σ_b : Basınç mukavemeti (MPa).

A : Eksenel yük etkisine maruz bırakılan numune kesit alanı (mm²)

3.2.3.3. Su Emme Deneyi

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 (Ad) ve sudaki ağırlığı (As). 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 (Ak) 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;

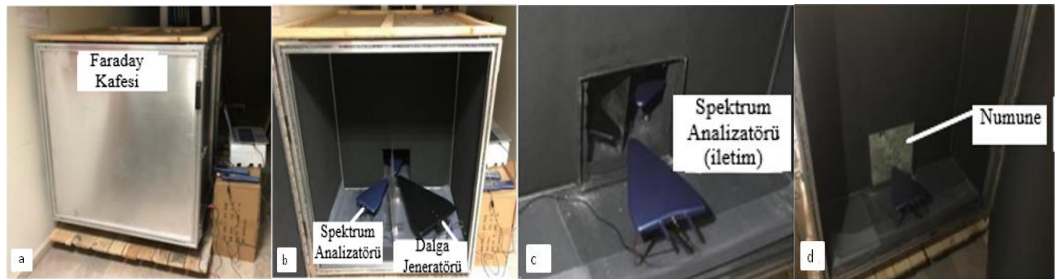
S : Su emme oranı (%). A_d : Doygun kuru yüzey ağırlığı (g).
 γ : Özgül ağırlık (g/cm³). A_s : Suda ağırlık (g).
 P_g : Görünen porozite (%). A_k : Etüv kurusu ağırlık (g).



Şekil 3.3. Su emme deneyi.

3.2.3.4. Elektromanyetik Özellik Ölçümleri

Deney, her gruptan üretilen 300×300×10 mm'dir boyutlarındaki karo kaplamalar üzerinde 90 gün sonunda gerçekleştirilerek plakların 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 3.16'da görüldüğü gibi kuruldu.



Şekil 3.4. Elektromanyetik test için kullanılan ekipmanlar: a) Faraday kafesi. b) dalga jeneratörü ve spektrum analizörü (yansıma). c) spektrum analizörü (iletim). d) spektrum analizörü (iletim) ve numune.

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, R_{dB} (yansıma kaybı) SEdB, absorpsiyon kaybı A_{dB} ve çoklu yansıma kaybı M_{dB} 'nin toplamı olarak ifade edilir ve denklemde E_i ve E_t , gelen ve iletilen dalgaları temsil eder. R_{dB} , kalkan yüzeyindeki yansımadan kaynaklanan kayıptır. Denklem 3.8'de gösterilmiştir.

$$R_{dB} = 106 + 10 \log (\sigma r / f \mu r) \quad (3.8)$$

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

3.2.3.5. Mikroyapısal Analizler

Yapılan çalışmalar kapsamında örnek numuneler havasız torbalara konularak 90 günlük basınç dayanımı testinden sonra MTA'ya teslim edilmiştir. MTA laboratuvarında SEM görüntüleme öncesi altın-paladyum kaplama uygulanma sonrasında sırasıyla SEM ve EDS analizi yapılmıştır. XRD analizleri başka bir laboratuvarında 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 hem yeşil tuf hem de beyaz tuf esaslı alkali aktive edilmiş PP, karbon ve mikro çelik lifle güçlendirilmiş mangan içerikli hamur malzemelerinin sonuçlarına ait değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1. PRİZ SÜRESİ VE YAYILMA TABLASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

YBT ve BBT esaslı AAH örneklerin sertleşme süreleri ve yayılma tablası sonuçları sırasıyla Çizelge 4.1’de ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’e göre;

Mangan katkısı yayılma çaplarını azaltmış ve bundan dolayı işlenebilirliği düşük oranda da olsa olumsuz etkilemiştir. Örneğin, YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP M3 numunelerin yayılma tablası çapına oranlama sonucunda sırasıyla %94,25, %88,29, %84,33 ve %86,31 değerleri bulunmuştur. YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 numunelerin yayılma tablası çapına oranlama sonucunda sırasıyla %54,56, %48,61, %48,61 ve %43,65 değerleri bulunmuştur. YBT esaslı AAM hamurlarında mangan oranını arttıkça işlenebilme azalmasına neden bulunmuştur. Bu oranlar, hacimce %1, %2,5 ve %5 mangan oranlarına göre sırasıyla PP lifi için yaklaşık %6, %10 ve %8 ve karbon lifi için yaklaşık %6, %6 ve %11 olarak hesapla bulunmuştur. Daha geniş Özgül yüzeye sahip olan MnO₂ döküm içindeki yüzey alanını artırmasından nedeniyle işlenebilirliğin azalmasına neden olmuştur. KL'lerin büyük miktarda su absorblama niteliğinden sebebi yayılma sonuçları PP lifle üretilmiş olanlara göre bariz oranda azalış göstermiştir. YBT esaslı AAH'lerde KL'ler işlenebilme PP elyafına göre yaklaşık % 40 oranında azalışta bulunmuştur.

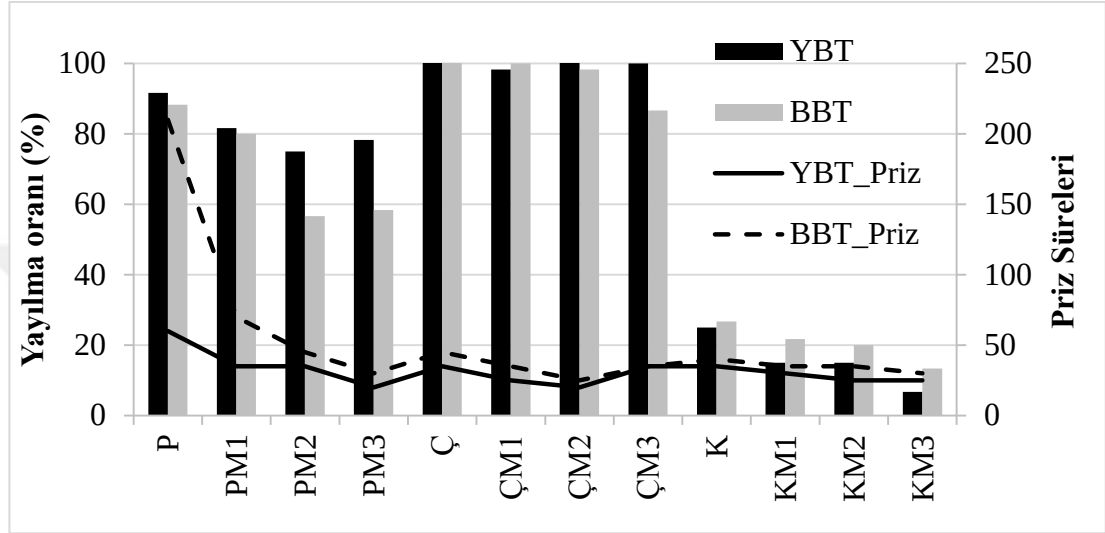
Çizelge 4.1. Lifle güçlendirilmiş AAH'lerin priz süreleri ve yayılma çapı değerleri.

Kod	Priz süresi (dk)	Yayılma çapı (cm)	Kod	Priz süresi (dk)	Yayılma çapı (cm)
YP-M0	60	23,75	BP-M0	210	23,25
YP-M1	35	22,25	BP-M1	70	22
YP-M2	35	21,25	BP-M2	45	18,5
YP-M3	20	21,75	BP-M3	30	18,75
YÇ-M0	35	25,25	BÇ-M0	45	25,25
YÇ-M1	25	24,75	BÇ-M1	35	25
YÇ-M2	20	25,25	BÇ-M2	25	24,75
YÇ-M3	35	25	BÇ-M3	35	23
YK-M0	35	13,75	BK-M0	40	14
YK-M1	30	12,25	BK-M1	35	13,25
YK-M2	25	12,25	BK-M2	35	13
YK-M3	25	11	BK-M3	30	12

ÇL takviyeli ve YBT esaslı AAH'ler diğer elyafli AAM hamurlarından daha iyi yayılma performansı göstermiştir. YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3'ün yayılma oranları tabla çapına göre sırasıyla %99,20, %97,06, %99,20 ve %98,04'tür.

YBT esaslı AAM hamurların elyaf türünü dikkate almaksızın mangan katkı oranı artmasıyla beraber priz süreleri kısa olmuştur. Referans PP lifli AAH'ler hariç tüm

hamurların priz sonu 1 saatten daha az sürede gerçekleşmiştir. Ancak en hızlı katılaşma süresi çelik lifli AAH’lerde, hacimce %2,5 mangan içerikli çelik ve %5 mangan içerikli PP elyafli AAM hamurların katılaşıp sertleşmesi 25 dk sürecini aşmadan olmuştur. Şekil 4.1’de yayılma çapları yayılma tablasına göre oranlanmış ve priz süresiyle ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.1. Yeşil ve beyaz tuf esaslı AAH’lerde yayılma ve priz deneyi sonuçları.

Şekil 4.1’e göre;

BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3’ün yayılma oranları tabla çapına göre sırasıyla %91,18, %86,27, %72,55 ve %73,53’tür. BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 numunelerin yayılma tablası çapına oranlama sonucunda sırasıyla %54,90, %51,96, %50,98 ve %47,06 değerleri bulunmuştur, Böylelikle BBT esaslı AAH’lerde mangan artışı işlenebilme azalmasına neden olmuştur. Hacimce %1, %2,5 ve %5 mangan oranlarına göre azalma oranları PP elyafı için sırasıyla %5, %19 ve %18 ve karbon lif için %3, %4, %7 değerleri hesap yoluyla bulunmuştur. daha az Özgül yüzeyine sahip olan tfiğin hamur dökümün içindeki azalan oranı ve mangan ilavesi ile özgül yüzeyin artması sonucunda işlenebilirlik azalmıştır. KL takviyeli ve Beyaz tuf esaslı AAH’lerde karbon lifler işlenebilirliği PP life göre yaklaşık %30 oranında azalış göstermiştir. ÇL takviyeli YBT esaslı AAH’ler diğer elyafli AAH’lere göre yayılma performansı daha iyi olmuştur. BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3’ün yayılma oranları tabla çapına göre sırasıyla %99,02, %98,04, %97,06 ve %90,20’dir.

BBT esaslı AAH'lerin elyaf türüne bakmadan mangan katkı oranı artması ile birlikte priz sürçleri daha kısa olmuştur. Referans AAH'lerin priz süresi dikkate alındığında, hacimce %1, %2,5 ve %5 mangan içeren yeşil tuf esaslı AAH'lerde priz sonu süreleri PP lif için sırasıyla %95, %81 ve %81, karbon lifler için sırasıyla %95, %93 ve %87, çelik lifler için sırasıyla %99, %98 ve %91 kısalmıştır. Priz süreleri çelik ve karbon serilerde maksimum 45 dk olduğu görülmüştür; katılaşmaya hızı yüksek olan çelik lifli AAH'lerde, hacimce %2,5 mangan içerikli ÇL'li AAH'lerin katılaşma süresi 30 dk süresini geçmeden gerçekleşmiştir.

4.2. EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde Eğilme ve basınç mukavemetleri test bulgularına ve birim hacim ağırlığı hesaplama sonuçlarına yer ayrılmış yanında kıyaslama yapmak için gerekli grafikler oluşturulmuştur.

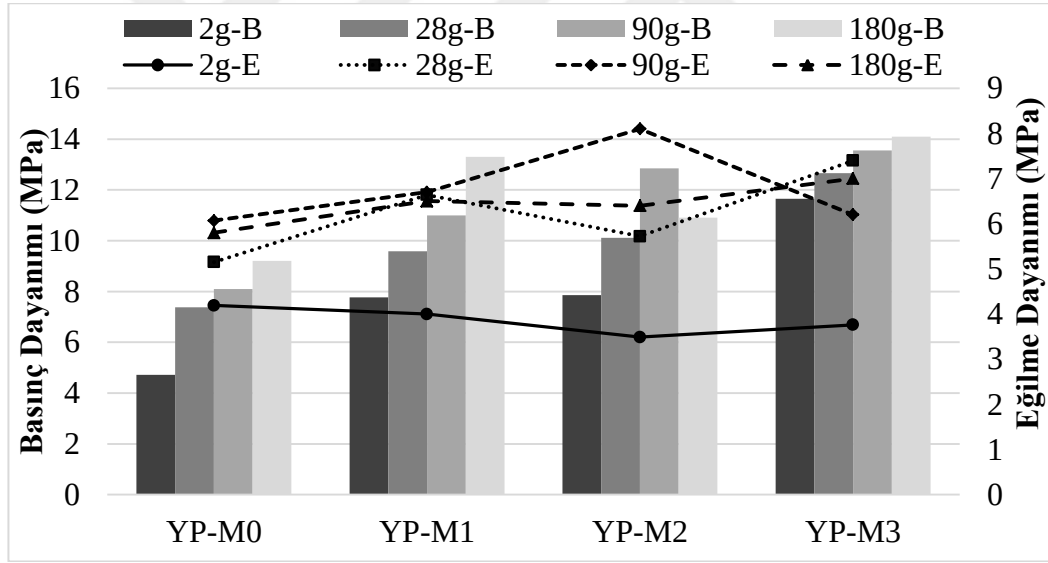
4.2.1. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler

Çizelge 4.2.Yeşil tuf esaslı AAH numunelerin BHA, eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.

Kod	BHA (g/cm ³) (gün)				Eğilme Day. (MPa) (gün)				Basınç Day. (MPa) (gün)			
	2	28	90	180	2	28	90	180	2	28	90	180
YP-M0	1,89	1,83	1,75	1,60	5,15	4,19	6,07	5,8	4,72	7,38	8,10	9,2
YP-M1	1,98	1,86	1,74	1,68	6,64	4,00	6,7	6,5	7,77	9,58	11,00	13,3
YP-M2	1,90	1,90	1,78	1,63	5,72	3,49	8,1	6,4	7,85	10,11	12,85	10,9
YP-M3	1,90	1,82	1,77	1,60	7,4	3,76	6,2	7,0	11,65	12,66	13,55	14,1
YÇ-M0	2,14	2,03	1,95	1,80	6,69	3,26	9,0	8,1	7,78	10,16	10,65	10,4
YÇ-M1	2,08	2,04	1,94	1,77	5,83	4,77	10,3	5,0	8,75	10,86	18,00	13,3
YÇ-M2	2,14	1,98	1,94	1,73	6,52	4,89	6,5	4,6	10,33	10,60	14,55	14,3
YÇ-M3	2,09	2,09	1,96	1,80	6,09	3,73	11,2	4,4	11,63	12,16	13,76	13,0
YK-M0	1,92	1,90	1,81	1,64	9,43	11,64	16,9	17,4	10,97	13,10	15,15	20,6
YK-M1	1,89	1,82	1,72	1,63	13,01	10,19	17,5	12,6	13,74	13,67	22,05	23,1
YK-M2	1,94	1,90	1,77	1,65	11,77	15,3	13,8	16,0	12,48	12,63	17,15	17,0
YK-M3	1,97	1,92	1,81	1,68	11,13	16,54	15,8	13,5	13,89	13,72	17,75	17,2

YBT ve BBT esaslı lifle güçlendirilmiş tüm AAH'ler adına 2, 28, 90 ve 180 günlerde gerçekleştirilen eğilme ve basma mukavemet deney sonuçlarının tümü ve tartılan ağırlıklardan elde edilen birim hacim ağırlıklar (BHA) sıralı bir şekilde Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Lifle güçlendirilmiş tüm AAH numunelerinin MnO_2 'nin özgül ağırlığının yüksek olmasından dolayı hamurda bulunan MnO_2 oranları artması ile beraber BHA'ları da artış göstermiştir. PP elaf ile takviye edilmiş AAH'lerde MnO_2 oranına yapılan arttırış birim hacim ağırlık değerleri ciddi oranda etkili olmuştur. 2 gün yaşına göre YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3'in BHA'ları 28 gün yaşında sırasıyla %3,17, %6,06 azalmış ve %1,05, %4,21 oranında artmıştır. Hacimce %1 ve %2,5 manganlı AAH'lerde bu azalma oranı ihmal edilebilir düzeydedir. %2,5 ve %5 Mangan içerikli sertleşmiş AAH'lerde BHA'nın düşük olmasının sebebi ise üretim esnasında işlenebilirliğin düşüş gösterdiğinden dolayı hamurların yeterli miktar sıkıştırıp yerleştirememesinden kaynaklı bilinmektedir. bütün AAH'lerin 180. günün BHA değerleri 2. Gününkine göre değişik oranlarda azalış sunmuştur. Çelik lifin yoğunluğunun diğer liflerden yüksek olmasından dolayı ÇL'nin kullanılmış olduğu örneklerin BHA'ları diğer örneklerden daha fazla bulunmuştur.



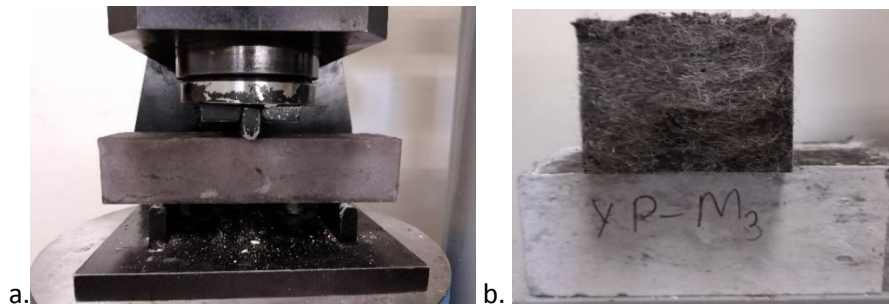
Şekil 4.4. Yeşil tüf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.

Şekil 4.2'ye göre,

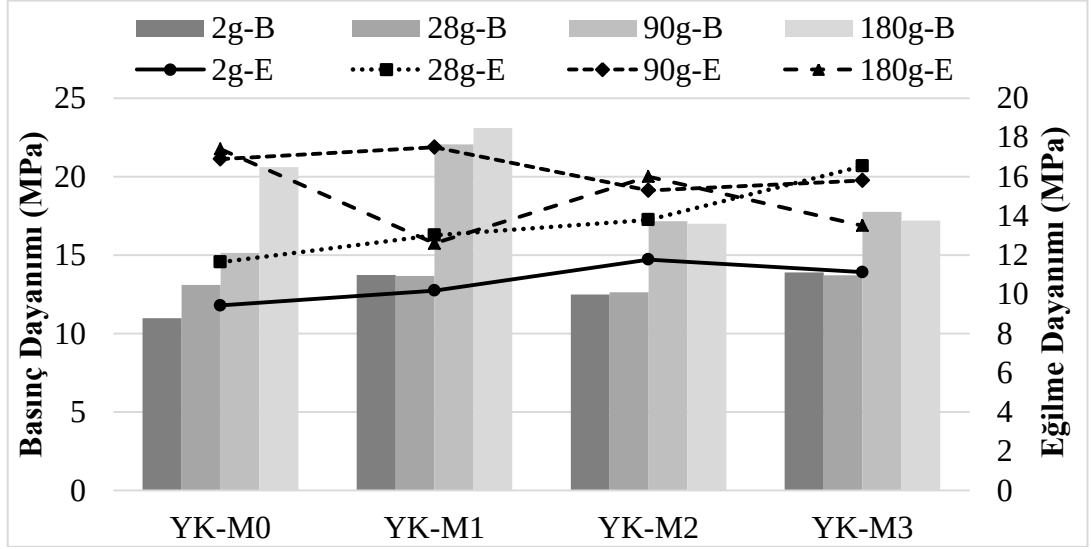
YBT esaslı AAH'lerde mangan ilavesi artmasıyla genel olarak eğilme mukavemetleri artmıştır. AAH'lerde eğilme mukavemetleri zaman ile artmaktadır. Bu yükseliş mangan oranı ilavesine göre farklılık sunmaktadır. PP lifin eğilme dayanımı basınç dayanımına oranı 6/10 (0.6)'dur. 90 günlük deneyler sonucunda en yüksek eğilme değerinin YP-M2 hamuruna, en düşük sonucun ise YP-M0 hamuruna

ait olduğu görülmektedir. 28 günlük verilere kıyasla YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 gruplarının eğilme dayanımları sırasıyla %31, %60, %43 ve %40 oranında artmıştır.

2 günlük basınç dayanımı deneylerinde, mangan oranı arttıkça dayanımların arttığı gözlemlenmektedir. YP-M0'a kıyasla; YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 hamurlarında 2 gün yaşları için sırasıyla %39, %40 ve %60 oranında dayanım artışı gözlenmiştir. 28 günlük sonuçlar sıralamanın değişmediğini, basınç dayanımında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3'ün sırasıyla %36, %19, %23 ve %8 oranında artış gösterdiğini ifade etmektedir. 90 günlük basınç dayanımı verileri doğrultusunda en yüksek değerin YP-M3'e, en düşük değerin ise YP-M0'a ait olduğu görülmüştür. 28 günlük sonuçlara göre YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 kompozit hamurlarının dayanımı sırasıyla %31, %40, %57 ve %40 oranında artmıştır. Üretim esnasındaki nemin %10-15 civarında olup sonradan %25-30 seviyesine yükselmesi dayanım gelişimini olumlu etkili olmuştur. Bu tesir, tüm grupların 2, 28, 90 ve 180. günlerin basma mukavemetlerinin hemen hemen bire bir olmasını görülebilmektedir. 180 günlük basınç dayanımı verileri doğrultusunda en yüksek değerin YP-M3'e, en düşük değerin ise YP-M0'a ait olduğu görülmüştür. 90 günlük sonuçlara göre YP-M0, YP-M1 ve YP-M3 kompozit hamurlarının dayanımı sırasıyla %12, %18 ve %4 oranında artış gösterirken YP-M2 hamurunun dayanımı ise %18 azalmıştır. Ayrıca, 180 günlerdeki eğilme ve basma dayanımlarının düşmesine sebep olan dayanıklılık faktörlerden biri olan karbonatlaşmaya, YBT esaslı ve PP lifli örneklerde gözlemlenmiştir. YP-M3'teki artan dayanım ise mangan prosese belirli oranda etkili olmasının göstergesi, %5 optimum oran olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.3. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YP-M3 numunesi. b) PP lifin numune içindeki dağılımı.

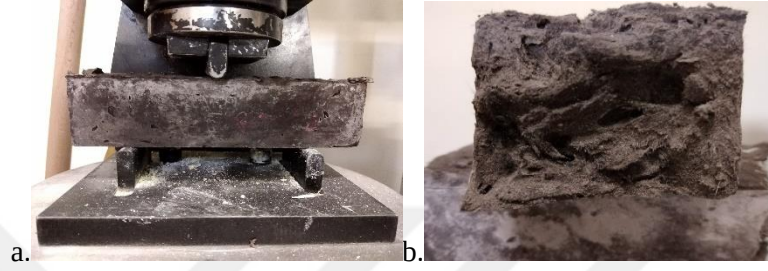


Şekil 4.4. Yeşil tüf esaslı karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanım grafiği.

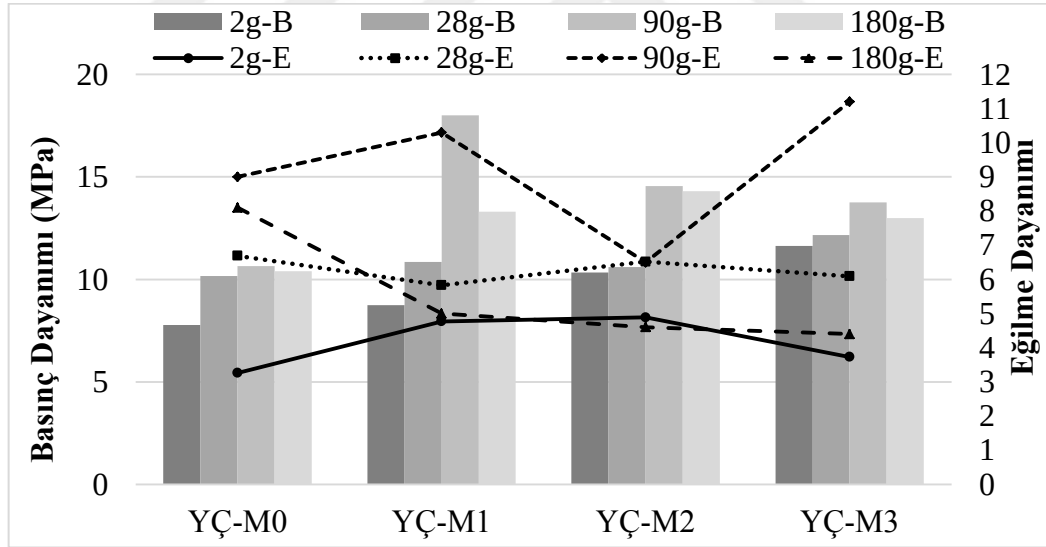
Şekil 4.4'e göre,

YBT esaslı AAH'lerde mangan oranındaki artmayla beraber eğilme mukavemetleri erken süreçte artmış, geç süreçte azalmıştır. AAH dökümlerinde eğilme mukavemetleri genel olarak zaman ile artış göstermektedir. Bu yükseliş değişken mangan oranıyla birlikte farklılık göstermektedir. Mangan oranındaki artma ile beraber tüm grupların basma mukavemetlerinin de yükselmiştir. Deneylere dayalı çalışmalardan elde edilmiş olan bir başka ehemmiyetli bilgi KL'nin eğilme dayanımlarının basınç dayanımlarına oranı 4/5 (0,8)'tir. En yüksek eğilme dayanımı 2 gün yaşında YK-M1 numunesinde elde edilmiştir. YK-M0, YK-M2 ve YK-M3'ün 2 – 28 gün yaş aralığında eğilme dayanımları sırasıyla %23,44, %30 ve %48,4 artarken, YK-M1'in eğilme dayanımı %21,68 azalmıştır. YK-M3 hamurundan 2 günde en düşük, 28 günde en yüksek eğilme dayanımı bulunmuştur. KL'ler, eğilme dayanımı için ehemmiyetli bir bileşen olup toz bileşenlere göre düşük yoğunluğundan dolayı matris içerisinde Şekil 4.6-b'de de gösterildiği üzere eşit (homojen) dağılmak yanında gereci gevrek bir yapıdan daha esnek durumda buldurmıştır. 90 günde maksimum eğilme mukavemete YK-M1 hamurunda, minimum eğilme mukavemeti ise YK-M2 hamurundadır. 180 günleri için ise maksimum ve minimum dayanımlar sırasıyla YK-M0 ve YK-M1 hamurundadır. YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 hamurlarının 2 – 180 günlük eğilme dayanımları sırasıyla %84,5, %34,5, 35,9 ve %21,3 artmıştır.

Referans AAH'a göre, mangan oranı arttıkça basınç dayanımı her bir süreçte artmıştır. Ancak en yüksek basınç dayanımı hacimce %2,5 (ağırlıkça %2) MnO_2 katkısı sonucunda elde edilmiştir. YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 hamurlarının 2 günlük basınç dayanımları referans hamura (YK-M0) kıyasla sırasıyla %25,25, %13,76 ve %26,62 yüksektir. 180 günlük basınç dayanımları en yüksek YK-M1'e, en düşük YK-M2'ye ait olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YK-M1 numunesi. b) Karbon lifin numune içindeki dağılımı.

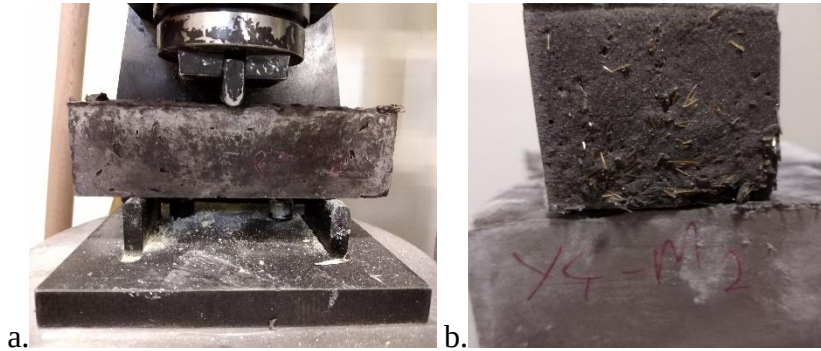


Şekil 4.6. Yeşil tuf esaslı çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

Şekil 4.6'ya göre, YBT esaslı çelik lifle (ÇL) güçlendirilmiş AAH'lerde mangan oranı artmasıyla beraber 2 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri artmış, 90 ve 180. gününün eğilme dayanımları azalmıştır. ÇL'nin eğilme dayanımı basma dayanımına oranlanırsa 5/10 (0,5) bulunmaktadır. 2 ve 180 gün yaşlarında maksimum eğilme

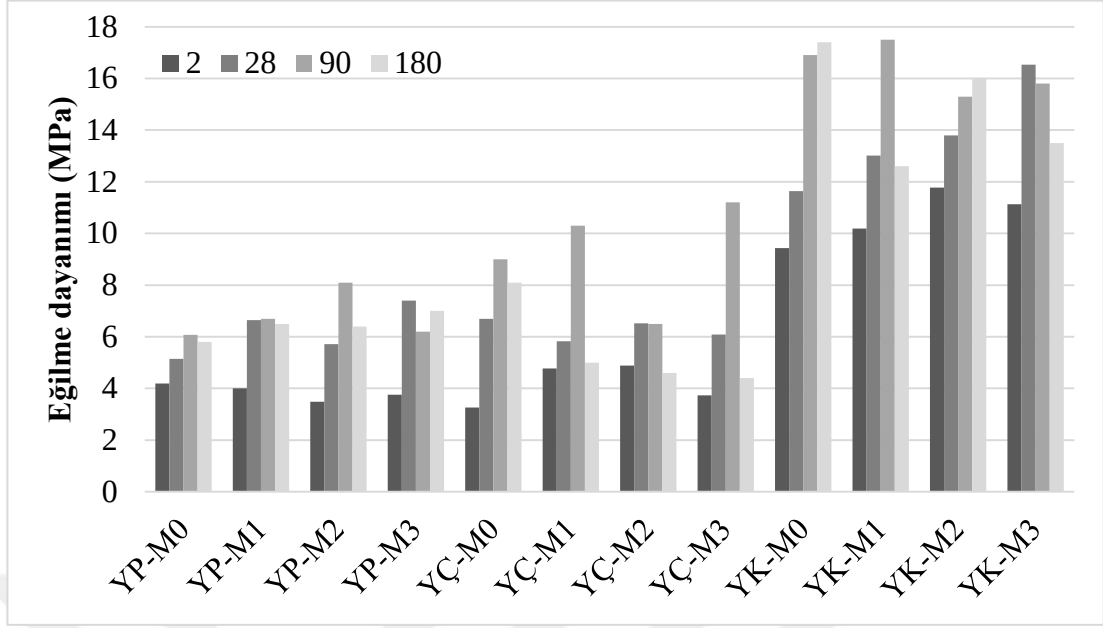
mukavemeti YÇ-M0'da, en düşük eğilme dayanımı 2 gün için YÇ-M1 ve 180 gün için YÇ-M4'te elde edilmiştir. Tüm AAH'lerin eğilme dayanımları 90 güne kadar artmış, ardından 180 güne kadar azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 90 gün yaşında YÇ-M3 hamurunda, en düşük eğilme dayanımı ise YÇ-M2 hamurunda olduğu görülmektedir.

Mangan oranı arttıkça basınç dayanımları da artmıştır. Basınç dayanımları ilk 90 günlük süreçte artarken, sonrasında farklı oranlarda azalmıştır. YÇM0, YÇM2 ve YÇM3 hamurlarında 90 – 180 gün arasındaki basınç dayanım kaybı önemsiz seviyedeysen YÇM1 hamurunda basınç dayanım kaybı yaklaşık %18 mertebesinde. Referans hamura (YÇ-M0) kıyasla; YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 hamurlarının 2 günlük basınç dayanımları sırasıyla %12,47, %23,78 ve %49,49 artmıştır. YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3'ün 2 – 28 gün arasında basınç dayanımları sırasıyla %30,59, %24,11, %2,61 ve %4,56 artmıştır. 90 günlük maksimum basma mukavemeti YÇ-M1'de, minimum YÇ-M0'da gerçekleşmiştir. 2 – 180 günlük basınç dayanımı gelişimi YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 hamurları için sırasıyla %33,7, %52, %38,4 ve %11,8 oranında artmıştır.

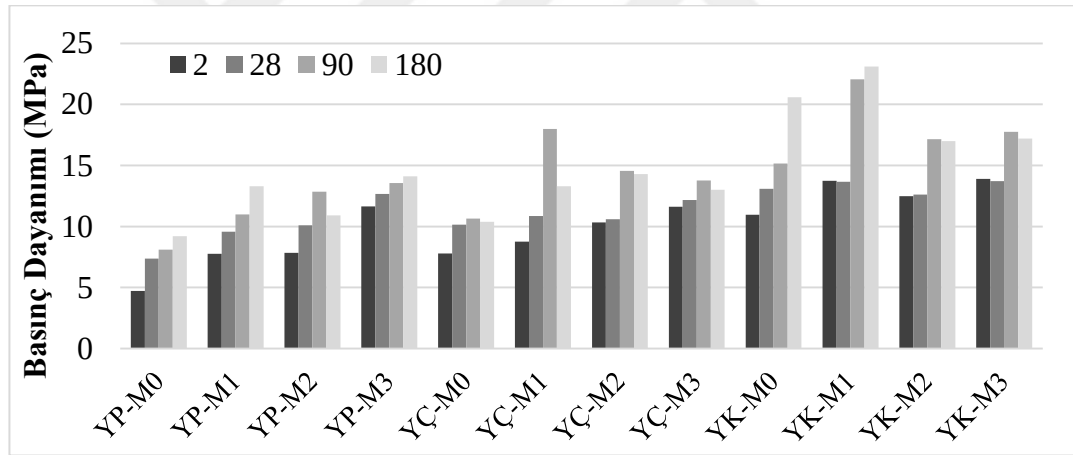


Şekil 4.7. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan YÇ-M2 numunesi. b) Çelik lifin numune içindeki dağılımı.

Şekil 4.8'de verilen histogramda bütün YBT esaslı serilerin 2, 28, 90 ve 180 günlükler eğilme dayanımı sonuçları, Şekil 4.9'da verilen histogramda ise basma dayanımı sonuçları birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.8. Yeşil tüf esaslı tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.



Şekil 4.9. Yeşil tüf esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.

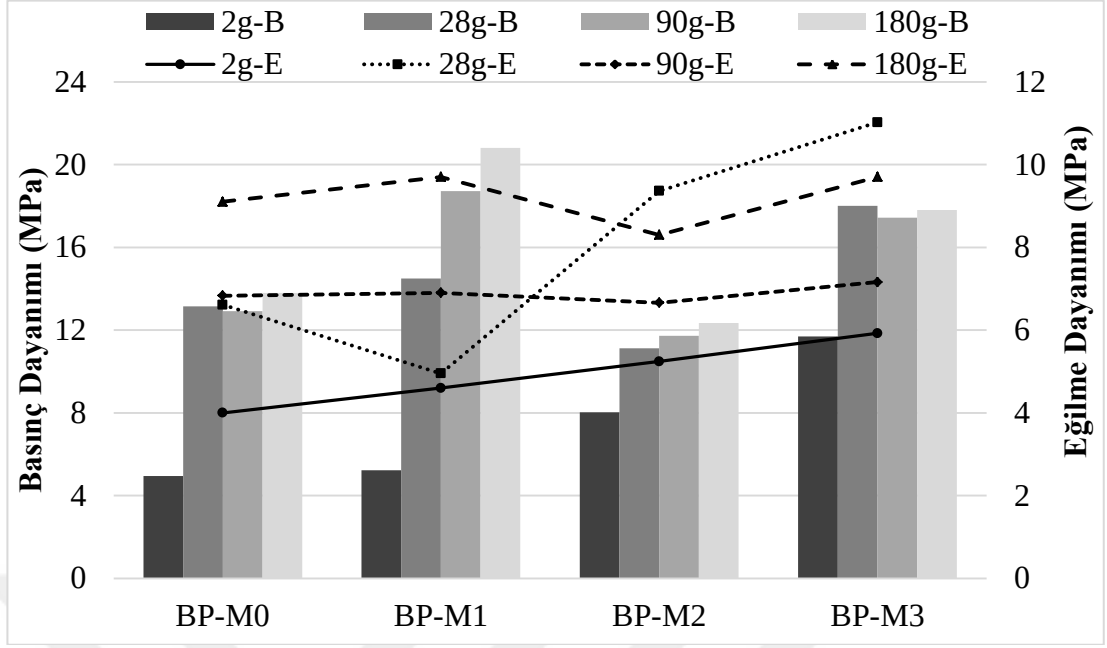
Tüm süreçlerde karbon lifli hamurların eğilme dayanımları en yüksektir. En yüksek eğilme dayanımı 90 gün yaşında YK-M1 hamurunda 17,5 MPa, 180 gün yaşında YK-M0 hamurunda 17,4 MPa ile gerçekleşmiştir. Bunun sebebi KL'nin çekme dayanımının PP fiberin hemen hemen 10 katı ve narinlik oranının yaklaşık 145 katı olduğundan kaynaklanan bilinir. KL'nin örnek içerisindeki gerilme enerjisi transferi kabiliyeti daha fazladır. Çelik liflerin 6 mm olması sebebiyle çelik lifli grupların diğer lif tiplerini içeren gruplarla mukavemet kıyaslamaları yapılmamıştır. Karbon, çelik ve PP lifli AAH'ler arasında, basınç dayanımının 180 günlük değerleri en yüksek YK-M1'de olmuştur. Bu, KL'nin gerilim etkisi altında daha küçük

deformasyon oluşundan ve fazla çözeltiyi emerek gözenek oluşumunu azaltmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Çizelge 4.3. Beyaz tuf esaslı AAH numunelerin BHA, eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.

Kod	BHA (g/cm ³) (gün)				Eğilme Day. (MPa) (gün)				Basınç Day. (MPa) (gün)			
	2	28	90	180	2	28	90	180	2	28	90	180
BP-M0	1,71	1,68	1,62	1,67	4	6,61	6,83	9,1	4,95	13,14	12,91	13,80
BP-M1	1,76	1,74	1,67	1,67	4,6	4,95	9,7	6,9	5,23	14,49	18,71	20,80
BP-M2	1,90	1,68	1,68	1,69	5,24	9,36	6,66	8,3	8,02	11,12	11,73	12,35
BP-M3	1,97	1,83	1,77	1,76	5,92	11,02	7,16	9,7	11,69	18,01	17,43	17,80
BÇ-M0	2,02	1,85	1,80	1,82	6,4	8,18	8,96	5,9	8,24	15,04	20,17	22,10
BÇ-M1	2,05	1,93	1,86	1,82	5,43	9,36	7,81	11,6	11,06	13,97	17,65	22,40
BÇ-M2	2,13	1,98	1,88	1,84	5,98	7,05	5,88	7,7	7,99	12,81	13,93	20,10
BÇ-M3	2,07	1,91	1,93	1,86	5,97	6,43	5,23	9,5	11,54	17,54	14,92	18,20
BK-M0	1,87	1,80	1,62	1,55	7,81	7,81	17,5	15,3	8,62	7,40	17,90	25,70
BK-M1	1,98	1,85	1,72	1,61	9,51	9,51	11,6	16	13,07	7,13	16,25	24,50
BK-M2	1,84	1,84	1,71	1,57	9,84	9,84	8,9	14,3	12,93	7,17	14,35	22,40
BK-M3	1,96	1,91	1,80	1,66	11,86	11,86	14,1	14,6	14,13	7,85	16,10	24,00

Bütün lifle güçlendirilmiş AAH numunelerinin mangan oranları artması ile beraber BHA değerlerinde de artış görülmüştür. Aynı zamanda tüm elyafli takviye edilmiş AAH'lerde zaman ilerlemesi ile birlikte BHA değerleri azalmıştır. PP ile güçlendirilmiş AAH'lerde 2 – 180 günlük numunelerin BHA'ları %6 azalmıştır, Çelik ve karbon ile güçlendirilmiş AAH'lerin BHA'ları sırasıyla %11 ve %16 azalış göstermiştir. elyafların karışımda her yönde eşit ve homojen olarak dağılabilmesi için ve segragasyonun önüne geçebilmek için az sıkıştırılmasına karşın, çelik lifin eklendiği karışımların BHA'ları diğerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. PP, karbon ve çelik lifli AAH'lerin BHA'ları sırasıyla ortalama 1,7 g/cm³, 1,6 g/cm³ ve 1,8 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. Beyaz tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

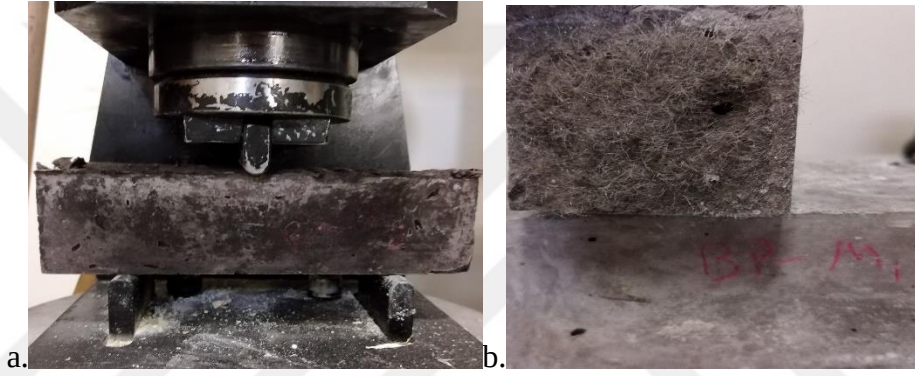
Şekil 4.10'a göre, BBT esaslı AAH'lerde mangan oranı artmasıyla birlikte eğilme mukavemetleri artmıştır. 180 günlük değerler 28 günlük değerleriyle kıyasla BP-M0 ve BP-M1 sırasıyla %37,67 ve %39,39 oranda artış gösterirken BP-M2 ve BP-M3 sırasıyla %11,32 ve %11,98 oranda azaldığı gözlemlenmiştir. 2 ve 180. günü yaşında maksimum eğilme dayanımları BPM3'te, minimum eğilme dayanımı BPM0 ve BPM2'de elde edilmiştir. 180 gün yaşındaki eğilme dayanımları hemen hemen birbirlerine eşit elde edilmiş olup yaklaşık olarak 9 MPa limitlerindedir.

Beyaz tuf esaslı AAH'lerde mangan oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Basınç dayanımlarının artış oranları referans AAH'lerde düşük seviyelerde iken, manganlı AAH'lerde artış oranları yükselmiştir. Bunun sebebi MnO_2 'nin reaksiyonlara dahil olarak aktivasyonu hızlandırmasından kaynaklanmaktadır. PP elyafın eğilme mukavemetinin basma mukavemetine oranı 6/10 (0,6) olarak hesapla bulunmuştur.

2. günü yaşında maksimum eğilme mukavemeti BP-M3 sertleşmiş hamurunda 6 MPa olarak ölçülmüştür. BP-M1 hamuru 28. günü değerleri arasında minimum değer sunurken 90. günü değeri maksimum olandır. PP fiber, eğilme değerlerinde ciddi bir

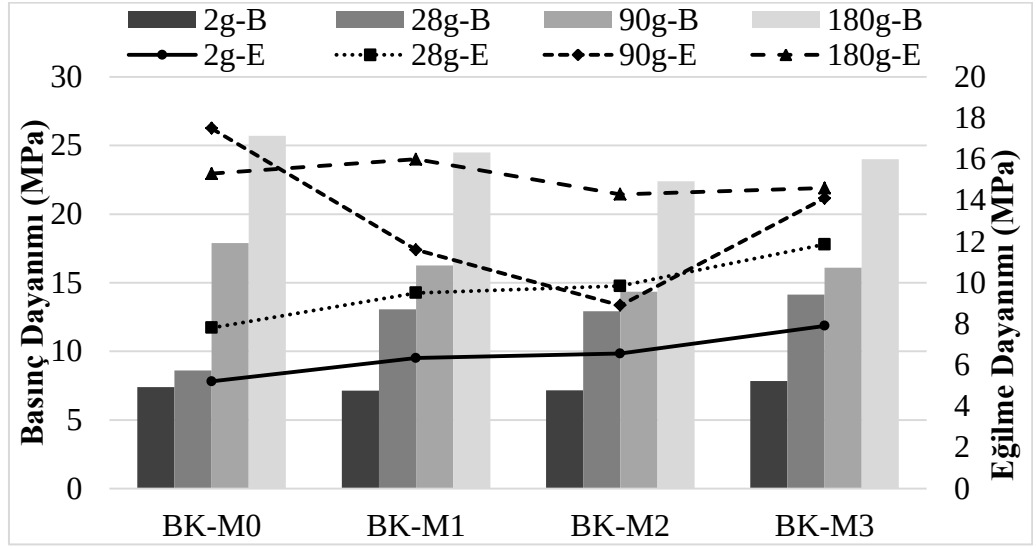
etki eden olup düşük yoğunluğunluğa sahip olması itibarıyla matrisin içinde Şekil 4.11-b'de de gösterildiği üzere homojen (her yönde eşit) dağılma sağlamış, güçlendirmesi, malzemeye belli oranda süneklik özelliğini kazandırmıştır.

90 günlük deneyler sonucunda artan MnO_2 oranı doğrultusunda eğilme dayanımlarının arttığı, en yüksek eğilme değerinin BP-M3 hamurunda, en düşük sonucun ise BP-M2 hamurunda olduğu görülmektedir. 28 günlük verilere kıyasla BP-M0 ve BP-M1 AAH'lerin eğilme dayanımı sırasıyla %3,33 ve %95,96 artarken, BP-M2 ve BP-M3'ün eğilme dayanımları sırasıyla %28,85 ve %35,03 azalmıştır.



Şekil 4.5. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BP-M1 numunesi. b) PP lifin numune içindeki dağılımı.

2 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçlarında, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 hamurlarının basınç dayanımı referans hamura (BP-M0) kıyasla sırasıyla %3,66, %62,02 ve %136,16 artmıştır. 28 günlük sonuçlar, tüm hamurlarda 2 gün yaşa göre dayanımların arttığını, en yüksek dayanım kazancının BP-M3 hamurunda olduğunu göstermekte, dayanımda BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3'ün sırasıyla %165,45, %171,32, %38,65 ve %54,06 oranında olumlu yönde değişkenlik gösterdiğini ifade etmektedir. 180 günlük basınç dayanımı verileri doğrultusunda en yüksek değer (20,8 MPa) BP-M1'e, en düşük değerin ise (12,35 MPa) BP-M2'e ait olduğu görülmüştür. 28 günlük sonuçlara göre BP-M0, BP-M1 ve BP-M2 AAH'lerin basınç dayanımı sırasıyla %5,05, %43,55 ve %11,06 oranında artarken, BP-M3'ün dayanımı ise %1,17 düşmüştür. Netice olarak; BP-M1'deki mukavemet yükselişi manganın sisteme belli oranda etken olduğunu gösterip, %1 oranı optimum oran olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.6. Beyaz tüf esaslı kırılmış karbon lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımları.

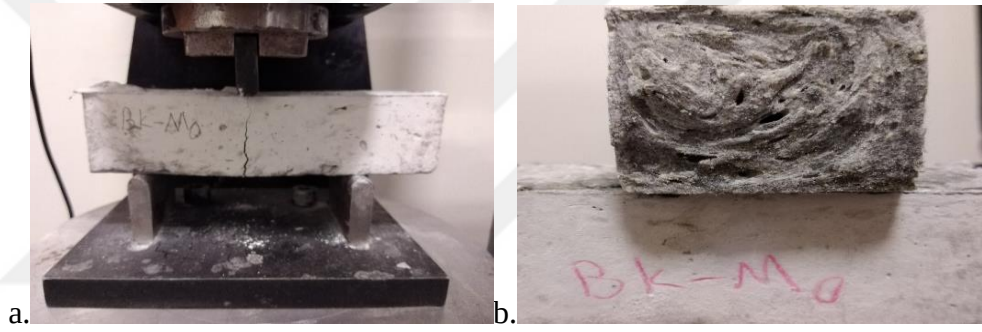
Şekil 4.12'ye göre, BBT esaslı karbon lifli AAH'lerde mangan oranındaki artışla birlikte eğilme mukavemetlerinde yükselme görülmüştür. AAH'lerde eğilme mukavemetleri zaman ilerlemesiyle 90 gün BK-M2 numunesi haricinde artmaktadır. Bu yükselişler MnO_2 ilavesine göre farklılık sunmaktadır.

Mangan oranı artmasıyla 2 günün basma dayanımlarının arttığı, 180 günlük basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Ancak basınç dayanımları tüm AAH'lerde zamanla artmaktadır. Karbon fiberin eğilme mukavemetinin basma mukavemetine oranı 7/10 (0,7) olarak hesap yoluyla bulunmuştur.

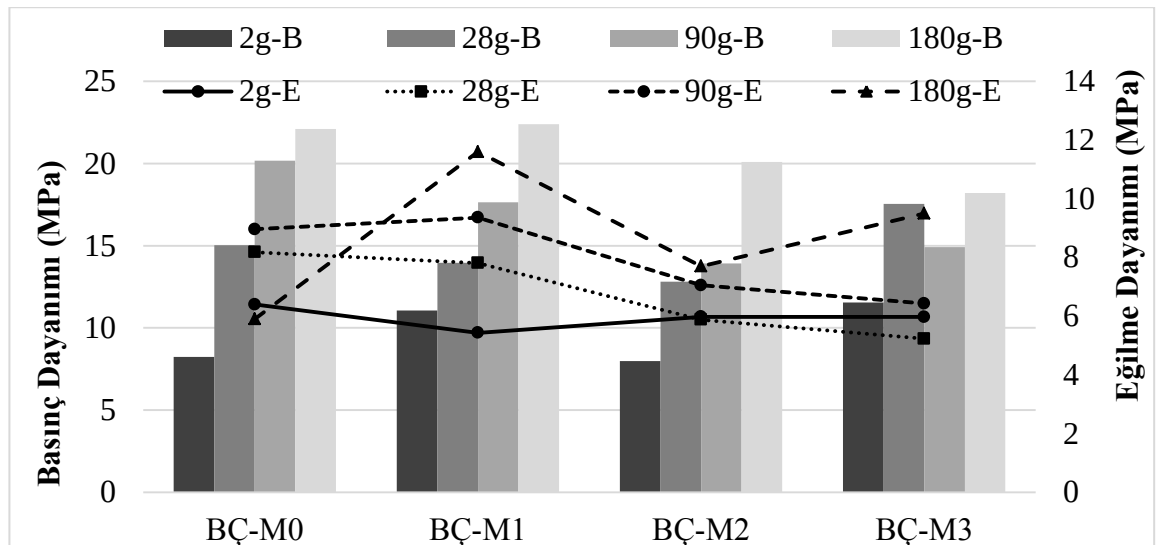
2 gün yaşında maksimum eğilme mukavemeti BK-M3 numunesinde görülmektedir. 90 günlük ölçümlerde ise BK-M0, BK-M1 ve BK-M3 gruplarının eğilme dayanımları sırasıyla %124,07, %21,98 ve %18,89 artarken, BK-M2 hamurunun eğilme dayanımı %9,55 azalmıştır. BK-M0 hamuru 2. günün değerleri arasında minimum (7,81 MPa) değeri sunarken 90. günün değeri ise (17,5 MPa) olarak maksimum olmaktadır. KL, eğilme sonuçlarında önemli bir etken olup Şekil 4.13-b'de de görüldüğü üzere homojen dağılmış, takviyesi, malzemeye süneklik özelliği kaandırmıştır. 180 günlük deneyler sonucunda en yüksek eğilme dayanımı (16 MPa) BK-M1'de, en düşük eğilme dayanımı ise (14,3 MPa) BK-M2'de olmuştur. 90 günlük verilere kıyasla BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 gruplarının dayanımı sırasıyla

%37,93, %60,67 ve %3,55 oranında gelişim gösterirken BK-M0 hamurunun dayanımı ise %12,57 azalmıştır.

2 günlük basınç dayanımı deneylerine göre, mangan oranı arttıkça basınç dayanımları artmaktadır. Referans hamura (BK-M0) kıyasla; BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 hamurlarında sırasıyla %51,65, %50 ve %63,92 oranında mukavemet yükselişi bulunmuştur. maksimum 180 günlük basma dayanımı BK-M0 (25,7 MPa), en düşük basınç dayanımı ise BK-M2'ye (22,4 MPa) ait olduğu görülmüştür. 2 günlük sonuçlara göre tüm gruplarda dayanımların arttığı; BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 kompozit hamurlarının dayanımlarının sırasıyla %198,14, %87,45, %73,24 ve %69,85 oranında artış sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BK-M0 numunesi. b) Karbon lifin numune içindeki dağılımı.

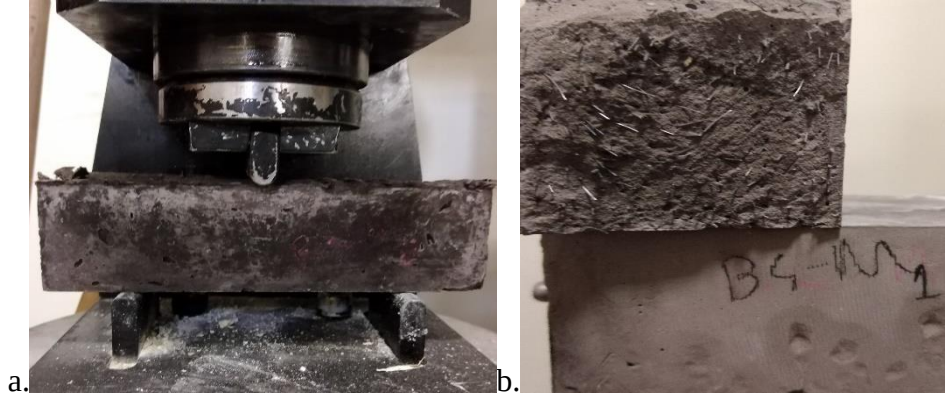


Şekil 4.8. Beyaz tüf esaslı çelik lifle güçlendirilmiş AAH'lerin eğilme ve basınç dayanımı sonuçları.

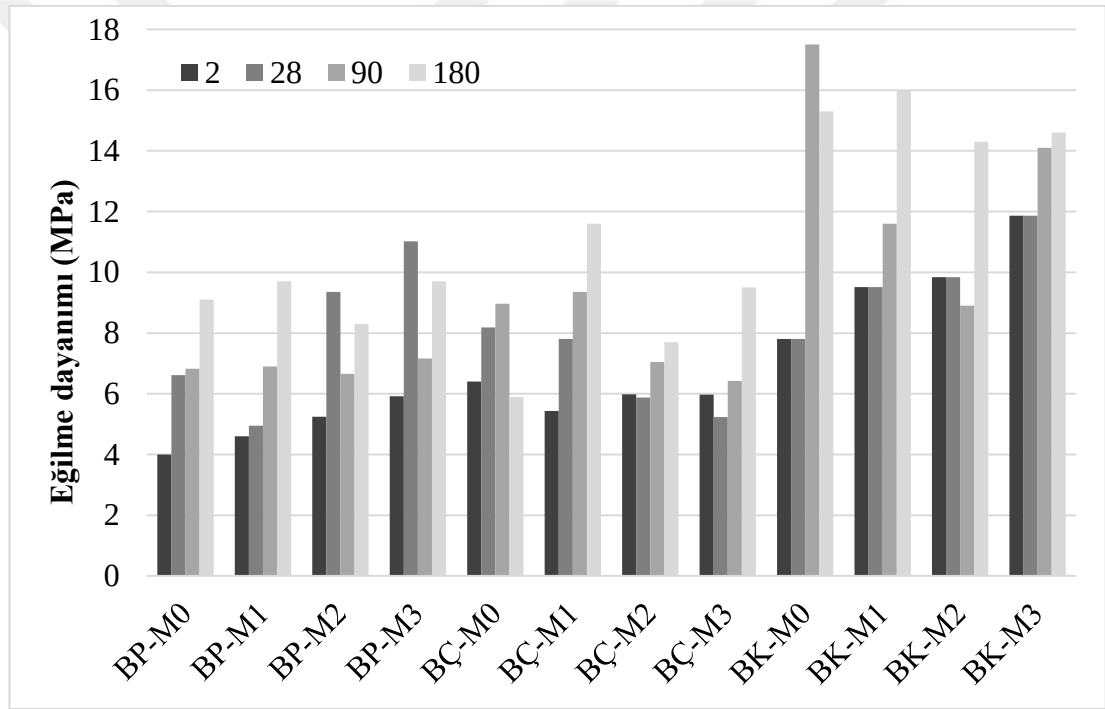
Şekil 4.14'e göre, beyaz tüf esaslı AAH'lerde 90 gününde mangan oranı artması ile birlikte eğilme mukavemetleri önemsiz derecede azalış göstermiştir. AAH'lerde BÇ-M0 dışında eğilme mukavemetleri zaman ilerlemesiyle 180 güne kadar artmaktadır. Bazı seriler hariç mangan oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalma meydana gelmektedir. ÇL'nin eğilme mukavemetlerinin basma mukavemetlerine oranı 1/2 (0,5) olarak hesapla bulunmuştur.

2 gün yaşında maksimum eğilme dayanımı BÇ-M0 sertleşmiş hamurunda görülmektedir. 28 günlük deneylerde ise BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 gruplarının eğilme dayanımları sırasıyla %27,81, %72,38, %17,89 ve %7,71 oranında gelişim göstermiştir. BÇ-M1 numunesi 2. gün değerleri arasında minimum değer sunurken 180. gün sonucu maksimum olmuştur. 180 günlük deneyler sonucunda en yüksek eğilme değerinin BÇ-M1 hamurunda, en düşük sonucun ise BÇ-M0 hamurunda olduğu görülmektedir. 28 günlük verilere kıyasla BÇ-M0'ın dayanımı % 27,87 oranında azalış gösterirken BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 gruplarının dayanımları ise sırasıyla % 23,93, % 9,22 ve %47,74 artmıştır.

Referans hamura (BÇ-M0) kıyasla; BÇ-M1 hamurunun basınç dayanımı %14,43 artarken, BÇ-M2 ve BÇ-M3 hamurlarında sırasıyla %13,81 ve %21,39 oranında dayanım kaybı söz konusudur. 28 günlük sonuçlar, 2 günlüğe göre en yüksek dayanım kazancının BÇ-M1 grubunda olduğunu göstermekte, mukavemette BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3'ün sırasıyla %27,81, %72,38, %17,89 ve %7,71 oranında yükseliş gösterdiğini ifade etmektedir. 180 günlük basınç dayanımı verileri dahilinde, BÇ-M0 referans numunesine göre artan mangan oranı doğrultusunda dayanımların en yüksek değerinin 22,40 BÇ-M1'e, en düşük değerinin ise 18,20 MPa ile BÇ-M3'e ait olduğu görülmüştür. 2 günlük sonuçlara göre tüm gruplarda dayanımların arttığı; BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BK-M3 kompozit hamurlarının dayanımlarının sırasıyla %168,37, %102,62, %151,72 ve %57,78 oranında gelişim sergilediği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; tüm hamurlarda basınç dayanımlarının giderek arttığı, mangan dayanımları olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Optimum oran %2,5 olarak belirlenmiştir.



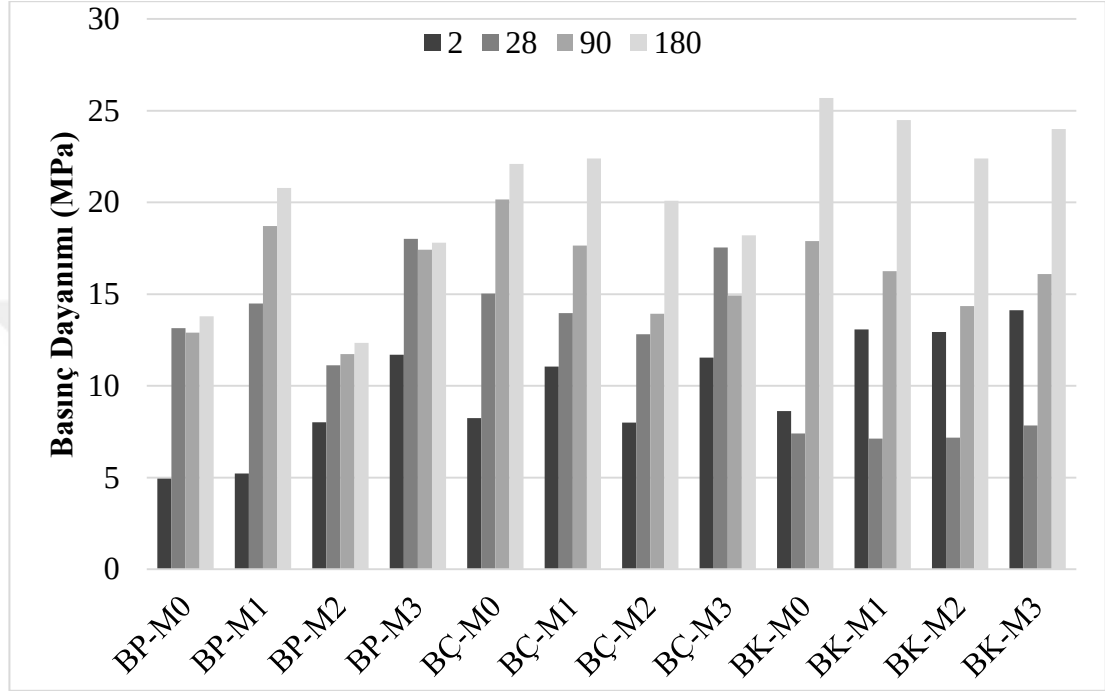
Şekil 4.9. a) Eğilme dayanımı testi uygulanan BÇ-M1 numunesi. b) Çelik lifin numune içindeki dağılımı.



Şekil 4.10. Beyaz tüf esaslı tüm AAH'lerin eğilme dayanımı deney sonuçları.

Şekil 4.16'da verilen histogramda tüm beyaz tüf içerikli grupların 2, 28, 90 ve 180. günü eğilme mukavemeti değerleri, Şekil 4.17'de verilen histogramda ise basma mukavemeti değerleri birlikte verilmiştir. maksimum basma ve eğilme mukavemeti sırası ile BKM0 ve BKM1'de 25,7 MPa ve 17,5 MPa (180 gün) olarak elde edilmiştir. minimum basma ve eğilme mukavemeti sırası ile BPM2 ve BÇM2'de 12,35 MPa ve 5,9 MPa (180 gün) olarak elde edilmiştir. Aynı mangan oranlı polipropilen lifli, Ç ve K elyafli seriler kıyaslamada bulundurduğu zaman, K lifli

numunelerin eğilme mukavemetlerinin tüm günler (2, 28, 90 ve 180) içerisinde daha üstün olduğu gözlemlenmektedir. Aynı mangan oranlı K ve PP lifli seriler karşılaştırıldığında, K lifli örneklerin basma mukavemetleri 2. ve 180. günlerinde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. Beyaz tuf esaslı tüm AAH'lerin basınç dayanımı deney sonuçları.

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

Tüm dökümler kapsamında her bir seride var olan küpik örnekler uygulanmış olan (su absorblama) su emme testi, sertleşme görmüş numuneler üzerinde 2, 28, 90 ve 180. günlerinde uygulanmıştır. 180 yaşta, yeşil tuf içerikli çelik takviyeli hamurlarda, 28 ve 180 yaşlarda Ç fiberle güçlendirilmiş olan BBT katkılı dökümlerde ve 2 günlük karbon fiberle güçlendirilmiş olan BBT katkılı tüm örneklerde oluşan deformeler (çatlama, dağılma, şişme vb.) nedeniyle su absorblama testi uygulanamamıştır. YBT ve BBT tufu ile üretilen Grupların su emme ve görünür porozite deney değerleri sırası ile Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. YBT ile üretilen Sertleşmiş hamurların su emme (S) ve görünen porozite (Pg) değerleri.

Kod	2 gün		28 gün		90 gün		180 gün	
	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)
YP-M0	35,40	46.99	33.29	44.58	30.76	40.14	27.95	36.59
YP-M1	34,75	46.66	32.22	43.96	29.07	38.40	27.00	36.24
YP-M2	35.08	47.23	31.95	43.89	25.16	34.53	22.65	31.54
YP-M3	34.01	46.65	30.60	43.12	30.17	40.66	20.43	28.57
YÇ-M0	31.01	47.91	28.84	45.39	-	-	-	-
YÇ-M1	29.05	47.52	27.82	45.13	23.01	36.38	-	-
YÇ-M2	31.17	49.52	28.46	46.12	-	-	-	-
YÇ-M3	30.45	49.28	24.74	42.24	30.42	43.88	-	-
YK-M0	34.82	46.12	31.83	43.56	23.70	32.72	21.86	31.01
YK-M1	36.94	49.28	32.80	44.79	25.08	35.14	21.23	30.16
YK-M2	35.73	47.95	32.09	43.63	26.45	36.27	22.53	32.03
YK-M3	35.08	47.97	31.36	43.88	23.86	33.47	22.38	32.00

Çizelge 4.4'teki verilere göre YBT ile üretilen hamurların 2, 28, 90 ve 180 gün yaşındaki su emme deneyi ve görünen porozite sonuçlarına ilişkin aşağıdaki yorumlar yapılabilir;

%5 oranında mangan bulunduran yeşil tüflü ve PP lifli kompozit hamurun mangan içermeyen hamura göre su emme değeri %26,91, porozitesi %21,92 oranında azalmıştır. BP-M3'ün su emmesinin BP-M0'dan düşük olması, Reaksiyonlar sonucunda zamanla yeni ürünler oluşarak tanecikler arası mesafe kısalmış, koheziflik artmıştır.

YP-M0 (%0), YP-M1 (%1), YP-M2 (%2,5) ve YP-M3(%5) gruplarının 180 günlük su emme değerleri 2 gününkine göre kıyasla sırasıyla %21,05, %22,30, %35,43 ve %39,93 düşmüştür. Öte yandan aynı grupların porozite değerleri sırasıyla %22,13, %22,33, %33,22 ve %16,00 oranında azalmıştır.

Yeşil tüflü ve karbon lifli; BK-M0 (%0), BK-M1 (%1), BK-M2 (%2,5) ve BK-M3 (%5) sertleşmiş hamurların 180. günü su absorblama oranları, 2. Gününkine göre sırası ile %37,22, %42,53, %36,94 ve %36,20 oranında azalmıştır. Aynı kıyas düzeni doğrultusunda porozite değerlerindeki sırasıyla %32,76, %38,80, %10,36 ve %87,80'lik düşüşlerle su emme sonuçları desteklenir niteliktedir.

Yeşil tüflü ve çelik lifli; YÇ-M0 (%0), YÇ-M1 (%1), YÇ-M2 (%2,5) ve YÇ-M3(%5) sertleşmiş hamurların 90 ve 180 günlük çözünmesi sonucunda su emme ve porozite değerleri bulunmadığı için, sadece 28 ve 2 günlük değerleri değerlendirilmektedir buna göre 28 günlük değerleri 2 günlüğüne kıyasla sırasıyla %7,00, %4,23, %8,69 ve %18,75 oranında azalmıştır. Aynı kıyas düzeni doğrultusunda porozite değerlerindeki sırasıyla %5,55, %9,11, %9,01 ve %8,53'lük düşüşlerle su emme sonuçları desteklenir niteliktedir.

Sonuç olarak 28 günlük su absorblama (emme) ve porozite sonuçları arasında minimum sonuç YÇ-M3 grubunda bulunup en yüksek sonuç ise YP-M0 bulunmaktadır. 180 günlük sonuçlarını inceleyerek en düşük sonuç YP-M3 grubunda bulunup en yüksek sonuç ise YP-M0 bulunmaktadır. Buna istinaden yeşil tüflü çelik veya PP lif takviyeli dökümlerde mangan oranı arttıkça hamur olumlu davranış gösterip optimum değer %5 kabul edilmektedir. Mangan katkılı örneklerde manganın yüzey alanı geniş bir bileşen olduğundan dolayı boşluklara birikip dolgu görevi alması ve reaksiyon ürünlerinin meydana gelmesinde ciddi rol alması su emme oranı ve porozitenin düşüşünü sağlamaktadır.

Çizelge 4.5. BBT ile üretilen Sertleşmiş hamurların su emme (S) ve görünen porozite (Pg) değerleri.

Kod	2 gün		28 gün		90 gün		180 gün	
	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)	S (%)	P _g (%)
BP-M0	33,28	38,02	27,28	37,06	18,29	27,57	-	-
BP-M1	35,89	37,14	24,33	34,50	16,83	25,68	-	-
BP-M2	35,60	37,15	29,36	39,15	18,97	28,16	-	-
BP-M3	36,09	38,10	29,65	40,61	21,42	31,14	-	-
BÇ-M0	37,08	41,13	-	-	19,24	29,68	-	-
BÇ-M1	33,96	38,40	-	-	20,20	31,19	-	-
BÇ-M2	37,81	36,82	-	-	19,02	30,29	-	-
BÇ-M3	31,13	38,57	-	-	20,81	33,22	-	-
BK-M0	-	-	33,30	41,88	20,21	27,80	19,15	26,47
BK-M1	-	-	33,23	44,12	23,16	32,16	20,63	28,68
BK-M2	-	-	33,35	32,23	23,65	32,12	19,80	27,46
BK-M3	-	-	34,01	45,35	22,94	32,60	17,89	25,76

Çizelge 4.5'teki verilere göre hamurların 2, 28, 90 ve 180 gün yaşındaki su emme deneyi ve görünen porozite sonuçlarına ilişkin aşağıdaki yorumlar yapılabilir;

Beyaz tüflü PP, karbon veya çelik lif takviyeli tüm kompozit hamurlarının zaman ilerledikçe daha olumlu sonuçlar sergilemektedir. Önceki bilgiyi referans alarak farklı deney günleri arasında aşağıdaki bölümlerde kıyaslaması yapılmaktadır.

90 günlük Beyaz tüflü ve PP lifle takviye edilmiş BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 hamurları 2 günlük hamurlara kıyasla su emme değerleri sırasıyla %45,04, %53,11, %46,71 ve %40,65 oranda azalmıştır, aynı kıyaslama doğrultusunda görünen porozite değerleri de sırasıyla %27,49, %30,86, %24,20 ve %18,27 oranda azalmıştır. 90 günlük Beyaz tüflü ve PP lifle takviye edilmiş BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 hamurları su emme değerleri BP-M0 referans numunesine göre sırasıyla %-7,98, %+3,72 ve %+17,11 oranda değişkenlik göstermesiyle optimum mangan oranı %1 olarak belirtilmektedir.

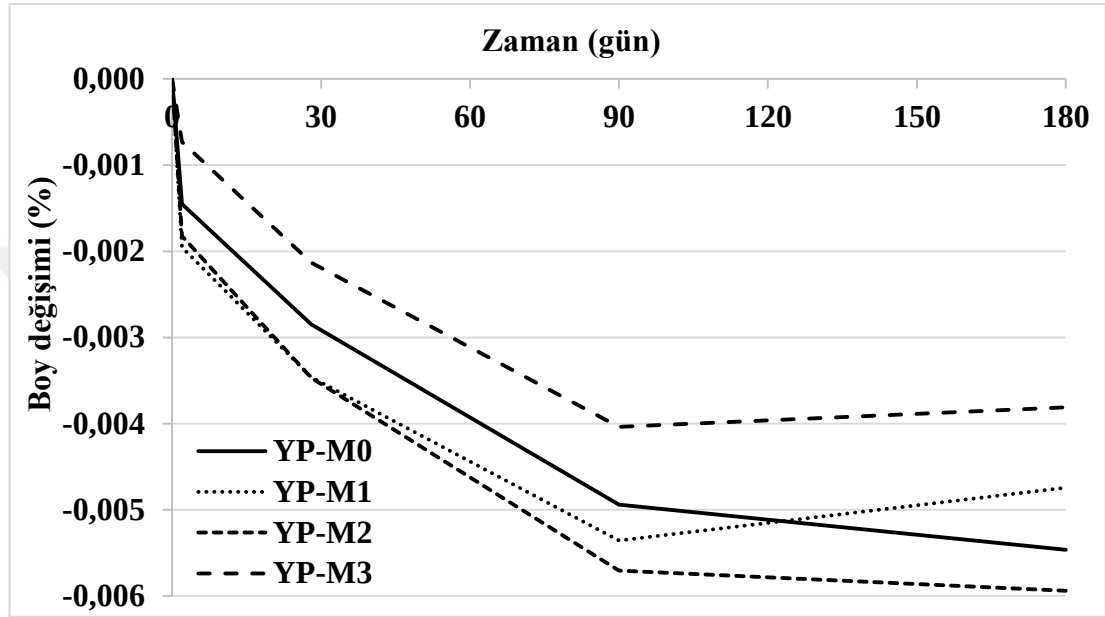
90 günlük Beyaz tüflü ve çelik lifle takviye edilmiş BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 hamurları 2 günlük hamurlara kıyasla su emme değerleri sırasıyla %48,11, %40,52, %49,70 ve %33,15 oranda azalmıştır, aynı kıyaslama doğrultusunda görünen porozite değerleri de sırasıyla %27,84, %18,78, %17,73 ve %13,87 oranda azalmıştır. 90 günlük Beyaz tüflü ve çelik lifle takviye edilmiş BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 hamurları su emme değerleri BÇ-M0 referans numunesine göre sırasıyla %4,99, %-1,14 ve %+18,16 oranda değişkenlik göstermesiyle optimum mangan oranı %2,5 olarak belirtilmektedir.

180 günlük Beyaz tüflü ve karbon lifle takviye edilmiş BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 hamurları 90 günlük hamurlara kıyasla su emme değerleri sırasıyla %5,24, %10,92, %16,28 ve %22,01 oranda azalmıştır, aynı kıyaslama doğrultusunda görünen porozite değerleri de sırasıyla %95,22, %10,82, %14,51 ve %20,98 oranda azalmıştır.

180 günlük Beyaz tüflü ve karbon lifle takviye edilmiş BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 hamurları su emme değerleri BK-M0 referans numunesine göre sırasıyla %+7,73, %+3,39 ve %-6,58 oranda değişkenlik göstermesiyle optimum mangan oranı %5 olarak belirtilmektedir.

Bu deney sonucunda 90. günde BBT PP, elik veya karbon lifle takviye edilen gruplar arasında su emmenin en olumlu değeri BP-M1’e ait, en olumsuz ise BK-M2 numunesine ait olup optimum mangan oranı %1 olarak belirtmektedir.

4.4. BÜZÜLME DENEYİ SONUÇLARI VE DEğERLENDİRME

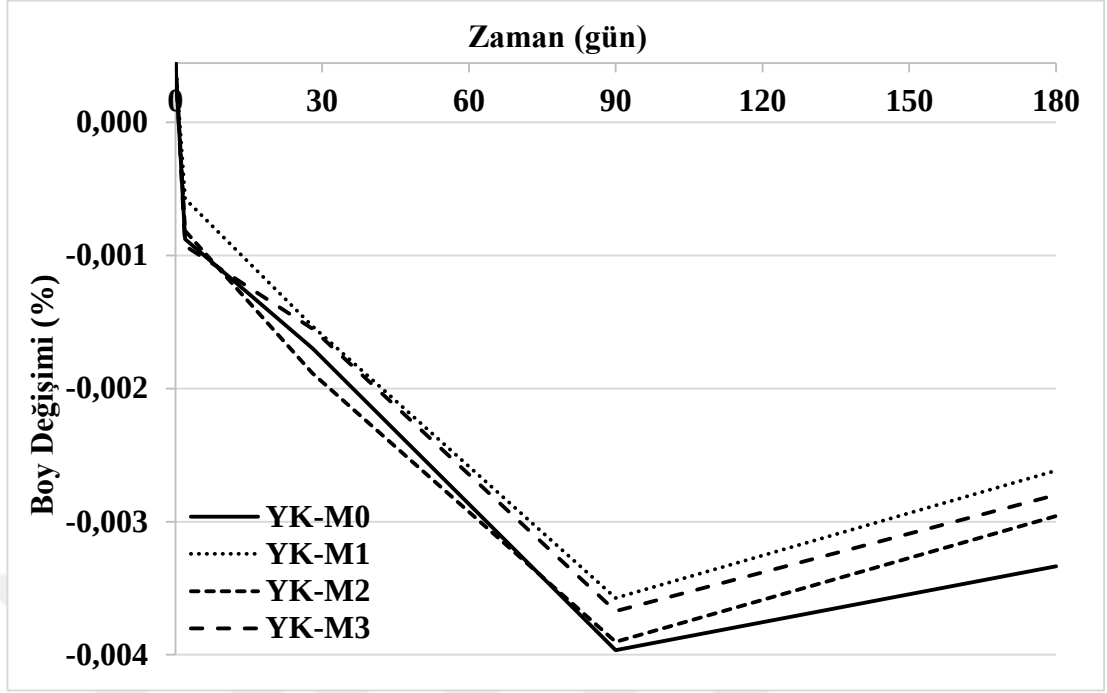


şekil 4.18. Yeşil tuf içerikli ve pp lif takviyeli grupların büzölme sonuçları.

şekil 4.18’de gösterilen büzölme sonuçlarına göre yapılmış olan değerlendirmeler aşağıdaki kısımda maddeler halinde belirtilmiştir;

YBT esaslı PP lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranıdaki arttışla birlikte büzölme oranları genel itibarıyla azalış gösetermiştir. Zamanla tüm numunelerde büzölme oranları artmaya devam etmekte olup YP-M3 hariç tüm numuneler hamurlarındaki hacim değişimleri 90 günden sonrası birbirine çok yakındır.

PP lifli üretimlerde mangan kullanımının büzölmeyi azalttığı, kür süresi boyunca genel itibarıyla büzölme devam ettiği görölmüştür. 180 günlük maksimum büzölme değerleri YP-M3 numunesiyle kıyaslandığında; YP-M0’ın büzölmesi %3,71, manganlı gruplarda en yüksek büzölmeye sahip olan YP-M2’nin büzölmesi ise %4,90 oranda artmıştır.

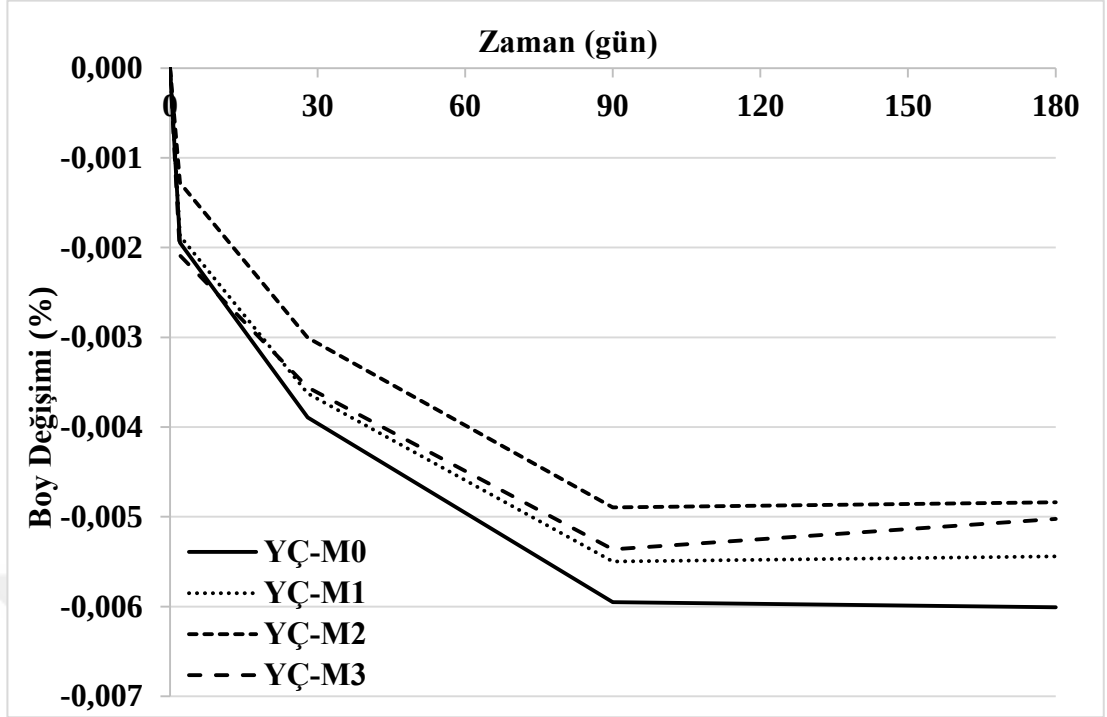


Şekil 4.19. Yeşil tuf içerikli ve karbon lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.

Şekil 4.19’da verilen büzülme sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

Yeşil tuf esaslı karbon lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranındaki artışla birlikte büzülme oranları genel itibarıyla azalış göstermiştir. Zaman ilerledikçe bütün örneklerde büzülme oranları artış göstermeye sürüp YK-M1 hariç tüm numuneler hamurlarındaki hacim değişimleri 90 günden sonrası birbirine çok yakın olmuştur.

Karbon lifli üretimlerde mangan kullanımının belli oranda büzülmeyi azalış gösterdiği, kütleme süresi boyunca genel itibarı ile büzülme devam ettiği bulunmuştur. 180. günü en yüksek büzülme değerleri YK-M1 numunesiyle karşılaştırıldığında; YK-M0’ın büzülmesi %1,01 oranda olup, manganlı gruplarda en yüksek büzülmeye sahip olan YK-M2’nin büzülmesi ise %1,00 oranda artmıştır.

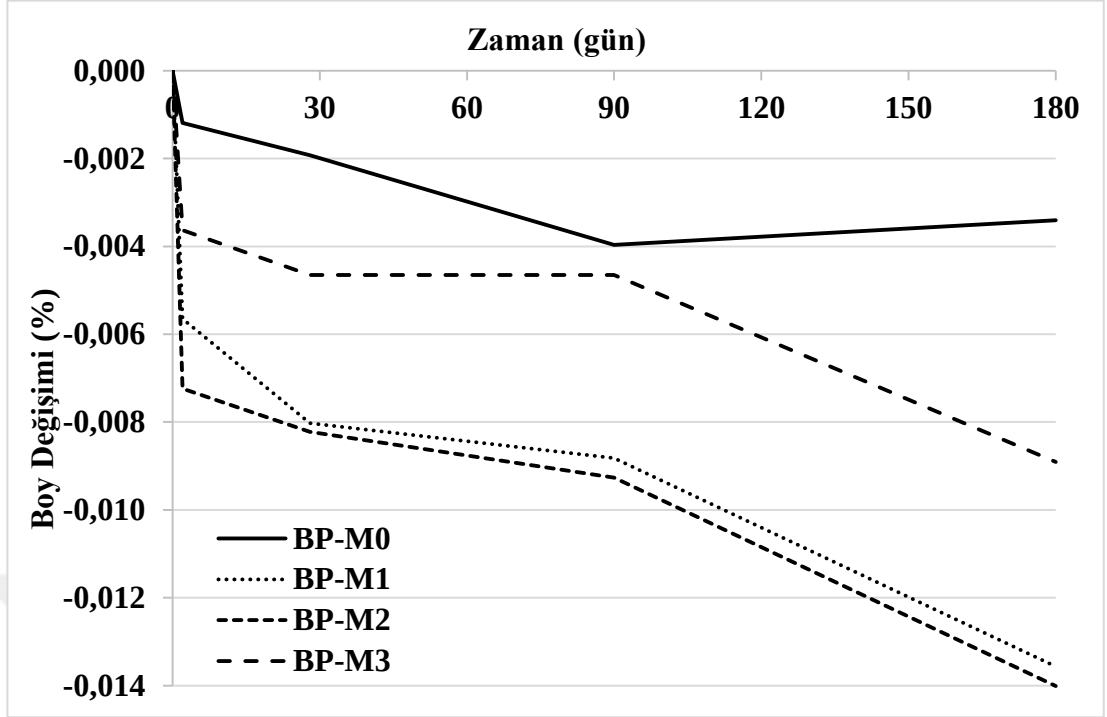


Şekil 4.20. Yeşil tuf içerikli ve çelik lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.

Şekil 4.20’de verilen büzülme sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

Yeşil tuf esaslı çelik lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranı arttıkça YÇ-M0 referans numunesine göre büzülme oranları genel itibarıyla azalmıştır. Zamanla YÇ-M2 ve YÇ-M3 numunelerde büzülme oranları artmaya devam etmekte olup 90 günden sonrası birbirine çok yakın olmuştur.

Çelik elyaflı dökümlerde mangan kullanmasıyla büzülme azalış gösterdiği, kürleme süresi boyunca genel itibarıyla numuneler büzülme devam ettiği gözlemlenmiştir. 180. günü en yüksek büzülme sonuçları YÇ-M0 numunesiyle karşılaştırıldığında; YÇ-M3’e ait olan büzülme %1,37 oranda olup, manganlı serilerden maksimum büzülme sahibi olan YÇ-M1’in büzülmesi ise %1,81 oranda azalmıştır.

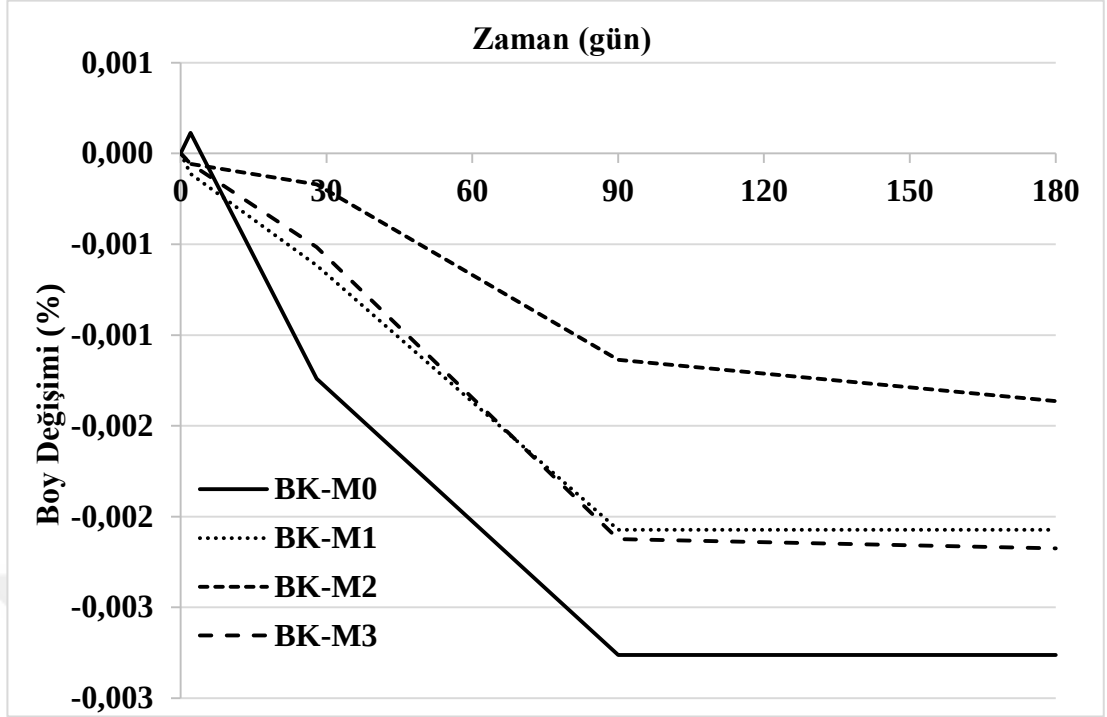


Şekil 4.21. Beyaz tüf içerikli ve pp lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.

Şekil 4.21’de verilen büzülme sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

Beyaz tüf esaslı PP lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranı arttıkça BP-M0 referans numunesine göre büzülme oranları genel itibarıyla azalmıştır. Zamanla BP-M1 ve BP-M2 numunelerde büzülme oranları artmaya devam etmekte olup 90 günden sonrası birbirine çok yakın olmuştur. Ayrıca 90 gününden sonra tüm PP gruplarında anı büzülme artışı gözlemlenmiştir.

PP lifli dökümlerde mangan katkısının büzülmeyi belli oranda engellediği, kütleme süresi boyunca genel olarak büzülme devam ettiği gözlemlenmiştir. 180. günü en yüksek büzülme sonuçları BP-M0 numunesiyle karşılaştırıldığında; BP-M3’ün büzülmesi %0.45 oranda olup, manganlı serilerde maksimum büzülmeyi sahiplenmiş olan BP-M1’in büzülmesi ise %2.09 oranda azalmıştır.

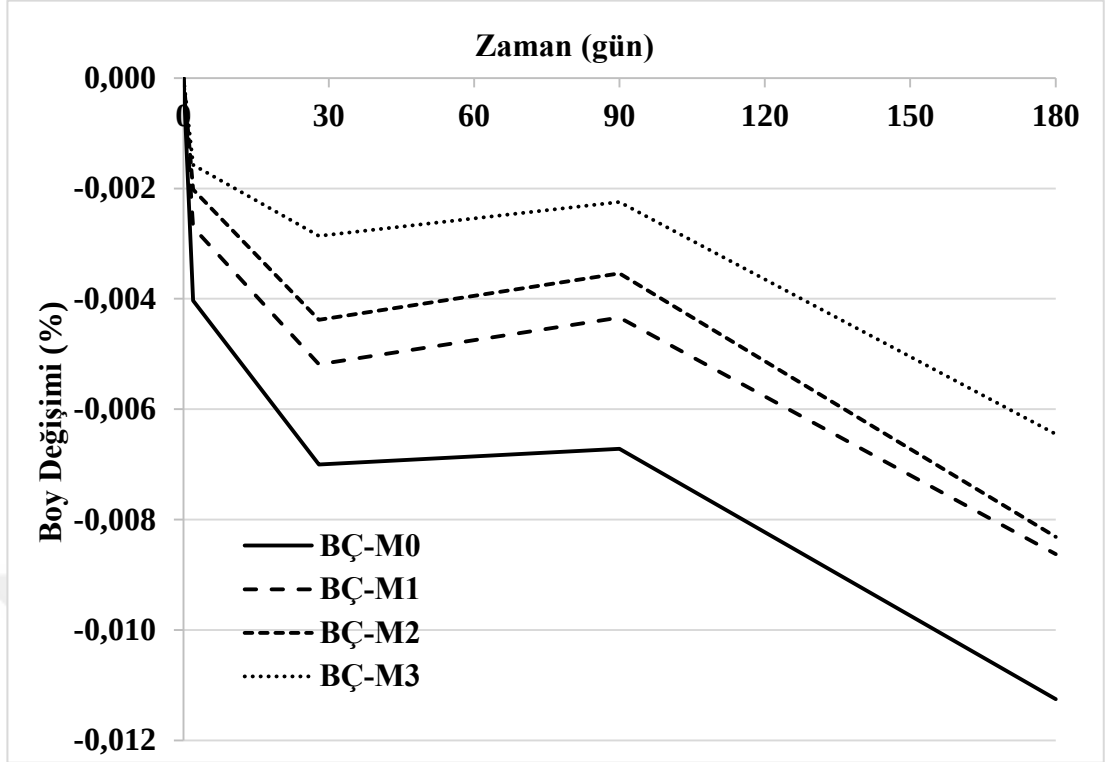


Şekil 4.22. Beyaz tüf içerikli ve karbon lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.

Şekil 4.22’de verilen büzülme sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

Beyaz tüf esaslı karbon lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranı arttıkça BK-M0 referans numunesine göre büzülme oranları genel itibarıyla azalmıştır. Zamanla BK-M1 ve BK-M3 numunelerde büzülme oranları artmaya devam etmekte olup 150 günden sonrası birbirine çok yakın olmuştur. Ayrıca 90 gününden sonra tüm PP gruplarında anı büzülme azalışı gözlemlenmiştir.

Karbon lifli dökümlerde mangan katkısının büzülmeyi düşürdüğü, kürleme süresi boyunca genel olarak büzülme devam ettiği gözlemlenmiştir. 180 günlük en yüksek büzülme sonuçları BK-M0 numunesiyle karşılaştırıldığında; manganlı gruplarda en düşük BK-M1’in büzülmesi %0,69 oranda olup, en yüksek büzülme sahip olan BK-M2’nin büzülmesi ise %0,75 oranda azalmıştır. Buna göre BBT karbon takviyeli AAH’larda optimum oran %0,1 olarak belirtilmektedir.



Şekil 4.23. Beyaz tüf içerikli ve çelik lif takviyeli grupların büzülme sonuçları.

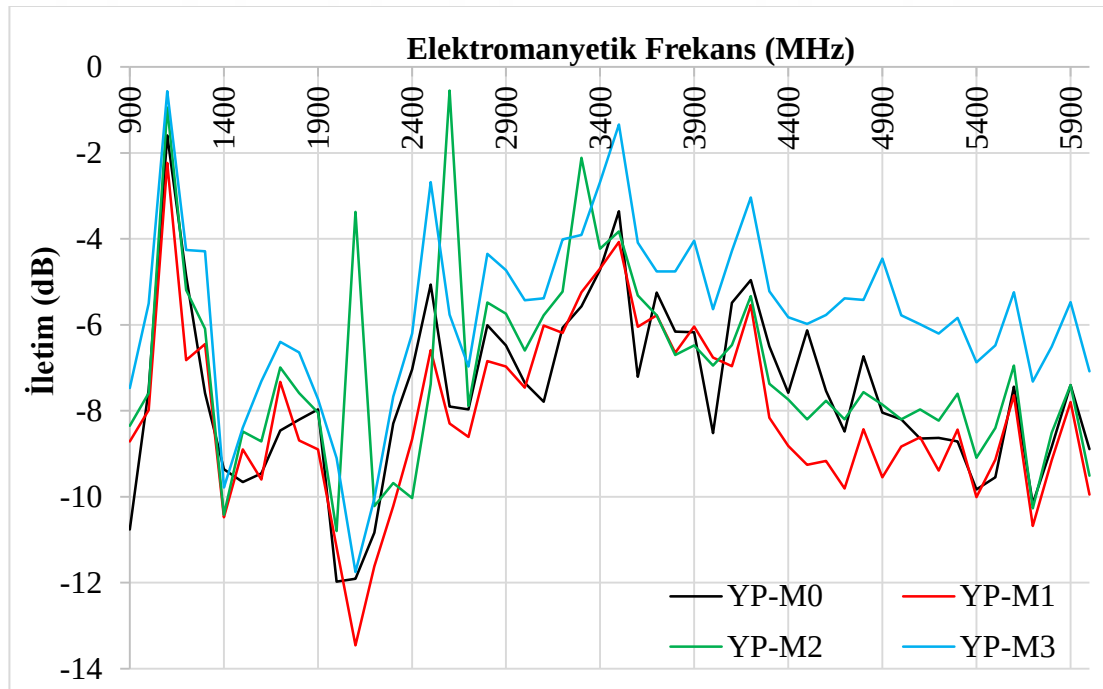
Şekil 4.23’de verilen büzülme sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

Beyaz tüf esaslı çelik lifle takviye edilmiş AAH’lerde mangan oranı arttıkça BÇ-M0 referans numunesine göre büzülme oranları genel itibarıyla azalmıştır. Zamanla BÇ-M1 ve BÇ-M2 numunelerde büzülme oranları artmaya devam etmekte olup 90 gününden sonrası birbirine çok yakın olmuştur. Ayrıca 90 gününden sonra tüm çelik gruplarında anı büzülme azalışı gözlemlenmiştir.

Çelik lifli dökümlerde mangan katkısının büzülmeyi sınırladığı, kürlenme süresi boyunca genel olarak büzülme devam ettiği gözlemlenmiştir. 180 günlük en yüksek büzülme sonuçları BÇ-M0 numunesiyle karşılaştırıldığında; manganlı gruplarda en düşük BÇ-M3’ün büzülmesi %0,29 oranda olup, en yüksek büzülme sahip olan BÇ-M2’nin büzülmesi ise %0,44 oranda azalmıştır. Buna göre BBT çelik takviyeli AAH’larda optimum oran %5 olarak belirtilmektedir.

4.5. ELEKTROMANYETİK ÖZELLİK TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Deney kapsamında, her bir seriden üretilmiş olan 300×300×10 mm boyutlarındaki lifli kompozit kaplamalar (blok numune) elektromanyetik alana (EMF) maruz bırakılarak iletim ve yansımalar özellikleri incelenmiştir. Testler, numuneler üzerinde üretimin 56. ve 90. günleri arasında yapılmıştır. Grafikler, her lif (pp, karbon ve çelik) ve tuf (yeşil ve beyaz) türü esasında dördü sistemde gruplandırılarak yapılmıştır. birinci adımda iletkenlik, ikinci adımda ise yansımalar bulguları değerlendirmesi yapılmıştır. sırasıyla Şekil 4.24, 4.26, 4.28, 4.30, 4.32 ve 4.34 iletim, 4.36-4.41 Şekilleri arası ise yansımalar sonuçlarını göstermektedir. İletim grafik resimlerinin sonrasında üretilmiş kaplama malzemelerin fotoğrafları yan yana eklenmiştir. Elektromanyetik özelliklerin değerlendirilmesi, kaplama malzemelerinin 900 MHz ve 1800 MHz (cep telefonu frekansları), 2400 MHz (bluetooth ve wi-fi frekansları) ve 5000 MHz (wi-fi frekansları) frekanslı dalgaları ileterek ya da yansıtarak ne kadar bloke ettiği üzerinedir ve bu değer minimum -20 dB olmalıdır.



Şekil 4.24. Yeşil tuf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



Şekil 4.25. Yeşil tüf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90. gündeki görüntüleri.

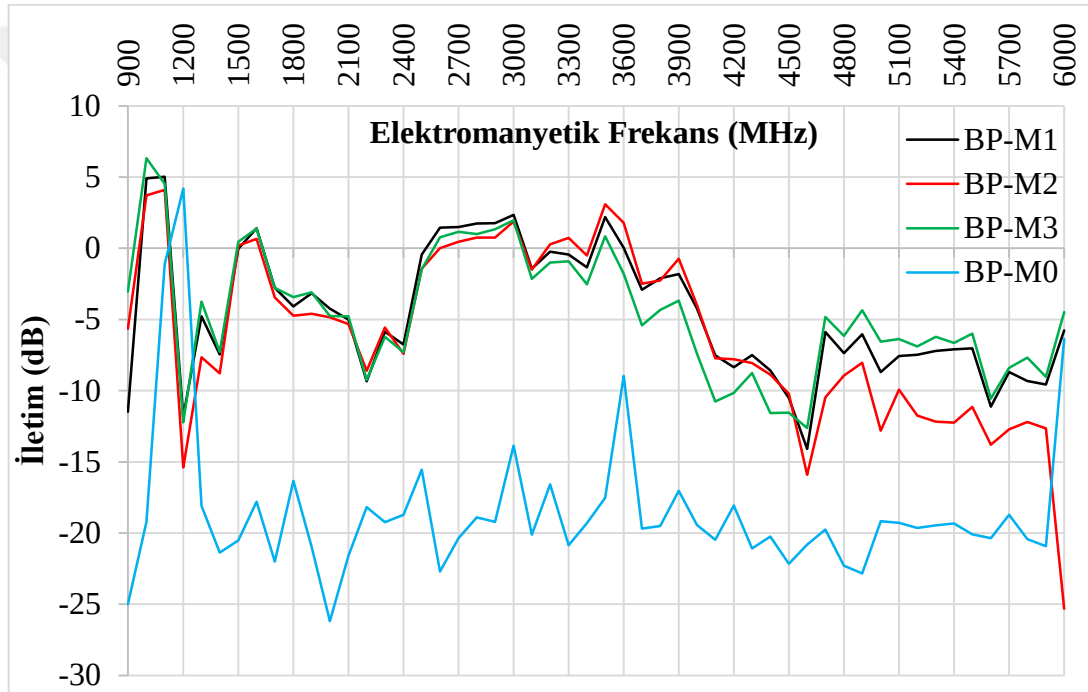
Şekil 4.24'teki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

900 MHz'lık frekans kapsamında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -10,76 dB, -8,71 dB, -8,35 dB ve -7,47 dB'dir. maksimum büyüklükte dalgayı ileten YP-M0, en düşük ise YP-M3 iletimi, mangan bulundurmayan YP-M0'a kıyasla -3,29 dB düşmüştür. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin azalmasına neden olmuştur. 900 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

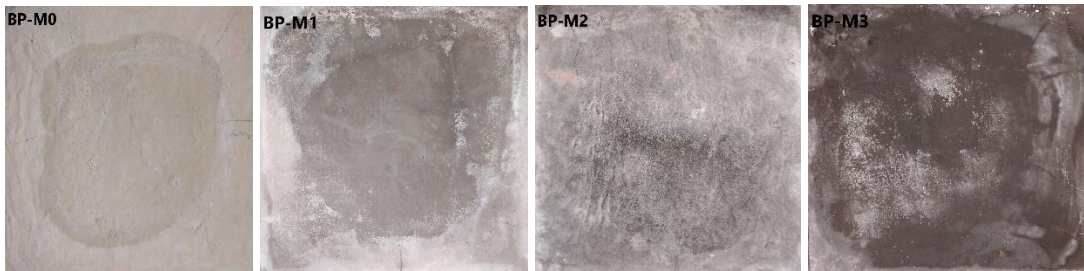
1800 MHz'lık frekans kapsamında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -8,21 dB, -8,69 dB, -7,59 dB ve -6,64 dB'dir. En yüksek miktarda dalgayı ileten YP-M2, iletimi, mangan bulundurmayan YP-M0'a kıyasla -0,48 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerlerinde önemli derecede bir etken olmamış, yalnız değerler 900 MHz sonuçlarına göre azalış göstermiştir. 1800 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

2400 MHz'lık frekans kapsamında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırayla -7,04 dB, -8,66 dB, -10,03 dB ve -6,02 dB'dir. maksimum dalgayı ileten YP-M2, iletimi, mangan bulundurmayan YP-M0'a kıyasla -2,98 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin artmasına neden olmuş, ayrıca değerler 1800 MHz sonuçlarına göre YP-M0'da azalırken YP-M1 YP-M3'te çok yakın çıkmıştır. 2400 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletkenlik değeri de -20 dB'e ulaşamadığından bu grupların bluetooth ve wi-fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde yetersiz olduğu görülmüştür.

5000 MHz'lik frekans kapsamında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -8,2 dB, -8,83 dB, -8,2 dB ve -5,78 dB'dir. maksimum miktarda dalgayı ileten YP-M1, iletimi, mangan bulundurmeyen YP-M0'a kıyasla -0,63 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin artmasına neden olmuş, ayrıca değerler 2400 MHz sonuçlarına göre YP-M0 YP-M1'de artış gösterirken YP-M2 YP-M3'te azalmıştır. 5000 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletkenlik değeri de -20 dB'e ulaşamadığından bu grupların Wi-Fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde yetersiz olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26. Beyaz tüf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



Şekil 4.27. Beyaz tüf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90. gündeki görüntüleri.

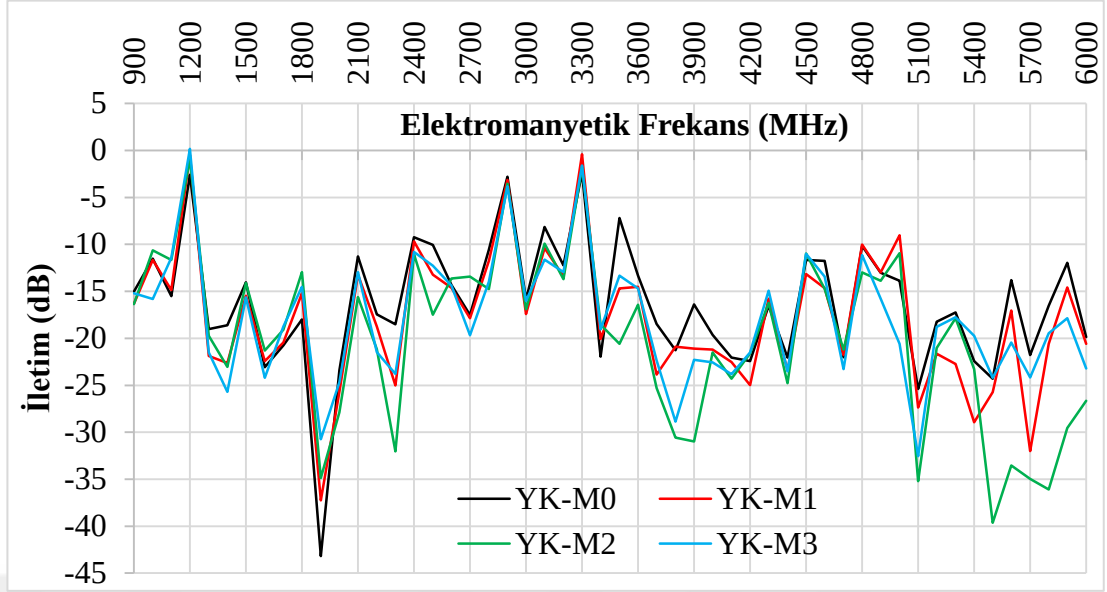
Şekil 4.26'daki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 grupları için başlangıçtan ölçümlerin yaklaşık yarısına (3300 MHz) kadar iletim değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu kısımdan sonra çizgiler daha çok belirginleşmiş fakat iç içe görünümlü bir hal almıştır. Dolayısıyla, mangan oranı ve iletim değerleri arasında korelasyon ilişkisi kurulamamış, söz konusu frekanslar (900, 1800 ve 2400 MHz) dahilinde de gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır.

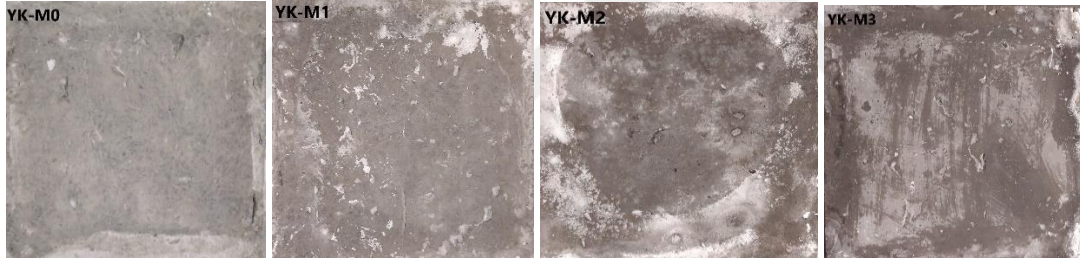
900 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -25 dB, -11,47 dB, -5,65 dB ve -3,06 dB'dir. 1800 MHz'lik frekans kapsamında iletim değerleri sırasıyla -4,08 dB, -4,73 dB, -3,42 dB ve -16,34 dB 'dir.

2400 MHz'lik frekans kapsamında ise iletim değerleri sırasıyla -6,77 dB, -7,41 dB, -7,3 dB ve -18,72 dB olarak ölçülmüştür. Bahsedilen dört grubun sadece BP-M0 grubu bu frekanslardaki yalnızca 900 MHz'lik frekans iletim değeri -20 dB'e ulaşamadığından dolayı bu grupların Wi-Fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde yetersiz olduğu görülmüştür.

5000 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla -8,69 dB, -12,80 dB, -6,55 dB ve -19,16 dB olarak test edilmiştir. maksimum miktarda dalgayı ileten BP-M3, mangan bulundurmayan BP-M0'a kıyasla -10,47 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının artması, değerlerde kararsız biçimde değişmesine neden olmuştur. 5000 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e ulaşamadığından dolayı bu grupların Wi-Fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde yetersiz olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Yeşil tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



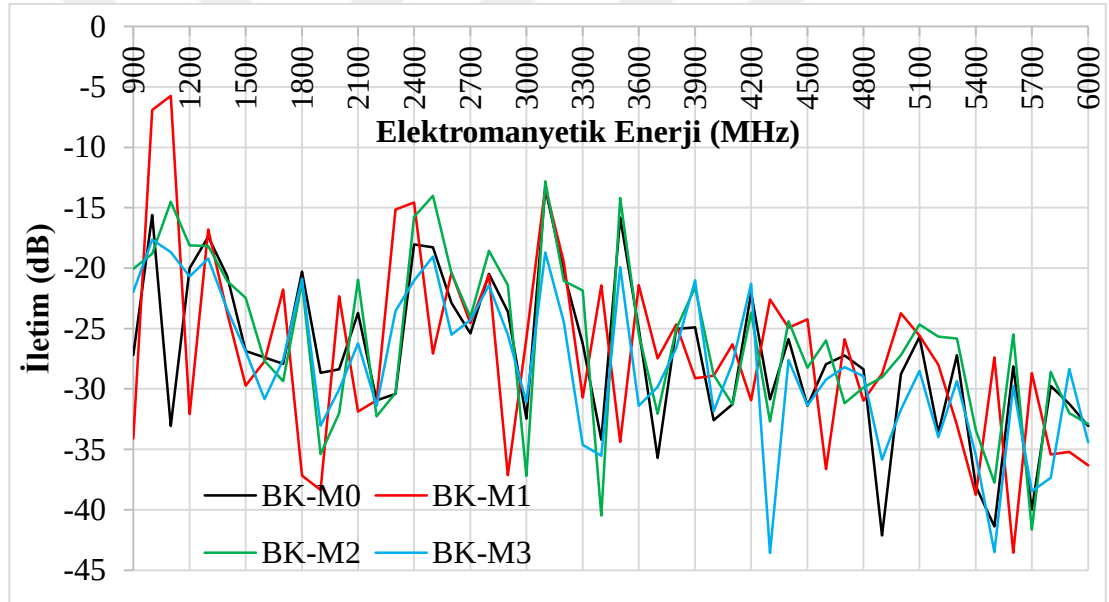
Şekil 4.29. Yeşil tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90'ıncı gündeki görüntüleri.

Şekil 4.28'deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

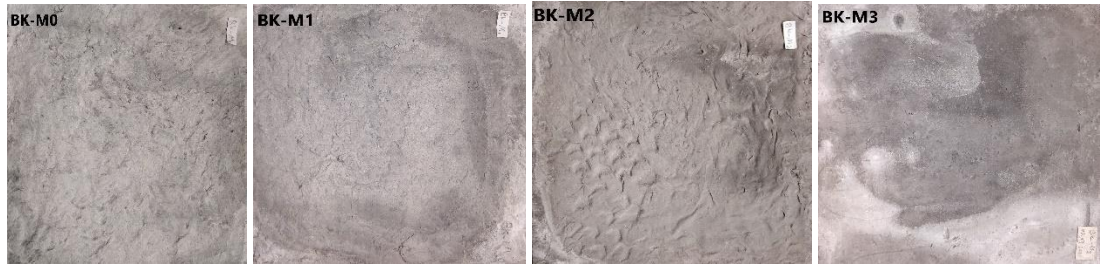
YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 grupları için belirlenen aralıktaki neredeyse tüm frekanslarda iletim değerlerinin birbirleriyle aynı olduğu, grafik çizgilerinin çoğunlukla üst üste konumlandığı görülmektedir. Manganın yapıya eklenmesiyle oluşan matris fazındaki değişkenlik malzemenin iletim özelliğini değiştirmemiş, dolayısıyla söz konusu frekanslar (900, 1800, 2400 ve 5000 MHz) dahilinde de gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır. K elyafın, karışımlarda mangan özelliğine sahip bileşenler var iken bile karışımın kimyasal sistemine hakim olduğu bulunmuştur.

900 MHz’lik frekans kapsamında YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -15,00 dB, -16,30 dB, -16,40 dB ve -15,20 dB ‘dir. 1800 MHz’lik frekans kapsamında iletim sonuçları sırayla -18,00 dB, -15,20 dB, -12,90 dB ve -14,15 dB ‘dir. 2400 MHz’lik frekans kapsamında iletim sonuçları sırayla -3,10 dB, -3,50 dB, -11,10 dB ve -10,80 dB ‘dir.

5000 MHz’lik frekans kapsamında ise iletim sonuçları sırayla -13,90 dB, -9,04 dB, -10,90 dB ve -20,60 dB olarak ölçölmüştür. Bahsedilen dört grubun arasında yalnızca YK-M3 grubu 5000 MHz iletim değeri -20 dB’e erişebildiğinden bu grubun cep telefonu, bluetooth ve Wi-Fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde başarılı olduğu görölmüştür.



Şekil 4.30. Beyaz tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



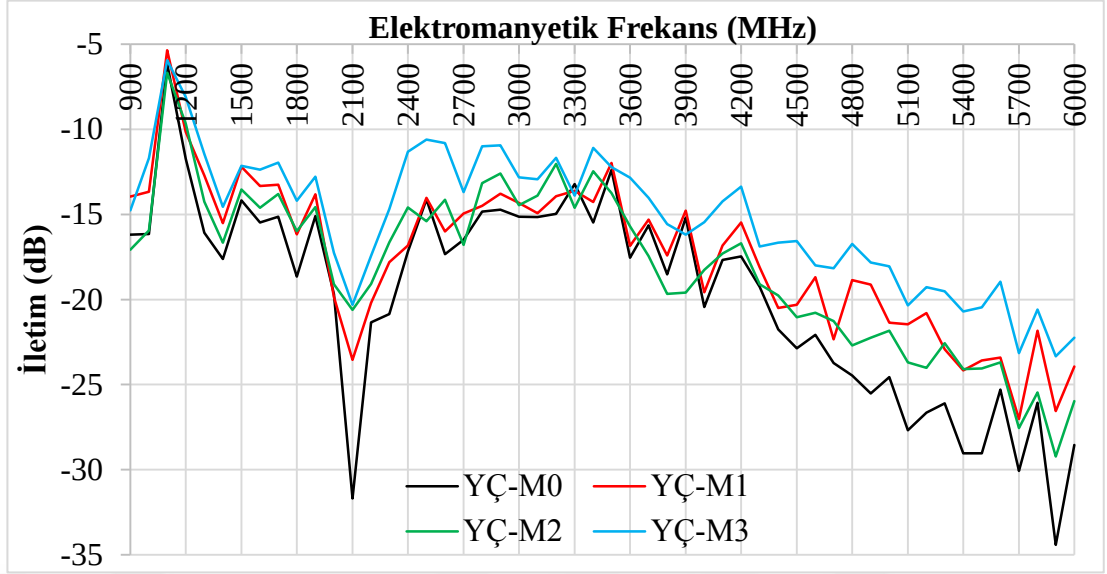
Şekil 4.31. Beyaz tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90’ıncı gündeki görüntüleri.

Şekil 4.30'daki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

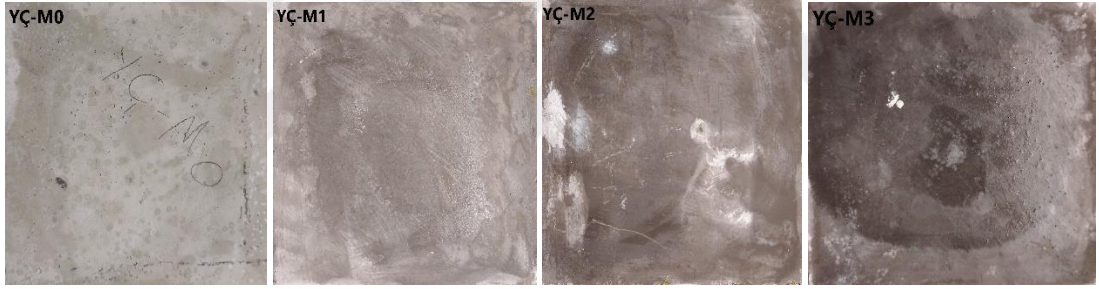
900 MHz'lik frekans kapsamında BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -27,18 dB, -34,09 dB, -20,06 dB ve -21,97 dB 'dir. Tüm kaplama malzemelerin iletme sonuçları -20 dB değerini aştığı için cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede başarılı oldukları görülmüştür. 1800 MHz'lik frekans kapsamında BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -20,28 dB, -37,16 dB, -21,17 dB ve -20,87 dB 'dir. Tüm kaplama malzemelerin iletme sonuçları -20 dB değerini aştığı için cep telefonları tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemesinde başarılı oldukları bulunmuştur.

Lesbayev vd. (2017)'nin yapmış oldukları deney çalışmasında 10 mm kalınlığında ürettikleri malzemede en yüksek verim değeri -19,9 dB ile 1,5 GHz frekanları arasında bulunmuştur. 2400 MHz'lik frekans kapsamında BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -18,03 dB, -14,57 dB, -15,75 dB ve -21,04 dB 'dir. BK-M3 kaplamasının iletme değeri -20 dB değerinden büyük olduğundan dolayı bluetooth ve wi-fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde başarılı olduğu görülmüştür.

5000 MHz'lik frekans kapsamında BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -28,77 dB, -23,74 dB, -27,31 dB ve -31,71 dB 'dir. Tüm kaplama malzemelerinin iletme sonuçları -20 dB değerinden büyük olmasından dolayı wi-fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.32. Yeşil tüf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



Şekil 4.33. Yeşil tüf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90. gündeki görüntüleri.

Şekil 4.32’deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

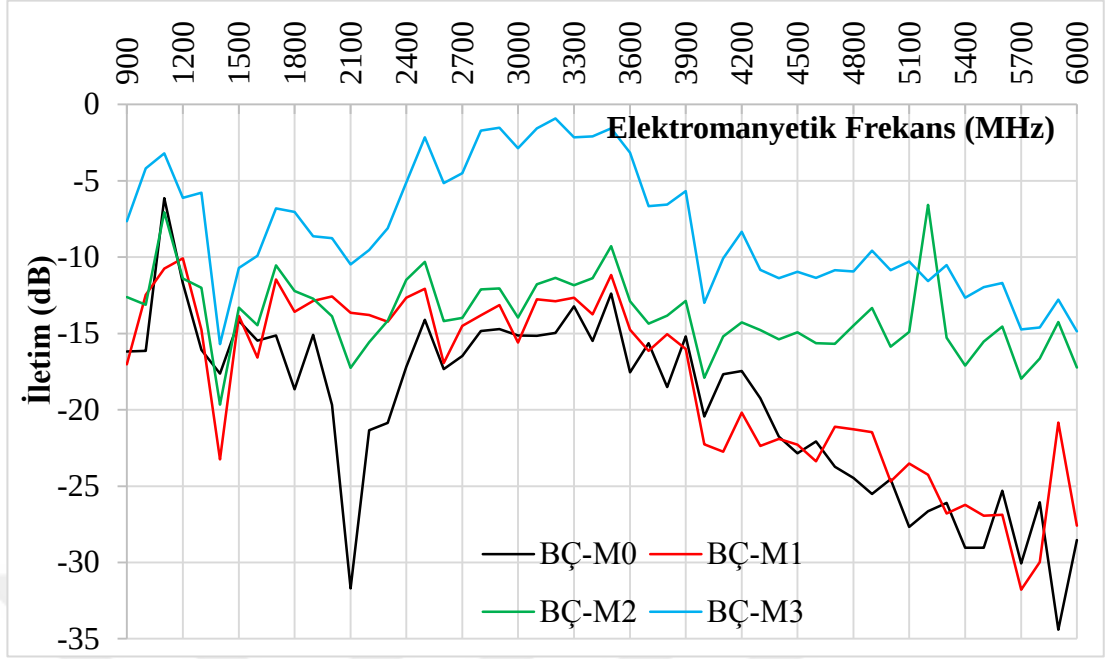
900 MHz’lık frekans kapsamında YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -16,19 dB, -13,95 dB, -17,07 dB ve -14,76 dB ‘dir. Maksimum değerde dalgayı ileten YÇ-M2, iletimi, mangan bulundurmayan YÇ-M0’a kıyasla -0,88 dB yükseltmiştir. 900 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB’e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

1800 MHz’lık frekans kapsamında YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırayla -18,65 dB, -16,17 dB, -15,97 dB ve -14,19 dB ‘dir. En düşük miktarda dalgayı ileten YÇ-M3, iletimi, manyetit bulundurmayan YÇ-M0’a

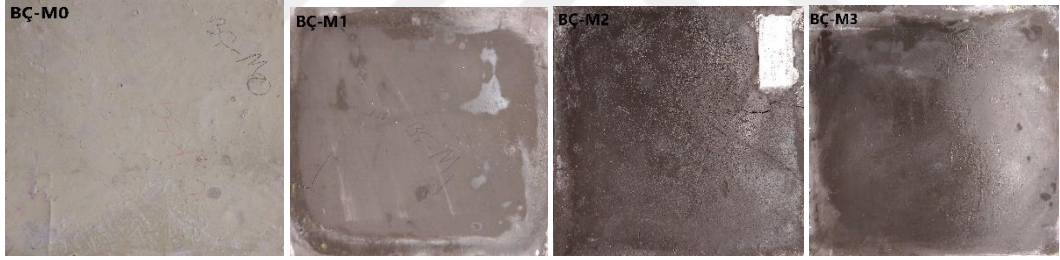
kıyasla -4,46 dB düşmüştür. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin azalmasına neden olmuş. 1800 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

2400 MHz'lik frekans kapsamında YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -17,19 dB, -16,82 dB, -14,58 dB ve -11,32 dB 'dir. En düşük miktarda dalgayı ileten YÇ-M3, iletimi, mangan bulundurmayan YÇ-M0'a kıyasla -5,87 dB azalmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin azalmasına neden olmuş, ayrıca YÇ-M0 haricinde değerler 1800 MHz sonuçlarına göre de artmıştır. 2400 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

5000 MHz'lik frekans kapsamında YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -24,55 dB, -21,37 dB, -21,84 dB ve -18,04 dB 'dir. En düşük miktarda dalgayı ileten YÇ-M3, iletimi, mangan bulundurmayan YÇ-M0'a kıyasla -6,51 dB azalmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi, iletim değerinin azalmasına neden olmuş, ayrıca değerler 2400 MHz sonuçlarına göre artmıştır. 5000 MHz frekansında, YÇ-M0, YÇ-M1 ve YÇ-M2 kaplama malsemelerinin iletim sonuçları -20 dB değerinden büyük olduğu için wi-fi meydana getiren aygıtlar taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga iletim özellikleri.



Şekil 4.115. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplama malzemelerinin 90. gündeki görüntüleri.

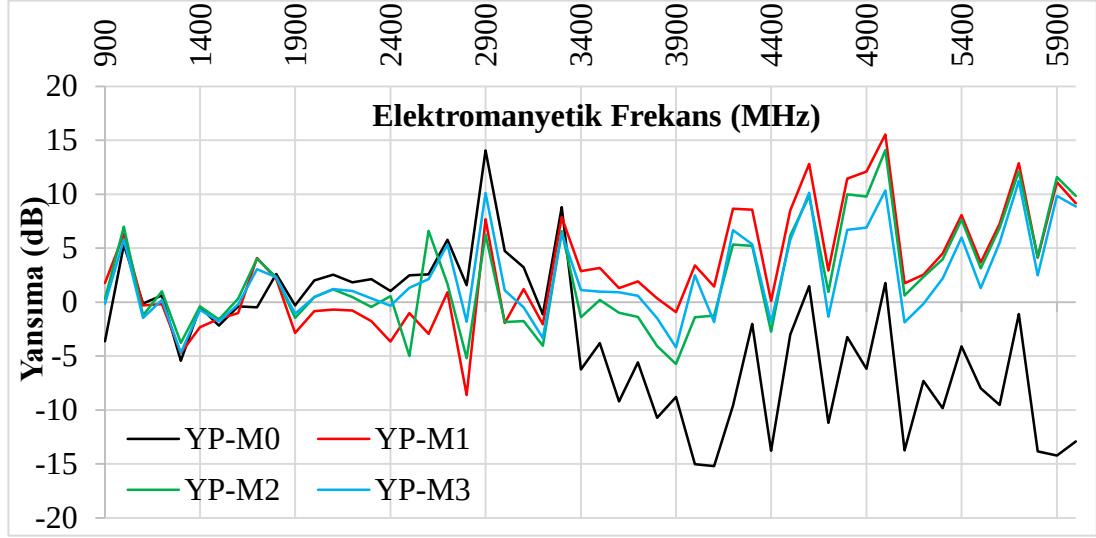
Şekil 4.34'teki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

900 MHz'lik frekans kapsamında BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 numunelerinin dalga iletim sonuçları sırayla -14,15 dB, -17,03 dB, -12,62 dB ve -7,65 dB 'dir. En yüksek miktarda dalgayı ileten BÇ-M1, iletimi, mangan bulundurmeyen BÇ-M0'a kıyasla -2,88 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi sonucu iletim değerleri istikrarsız biçimde değişmiştir. 900 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e ulaşamadığından bu numunelerin cep telefonları tarafından üretilmiş olan dalgaları engelleyemediğinden yetersiz olduğu görülmüştür.

1800 MHz'lik frekans kapsamında BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 numunelerinin dalga iletme sonuçları sırayla -12,13 dB, -13,59 dB, -12,22 dB ve -7,04 dB 'dir. En yüksek miktarda dalgayı ileten BÇ-M1, iletimi, mangan bulundurmayan BÇ-M0'a kıyasla -1,46 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi sonucu iletim değerleri istikrarsız biçimde gelişmiş, ayrıca değerler 900 MHz sonuçlarına göre BÇ-M0 ve BÇ-M1'de azalıp BÇ-M2 ve BÇ-M3'te artmıştır. 1800 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletme sonucu de -20 dB'e ulaşamadığından bu grupların cep telefonları tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemediği için yetersiz olduğu görülmüştür.

2400 MHz'lik frekans kapsamında BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -17,44 dB, -12,66 dB, -11,49 dB ve -5,12 dB 'dir. En düşük miktarda dalgayı ileten BÇ-M3, iletimi, mangan bulundurmayan BÇ-M0'a kıyasla -12,32 dB azalmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi sonucu iletim değerleri istikrarlı biçimde azalmıştır, ayrıca değerler 1800 MHz sonuçlarına göre BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3'te düşüş gösterirken BÇ-M0'da artmıştır. 2400 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların bluetooth ve wi-fi kaynaklı cihazlar tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

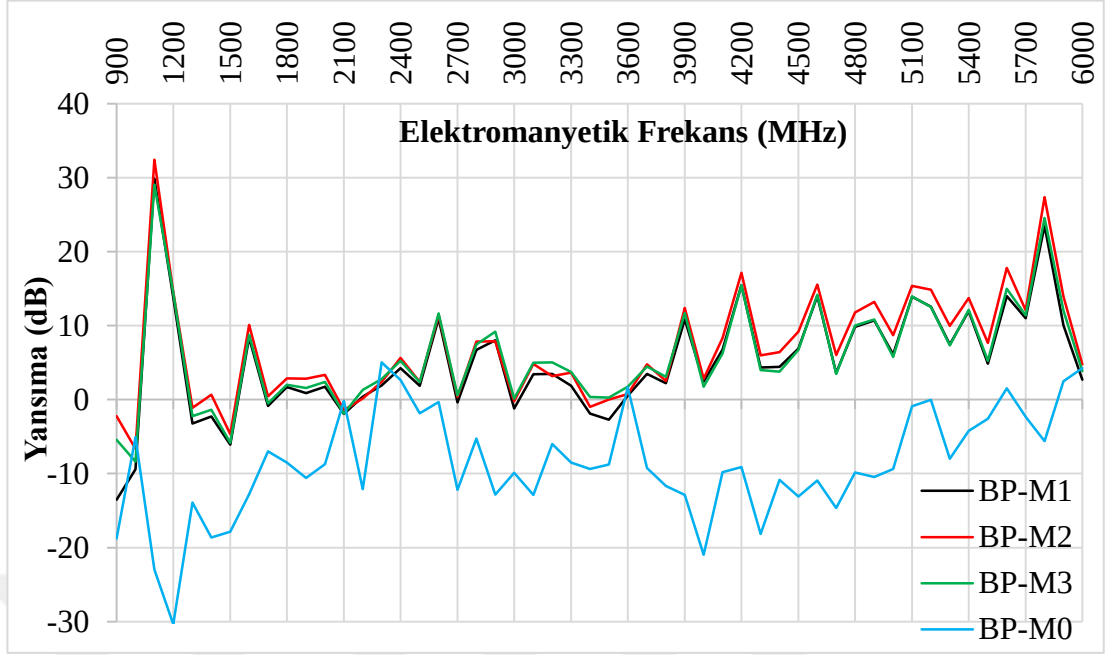
5000 MHz'lik frekans kapsamında BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 gruplarının dalga iletim değerleri sırasıyla -23,36 dB, -24,70 dB, -15,87 dB ve -10,85 dB 'dir. En yüksek miktarda dalgayı ileten BÇ-M1, iletimi, mangan bulundurmayan BÇ-M0'a kıyasla -1,34 dB yükselirken, BÇ-M3 grubu 12,51 dB azalmıştır. ayrıca değerler 2400 MHz sonuçlarına göre artmıştır. 5000 MHz frekansında, BÇ-M0 ve BÇ-M1 kaplama malzemelerinin iletme sonuçları -20 dB'den fazla olduğu için wi-fi meydana getiren aygıtlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede başarılı oldukları açıklanmıştır.



Şekil 4.36. Yeşil tüf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.

Şekil 4.36'daki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 grupları için başlangıçtan ölçümlerin yaklaşık yarısına (3300 MHz) kadar yansıma değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu kısımdan sonra çizgiler daha çok belirginleşmiş fakat iç içe görünümlü bir hal almıştır. Dolayısıyla, mangan oranı ve yansıma değerleri arasında korelasyon ilişkisi kurulamamış, söz konusu frekanslar (900, 1800, 2400 ve 5000 MHz) dahilinde gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır. 900 MHz'lik frekans kapsamında YP-M0, YP-M1, YP-M2 ve YP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla -3,62 dB, 1,77 dB, 0,29 dB ve -0,15 dB 'dir. 1800 MHz'lik frekans kapsamında yansıtma sonuçları sırayla 2,6 dB, 2,17 dB, -2,32 dB ve 2,30 dB'dir. 2400 MHz'lik frekans dahilinde yansıtma sonuçları sırayla 1,03 dB, -3,64 dB, 0,56 dB ve -0,33 dB 'dir. 5000 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırası ile 1,79 dB, -8,83 dB, 14,1 dB ve 10,35 dB olarak ölçülmüştür. Ahmed (2021), hacimce %2 pp lif kullandığı çalışmasında en büyük yansıtma sonucu 900 MHz'de -9,23 dB olarak ölçülmüştür [56]. Bahsedilen dört grubun bu frekanslardaki yansıma değerleri -20 dB'e ulaşamadığından bu grupların cep telefonu, bluetooth ve wi-fi meydana getiren aletler taraflarından üretilmiş olan dalgaların engellemesinde başarısız olduğu görülmüştür.



Şekil 4.37. Beyaz tüf esaslı ve polipropilen lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıtma özellikleri.

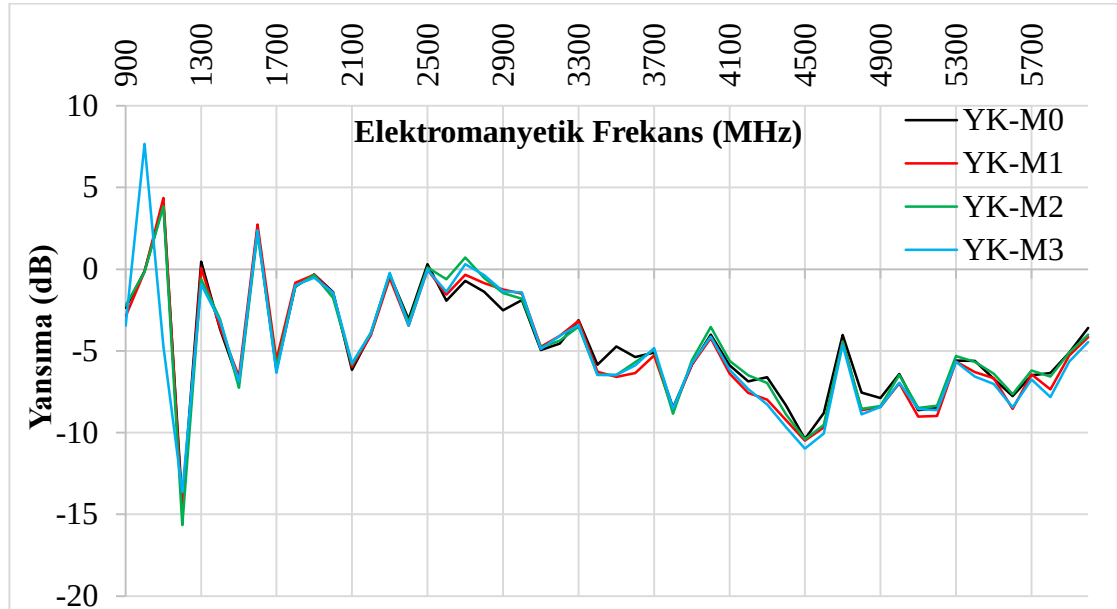
Şekil 4.37'deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

900 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla -13,54 dB, -2,22 dB, -5,42 dB ve -18,77 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan BP-M3, mangansız olan BP-M0'a nazaran -5,23 dB artırmıştır. Mangana ikame oranının büyümesi sonucu yansıtma değerleri istikrarsız biçimde gelişmiştir. 900 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıtma değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

1800 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla +1,68 dB, +2,88 dB, +2 dB ve -8,53 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan BP-M3, mangansız olan BP-M0'a nazaran -6,85 dB artırmıştır. Mangana ikame oranının büyümesi, yansıtma değerinin artmasına neden olmuş, ayrıca değerler 900 MHz sonuçlarına göre azalmıştır. 1800 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıtma değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

2400 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla +4,26 dB, +5,65 dB, +5,23 dB ve -2,66 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan BP-M3, mangansız olan BP-M0'a nazaran -1,64 dB artırmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi, BP-M3 grubunda yansıma değerinin artmasına neden olmuş, ayrıca değerler 1800 MHz sonuçlarına göre azalmıştır. 2400 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun iletim değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların bluetooth ve wi-fi meydana getiren aygıtlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür..

5000 MHz'lik frekans kapsamında BP-M0, BP-M1, BP-M2 ve BP-M3 numunelerinin dalga yansıtma sonuçları sırayla +6,11 dB, +8,69 dB, +5,79 dB ve -9,37 dB'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan BP-M3, mangansız olan BP-M0'a nazaran -3,26 dB artırmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi sonucu yansıma değerleri istikrarsız biçimde gelişmiş, ayrıca değerler 2400 MHz sonuçlarına göre BP-M3 hariç azalmıştır. 5000 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıma değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların wi-fi meydana getiren aygıtlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.



Şekil 4.38. Yeşil tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.

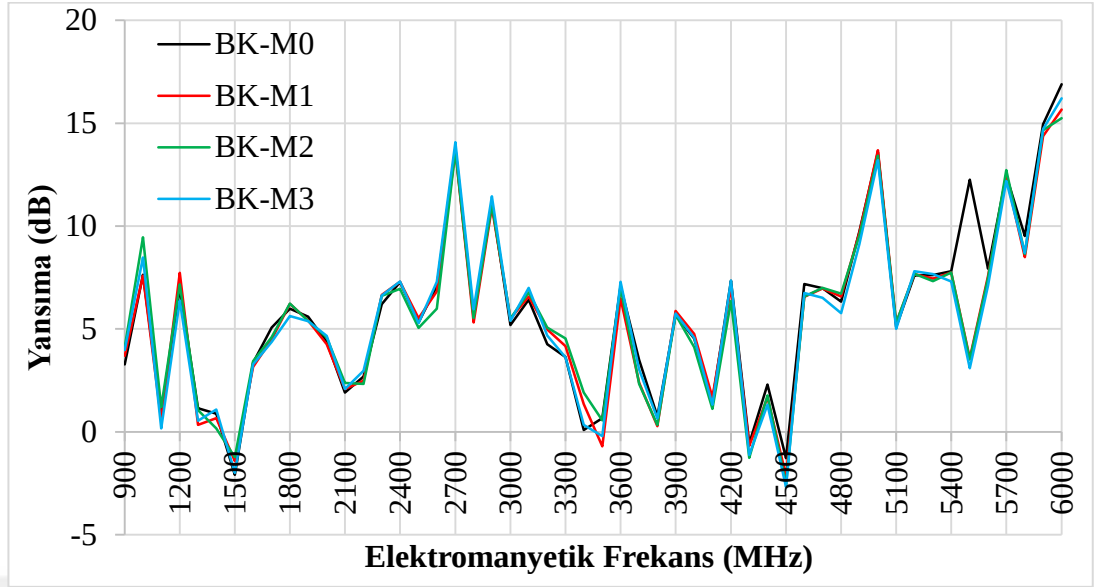
Şekil 4.38'deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

900 MHz'lik frekans kapsamında YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 numunelerinin dalga yansıtma değerleri sırayla -2,9 dB, -2,2 dB, -16,4 dB ve -3,5 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan YK-M2, mangansız olan YK-M0'a nazaran -13,5 dB artırmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi, yansıma değerinin YK-M1 haricinde artmasına neden olmuş. 900 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıma değeri de -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

2400 MHz'lik frekans kapsamında YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 numunelerinin dalga yansıtma değerleri sırayla -3,1 dB, -3,5 dB, -11,1 dB ve -3,5 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan YK-M2, mangan bulundurmayan YK-M0'a kıyasla -8,00 dB yükseltmiştir. Mangan ikame oranının büyümesi, yansıma değerinin artmasına neden olmuş.

2400 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıma değeri 900 MHz değerlerine göre yükselmesine rağmen -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

5000 MHz'lik frekans kapsamında YK-M0, YK-M1, YK-M2 ve YK-M3 numunelerinin dalga yansıtma değerleri sırayla -6,4 dB, -7 dB, -6,5 dB ve -6,9 dB 'dir. Maksimum değerde dalgayı yansıtan YK-M1, mangansız olan YK-M0'a nazaran -0,6 dB artırmıştır. Mangan ikame oranının büyümesi, yansıma değerinin artmasına neden olmuş. 5000 MHz frekansında, bahsedilen dört grubun yansıma değeri YK-M2 haricinde 900 MHz değerlerine göre yükselmesine rağmen -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonları tarafından üretilen dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

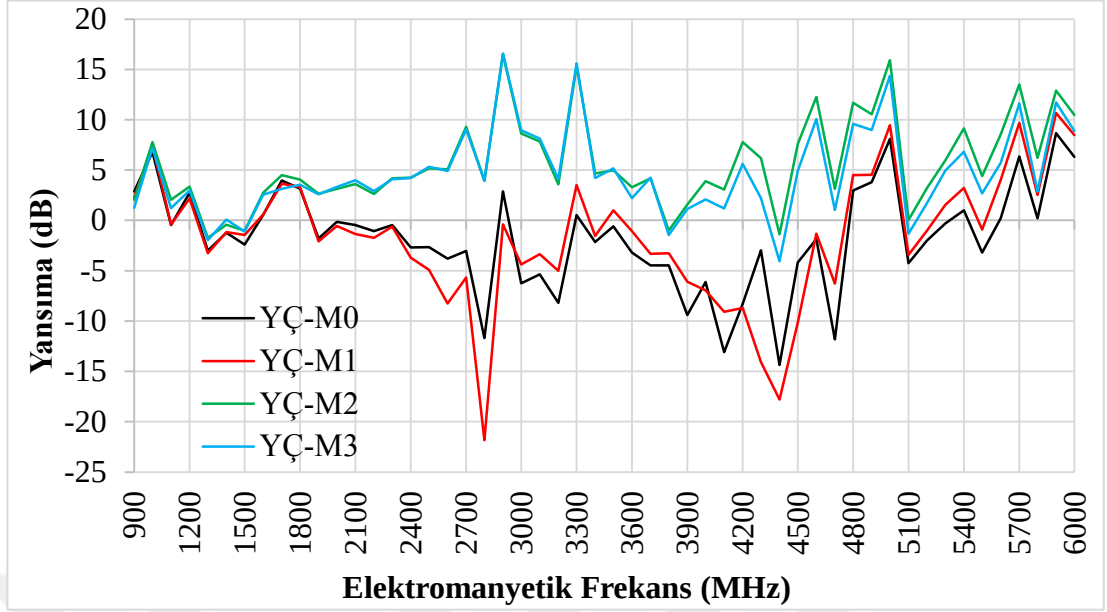


Şekil 4.39. Beyaz tüf esaslı ve karbon lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.

Şekil 4.39'daki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 grupları için belirlenen aralıktaki neredeyse tüm frekanslarda yansıma değerlerinin birbirleriyle aynı olduğu, grafik çizgilerinin çoğunlukla üst üste konumlandığı görülmektedir. Mangan, yansıma değerlerinde herhangi bir etki oluşturmamış, dolayısıyla söz konusu frekanslar (900, 1800, 2400 ve 5000 MHz) dahilinde de gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır. Ancak yapı hem yansıtma hem iletme, hem de emme özelliğine sahip olup bu malzemenin kullanımıyla birlikte yansıma ve absorpsiyonla mutlak biçimde mevcut enerjinin azaltılacağı gözlemlenmiştir

900 MHz'lik frekans kapsamında BK-M0, BK-M1, BK-M2 ve BK-M3 numunelerinin dalga yansıtma değerleri sırayla 3,27 dB, 3,69 dB, 4,11 dB ve 3,97 dB 'dir. 1800 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırayla 5,98 dB, 6,22 dB, 6,27 dB ve 5,63 dB'dir. 2400 MHz'lik frekans kapsamında yansıtma sonuçları sırayla 7,27 dB, 7,29 dB, 6,95 dB ve 7,31 dB 'dir. 5000 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırayla 13,59 dB, 13,69 dB, 13,42 dB ve 13,20 dB olarak ölçülmüştür. Bahsedilen dört grubun bu frekanslardaki yansıma değerleri -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonu, bluetooth ve wi-fi meydana getiren aygıtlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.



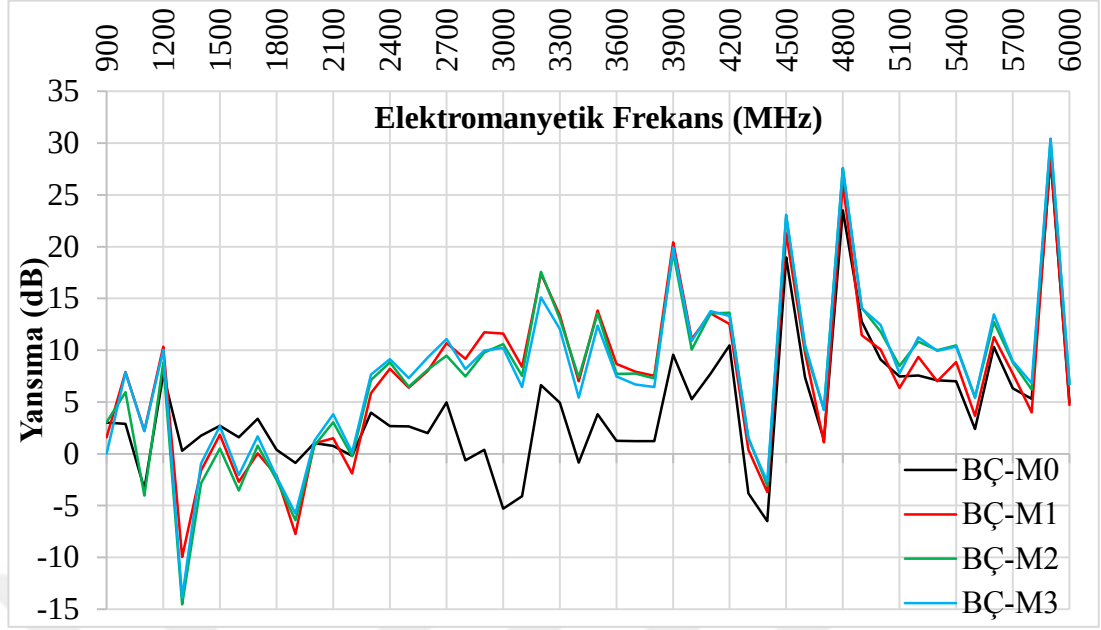
Şekil 4.40. Yeşil tüf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.

Şekil 4.40'deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 grupları için yansıma değerleri (900 MHz 1800 MHz) ve (5000 MHz ile 6000 MHz) neredeyse aynı, ve 1800 ile 5000 birbirine çok yakın ikişer gruba ayrıldığı için mangan oranı ve yansıma değerleri arasında korelasyon ilişkisi kurulamamış, dolayısıyla söz konusu frekanslar (900, 1800, 2400 ve 5000 MHz) dahilinde de gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır.

900 MHz'lik frekans kapsamında YÇ-M0, YÇ-M1, YÇ-M2 ve YÇ-M3 numunelerinin dalga yansıma değerleri sırayla 2,86 dB, 2,26 dB, 2,04 dB ve 1.26 dB 'dir. 1800 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıma sonuçları sırayla 3,17 dB, 3,33 dB, 4,06 dB ve 3,54 dB'dir. 2400 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıma sonuçları sırayla -2,70 dB, -3,70 dB, 4,23 dB ve 4,21 dB 'dir.

5000 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıma sonuçları sırayla 8,08 dB, 9,45 dB, 15,92 dB ve 14,37 dB olarak ölçülmüştür. Bahsedilen dört grubun bu frekanslardaki yansıma değerleri -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonu, bluetooth ve wi-fi meydana getiren aygıtlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.



Şekil 4.41. Beyaz tuf esaslı ve çelik lifle takviye edilmiş kaplamaların elektromanyetik dalga yansıma özellikleri.

Şekil 4.41’deki grafiğin sonuçları aşağıda tartışılmaktadır;

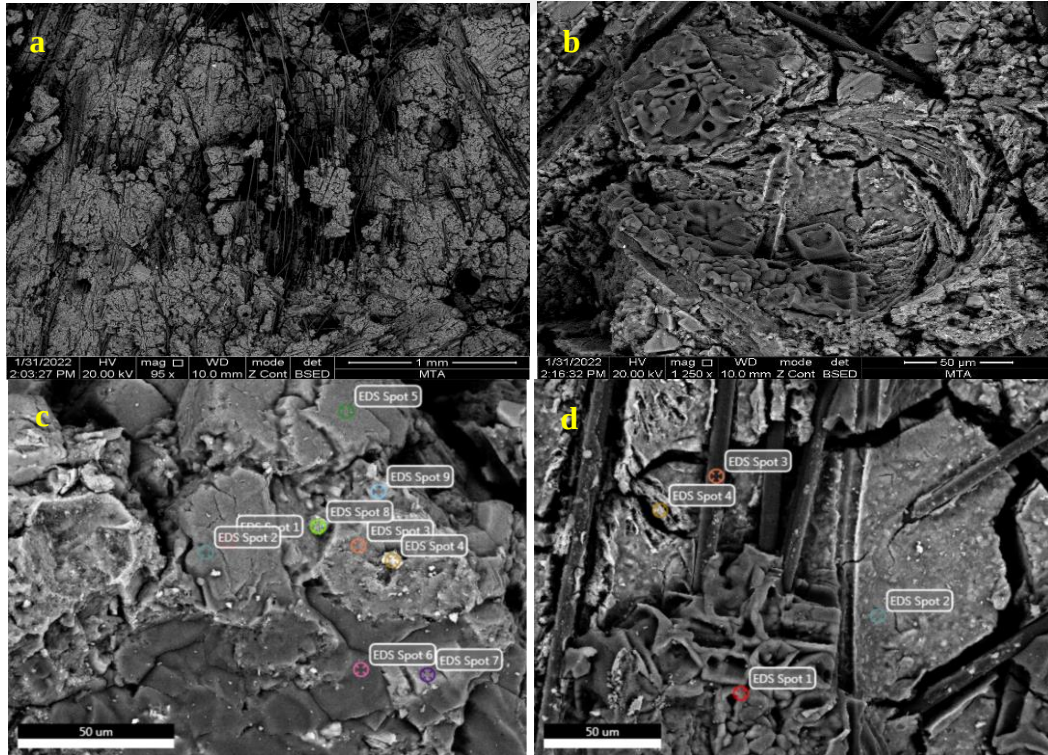
BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 grupları için başlangıçtan ölçümlerin yaklaşık yarısına (2400 MHz) kadar yansıma değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu kısımdan (4200 MHz) frekansına kadar çizgiler daha çok belirginleşmiş fakat (4200 MHz) frekansından sonra yeniden değerlerinin birbirlerine çok yakın olup ve iç içe görünümlü bir hal almıştır. Dolayısıyla, mangan oranı ve yansıma değerleri arasında korelasyon ilişkisi kurulamamış, söz konusu frekanslar (900, 1800, 2400 ve 5000 MHz) dahilinde de gruplar arasında kıyaslama yapılamamıştır.

900 MHz’lik frekans kapsamında BÇ-M0, BÇ-M1, BÇ-M2 ve BÇ-M3 numunelerinin dalga yansıtma değerleri sırayla 3,02 dB, 1,59 dB, 3,05 dB ve 0,01 dB ‘dir. 1800 MHz’lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırayla 0,39 dB, -2,10 dB, -2,51 dB ve -2,23 dB’dir. 2400 MHz’lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırayla 2,67 dB, 8,22 dB, 8,83 dB ve 9,15 dB olarak ölçülmüştür.

5000 MHz'lik frekans dahilinde ise yansıtma sonuçları sırayla 9,11 dB, 10,06 dB, 11,80 dB ve 12,44 dB olarak ölçülmüştür. Bahsedilen dört grubun bu frekanslardaki yansıma değerleri -20 dB'e erişemediğinden bu grupların cep telefonu, bluetooth ve wi-fi meydana getiren cihazlar tarafından üretilmiş olan dalgaları engellemede yetersiz olduğu görülmüştür.

4.6. 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 4.42. - 4.49.'da verilmiş ve analiz sonuçları tartışılmıştır.



Şekil 4.42. YK-M0 nolu alkali-aktive edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.

Şekil 4.42a’da karbon lifli YK-M0 hamurunun bir mikro SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde karbon liflerin homojen dağılmadığı, makro boşluk oluşturduğu ve bundan dolayı matris parçalanmıştır. Şekil 4.42b’de bir makro gözenek görülmektedir. Gözenekte rötre çatlakları ve Na_2CO_3 ile parçalı jeopolimer doku gözlenmiştir. Bu parçalı jeopolimer dokunun temel sebebi temel jeopolimer kimyasal sitekiyometrinin malzemenin içinde homojen olarak dağılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda hem kalsit hem de alümin partikülleri polimer matrisin süreksizliğine sebep olmuştur. Bu durum dayanım gelişiminde etken rol alan bir faktördür. Görüntüde daha küçük boyutlardaki kristal yapılı, Na-Si-O bağ oluşumları gözlenmiştir. Matriste karbon lifin de görsele yansıdığı belirlenmiştir. Şekil 4.42c’de tanımlanan #1, 2, 3, 5 ve #7 nolu noktaların elementel analizlerine göre Al_2O_3 partikülleri matrise dahil olmamış ve taneli yapılarını korumuşlardır. Ancak çevrelerinde iyi entegre olmuş Na-Al-Si-O ve Ca-Na-Si-Al-O yapılı jeopolimer dokuları belirlenmiştir. Benzer şekilde Şekil 4.42c’de tanımlanan #1 noktası belli bir alana dağılmış Na_2CO_3 yapısını, #2 ve #4 ise Ca-Na-Si-Al-O yapılı bir jeopolimer dokusunu tanımlamaktadır. Her ne kadar jeopolimer yapılar dağınık bir şekilde hamurlara dağılmış olsa da bunlar süreksiz oldukları için mekanik mukavemetleri olumsuz etkilemiştir.

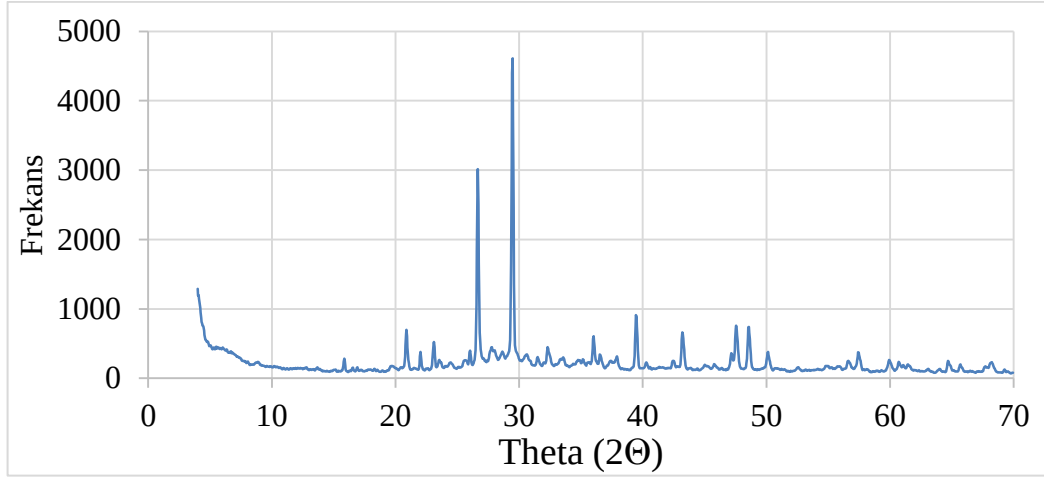
Çizelge 4.6. Şekil 4.42c ve Şekil 4.42d’de gösterilen EDS noktasal analiz sonuçları.

	Şekil 4.4212c									Şekil 4.42d			
Element	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#1	#2	#3	#4
C						14,1				16,8		92	
O	53,3	46,4	53,6	58,0	59,4	45,7	55,1	54,9	52,9	47,4	62,6	7,7	56,7
Na	2,5	12,3	9,1	10,3	3,6	40	1,8	14,3	20	35,9	14,1	0,2	12
Mg				0,9					0,2		0,6		0,6
Al	42,7	39,3	35,4	13,9	34,7		41,5	12,9	3,4		2,5		6,1
Si	0,9	1,1	1,4	11,6	1,5		1,0	15,7	13,9		11,1	0,2	18,5
K				0,4				0,6	1,0		0,4		0,5
Ca	0,5	0,8	0,5	4,5	0,7	0,2	0,5	1,5	8,5		8,4		5,3
Fe				0,4				0,1	0,3		0,4		0,3

Şekil 4.44a'da 500µ ölçeekte verilmiş hamurun makro SEM görüntüsü verilmiştir. Görselde karbon lifler, matris ve gözenekler görülmektedir. Görüntüde matrisin sürekliliğinin olmadığı, jeopolimer yapıların parça parça kaldığı görülmektedir. Ayrıca makro gözeneklerin matrisi parçaladığı da görülmektedir. Şekil 4.44a'nın bir parçası Şekil 4.44b'de ve diğer bir parçası Şekil 4.44c'de verilmiştir. Şekil 4.44b'de 8 farklı noktadan elementel analiz yapılmıştır. Elementel analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Buna göre EDS#1 MnO₂, EDS#2 ve #5 Na-Al-Si-O (NASH), EDS#3 Na(Ca)CO₃, EDS#4 karbon lif, EDS#6 CaCO₃, EDS#7 AlO₃ ve EDS#8 Ca(Na-Al-Si-O (CaN)ASH) yapılarını tanımlamaktadır. Ancak bu yapılar içindeki EDS#2, 5 ve 8 noktalarındaki jeopolimer dokular süreklilik oluşturamadığı ve sitekiyometrik olarak tüm malzeme içine dağılamadığı için hamurun dayanım değerleri oldukça düşük elde edilmiştir. Her ne kadar MnO₂ jeopolimer yapılarda az da olsa bulunsun da dayanım artışının temel sebebi olmadığı düşünülmektedir. Şekil 4.44c'de gösterilen EDS noktaları ise benzer şekilde Çizelge 4.7c'de tanımlanmıştır. Bu noktalar arasında MnO₂ sadece EDS#6'da yoğun gözlenmiştir. Ancak bu noktanın ölçeğinin büyük olması sebebiyle taneseli yapıdaki MnO₂'yi tanımladığı düşünülmüştür. Şekil 4.44'de 10 mikron ölçekli bir SEM görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde matris bir amorf yapı gibi görülmekte olup noktasal analizinde Si/Al oranı 1/9 olarak hesaplanmıştır. bu noktanın altında Al₂O₃ partikülü olduğu ancak yüzeyinin jeopolimer yapıyı oluşturduğu düşünülmektedir. Hamurun mineralojik yapısı Şekil 4.44'te verilmiştir.

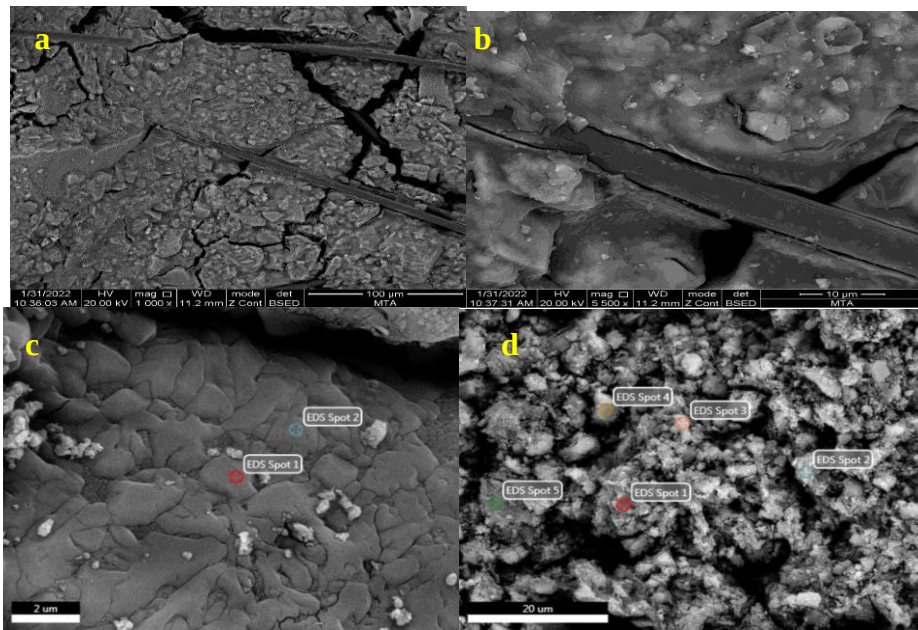
Çizelge 4.7. Şekil 4.44'te gösterilen EDS noktasal analiz sonuçları.

nt	Şekil 4.13b								Şekil 4.44c						Şekil 4.14d
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#1
C			16,32	92,39		15,91			16,96	19,11	91,68				
O	50,76	57,16	58,58	7,24	57,63	64,21	56,50	59,66	45,95	60,13	7,67	67,76	58,57	48,30	49,54
Na	9,26	16,30	1,58	0,27	15,81	4,02	9,63	13,15	32,60	1,83	0,51	2,51	18,15	26,44	7,70
Mg		0,57	0,63		0,62	0,75		0,88		0,95			0,82	0,48	0,56
Al	0,72	6,31			6,25	0,39	29,32	4,86	0,35			0,68	3,31	3,61	36,85
Si	1,45	16,01	0,31		18,45	1,20	3,66	16,34	3,00	0,39		28,79	14,27	13,43	4,50
K	4,55	0,62				0,07		1,93	0,14				0,34	0,25	
Ca	0,60	2,04	22,36	0,10	1,05	13,28	0,89	2,46	0,70			0,27	3,98	1,54	0,84
Ti	0,17														
Mn	32,48	0,61				0,07		0,33	0,18				0,22	5,95	
Fe		0,39	0,21		0,19	0,11		0,39	0,14				0,35		



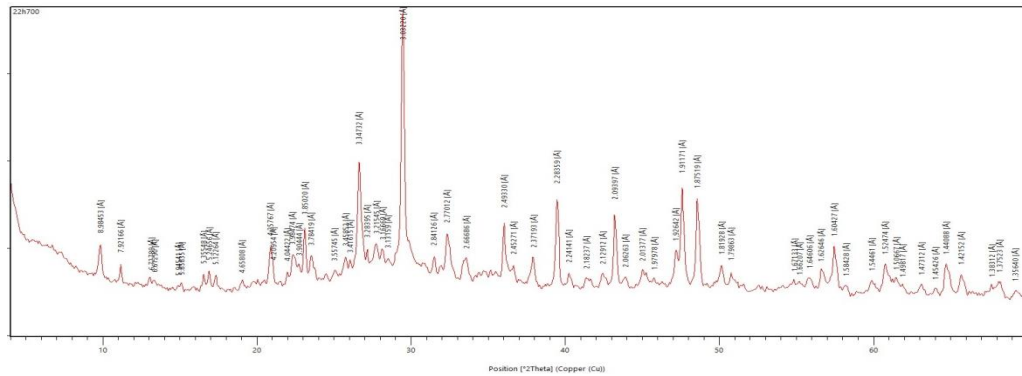
Şekil 4.45. YP-M3 nolu alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analizi.

Şekil 4.45'te MnO_2 katkılı yeşil tuf esaslı PP lifle güçlendirilmiş alkali-aktif edilmiş harcın XRD analiz sonucu verilmiştir. MTA'da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre YP-M0 hamuru kuvars (SiO_2), kalsit ($CaCO_3$), natrit (Na_2CO_3), termonatrit ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), plajiyoklaz ($NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$), alkali feldispat (Si-Al-Na-O), zeolit (analsim) (K-Al-Si-O-Mg), piroluzit (MnO_2), mika grubu mineral, dolomit ($Ca(Mg)CO_3$) 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.



Şekil 4.46. BK-M0 nolu alkali-aktif edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.

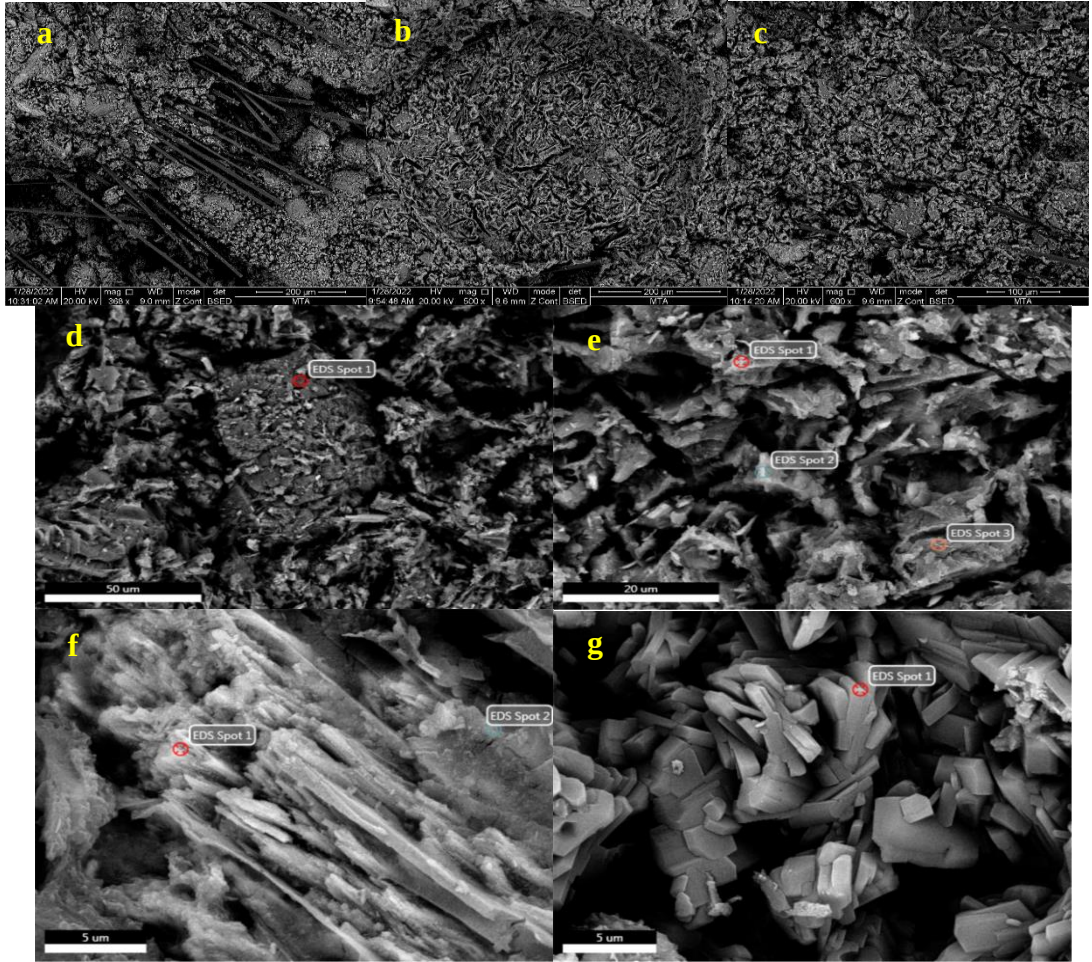
Şekil 4.46-a, referans BBT bileşeniyle üretilmiş olan dökümler kapsamında minimum geç mukavemeti gösteren BK-M0 sertleşmiş mununeden alınmış olan bir makro görüntüyü göstermektedir. Matris bütün ile parçalanmaya ve ayrışmaya uğramış bir görüntü şeklinde olup buna büyük orandaki büzülme ve karbon (K) elyafların birkaç bölümlerdeki sıkışık diziliminin sebep olduğu açıklanabilir. başka yönden, büyük çaplı boşluklarla birlikte büyük sayıda çatlaklar da görülmüştür. Şekil 4.46-b üzerinde farklı belirlenmiş noktalarda EDS analizleri yapılmıştır. Elementsel analize göre; matriste bulunan düzenli amorf fazda bulunan yapıda yoğun halde CASH geopolimer yapıları rastlanmıştır. Yalnız CASH yapılarında Ca atomik oranının düşük olduğu belirlenmiştir. Bu hal, matriste yer alan kalsit taneciklerinin tamamıyla çözünmediğinden dolayı kaynaklandığı bulunmuştur. Buna rağmen düzenli bünyedeki bu alkali aktivasyon ürünleri meydana gelmiş. Şekilde gösterilen karbon fiberin çevresini sarmış olan faz genel olarak bu jellerdir. Yapısındaki Si/Al oranları değişkenlik sergilemektedir. Daha ufak boyutlardaki pamuksu NASH jelleri ise farklı noktalarda görülmüştür. Fakat, matriste karbon fiberin aşağısında yer almış olan, CASH faz bütünlüğünü önüne çıkan bir mikro çatlak göze çarpmaktadır. Şekil 4.46-c'de Al_2O_3 partiküllerinin SiO_2 ve NaO ile birleşerek jeopolimer dokuları oluşturduğu, ancak yapının partikül halde olduğu bir arayüz ile jeopolimer yapıyı oluşturmaya başladığı görülmüştür. Burada Si/Al oranı yaklaşık 1/14 seviyelerindedir. Şekil 4.46-d'de ise tüm EDS noktalarında süresiz N(C)ASH yapıları gözlenmiştir. 10 – 30 mikron boyutlarında oluşan bu yapılar arasındaki kapiler boşluklar süresizliğin temel sebebinin oluşturmaktadır. Bu kapiler gözeneklerin yoğun miktarda oluşmasının sebebi 6 mol aktivatörlü hamurun işlenebilirliği sağlamak ve erken prizi önlemek amacıyla Ç/T oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.47. BK-M0 nolu alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analizi.

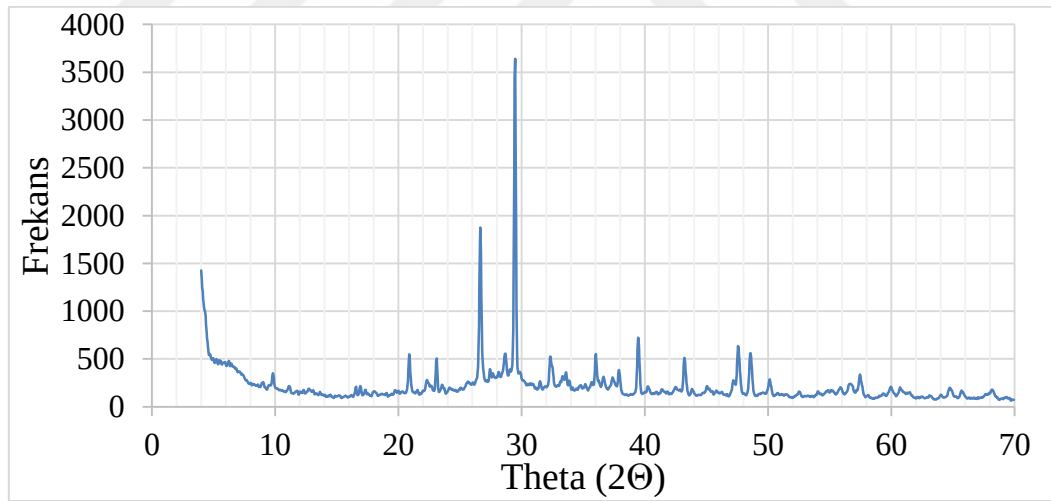
Şekil 4.47’de verilen XRD analizi sonuçlarına göre 90 günlük BK-M0 hamurunda; kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), termonatrit ($\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), zeolit grubu mineral (hoylandit, klinoptilolit), plajiyoklaz, alkali feldspat, trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), korundum (Al_2O_3) ve natrit (NaCO_3) mineralojik yapılarına rastlanılmıştır. Bu yapılarla SEM analizi ile XRD analiz sonuçlarından tespit edilen bileşenlerin birbirini desteklediği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.48’de hacimce %5 (kütlece %10) MnO_2 katkılı Beyaz tüf esaslı Alkali aktive edilmiş hamurların SEM görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 4.48a ve Şekil 4.48b’de 200 mikron ölçekli, Şekil 4.48c’de 100 mikron ölçekli SEM görüntüleri verilmiştir. Bu makro görsellerde karbon lifler, makro ve mikro gözenekler ile bazı rötire çatlakları görülmektedir. Gözeneklerin özellikle liflerin etrafında yoğun olduğu, Şekil 4.48b’de bir gözenek yapısı da görülmektedir.



Şekil 4.48. BK-M3 nolu alkali-aktive edilmiş hamurun SEM-EDS analizi.

Bu SEM görüntülerinde matrisin partiküllü süreksiz bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dayanımların düşük kalmasının temel sebebinin bu olduğu da düşünülmektedir. ancak süreksizliğin temel sebebi ise çözeltinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.48d’de Al_2O_3 partikülü, az miktarda (%8) Si ve Na ile birlikte görülmektedir. Partikül tam olarak çözülmediği için yüzeyde diğer partiküller EDS analizinde görülmüştür. Şekil 4.48e’de %91 Na-Al-Si-O yapıları %5’e yakın Mangan ile birlikte gözlenmiştir. Bu yapılarda az da olsa Mangan jeopolimer yapının içine dahil olduğu anlaşılmaktadır. Manganın yapıya dahil olmasıyla birlikte dayanımlar artmıştır. Şekil 4.48f’de EDS#1’de MnO_2 içine %13 Si ve Na dahil olmuştur, EDS#2’de ise %80 Na-Al-Si-O (NASH) yapısı içinde %17 Mangan belirlenmiştir. Bu jeopolimer yapının içinde Mangan’ın önemli bir miktarda dahil olduğu ve yoğunluğu yüksek bir amorf yapı oluşturduğu görülmektedir. Şekil 4.48g’de natrit (NaCO_3) veya termonatrit ($\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yapısı görülmektedir



Şekil 4.49. BK-M3 nolu alkali-aktif edilmiş hamurun XRD analizi.

Şekil 4.49’da verilen XRD analizi sonuçlarına göre 90 günlük BK-M3 hamurunda; kalsit (CaCO_3), dolomit ($\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$), kuvars (SiO_2), natrit (NaCO_3), termonatrit ($\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), mika ve zeolit grubu mineral (analsim), plajiyoklaz, alkali feldspat ((Na-K-Mg-Ca)-Al-Si-O), korundum (Al_2O_3) ve piroluzit (MnO_2) yapılarına rastlanılmıştır. Bu yapılarla SEM analizi ile XRD analiz sonuçlarından tespit edilen bileşenlerin birbirini desteklediği anlaşılmaktadır

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada Alkali ile aktifleştirilmiş kompozit macun 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 %0, %1, %2,5, %5 ve oranında mangan ikame edilmiştir. Ayrıca mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özellikleri geliştirmek için alkali aktif maddeler üretiliminde hacimce %2 farklı üç tip fiber (polipropilen (PP), karbon (K) ve çelik (Ç)) kullanılmıştır. Kompozit hamur üretiminin 2., 28., 90. ve 180. günlerinde mekanik ve fiziksel özellikleri; Kaplama malzemelerinin elektromanyetik iletim ve yansıma özellikleri, 900-6000 MHz aralığında 56 ila 90 günlük üretim arasında test edilmiştir.

YBT ve BBT esaslı üretilmiş olan AAH'larda mangan oranı artmasıyla birlikte yayılma yüzdelerinin arttığı, priz sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Sodyum Hidroksit ve Sodyum Silikat kombinasyonu ile oluşturulan çözeltiyle aktive edilen yeşil tuf esaslı kompozit hamurlar arasında maksimum 180 günlük eğilme dayanımı olarak ölçülen 17,40 MPa değeri, karbon lifli ve %0 mangan ikameli YK-M0 hamuruna aittir. En yüksek 180 günlük basınç dayanımı olarak ölçülen 23,10 MPa değeri ise karbon lifli ve %1 mangan ikameli YK-M1 grubuna aittir. Sodyum Hidroksit ve Sodyum Silikat kombinasyonu ile oluşturulan çözeltiyle aktive edilen beyaz tuf esaslı kompozit hamurlar arasında maksimum 180 günlük eğilme dayanımı olarak ölçülen 16,00 MPa değeri, karbon lifli ve %1 mangan ikameli BK-M1

grubuna aittir. En yüksek 180 günlük basınç dayanımı olarak ölçülen 25,70 MPa değeri ise karbon lifli ve %0 manyetit ikameli BK-M0 grubuna aittir.

180 günlük Su emme deneyi gerçekleştirilen numuneler arasında yeşil tufle üretilen gruplarda En düşük değeri YP-M3'te, en yükseği ise YP-M0'da görülmüştür.

Görünen porozite değerleri kapsamında, %28,57 ile en düşük değere YP-M3, %36,59 ile en yüksek değere ise YP-M0 sahiptir.

90 günlük Su emme deneyi gerçekleştirilen numuneler arasında beyaz tüfle üretilen gruplarda En düşük değeri BP-M1’de, en yükseği ise BÇ-M3’te görülmüştür. Görünen porozite değerleri kapsamında, %25,68 ile en düşük değere BP-M1, %33,22 ile en yüksek değere ise BÇ-M3 sahiptir.

Yeşil tüf esaslı alkali aktive edilmiş hamurlarda en düşük maksimum 180 günlük büzülme yüzdesi %0,29 ile YK-M1 grubuna aittir. Beyaz tüf esaslı alkali aktive edilmiş hamurlarda en düşük maksimum 180 günlük büzülme yüzdesi %0,13 ile BK-M2 grubuna aittir.

YBT ile üretilmiş olan AAH’ler için 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları itibarıyla maksimum elektromanyetik dalga iletim değeri, 5000 MHz frekansında ve YÇ-M0 kompozit hamurunda, -24,55 dB olarak ölçülmüştür.

YBT ile üretilmiş olan kaplama malzemesi için 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları itibarıyla maksimum elektromanyetik dalga yansıma değeri, 5000 MHz frekansında ve YÇ-M2 grubunda, -15,92 dB olarak ölçülmüştür.

BBT ile üretilmiş olan kaplamalar için 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları itibarıyla maksimum elektromanyetik dalga iletim değeri, 900 MHz frekansında ve BK-M1 grubunda, -34,09 dB olarak ölçülmüştür.

BBT ile üretilmiş olan kompozit kaplamalar için 900, 1800, 2400 ve 5000 MHz frekansları itibarıyla maksimum elektromanyetik dalga yansıma değeri, 900 MHz frekansında ve BP-M0 grubunda, -19,22 dB olarak ölçülmüştür.

Mikroyapısal analizler sonuçlarında, reaksiyon sonucunda üretilen geopolimer jel yapıları matris içerisinde görülmüştür. Yalnız, özellikle mangan bulundurmeyen örneklerde yoğun şekilde mikroçatlak ve kapiler gözenekleri göze çarpmıştır. Bazı alanlarda ise çözünmemiş olan Al ve Na yapıları görüntülerde belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Eltundal, M. B., "Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı geopolimer betonların %5 sülfürik asit etkisinde mekanik davranışı", (2019).
2. M.C.G. Juenger, F. Winnefeld, J.L. Provis, J. H. I., "Advances in alternative cementitious binders", **Cement And Concrete Research**, 41 (12): 1232–1243 (2011).
3. Kantarcı, F., "Nano Silis, mikro silis ve polimer katkıların içeren volkanik tüf esaslı geopolimer beton üretimi ve özelliklerinin araştırılması", (2018).
4. Arslan, A. A., "Metakaolin tabanlı geopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisinin incelenmesi", (2019).
5. Taylor, M., Tam, C., ve Gielen, D., "Energy efficiency and CO2 emissions from the global cement industry energy efficiency and CO2 emission reduction potentials and policies in the cement", (2006).
6. Şinik, O., "Geopolimer betonlarda dayanıklılık özelliklerinin araştırılması", (2019).
7. M. Özdağ, "Ferrokrom cürufu ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer betonların donma-çözülme dayanıklılığının araştırılması", (2019).
8. Aydın, S., "Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu bağlayıcılı lifli kompozit geliştirilmesi", (2010).
9. Davidovits, J., "30 years of successes and failures in geopolymer applications. Market trends and potential breakthroughs", (2002).
10. Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., ve Jalali, S., "Alkali-activated binders: A review. Part 1. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products", **Construction And Building Materials**, 22 (7): 1305–1314 (2008).
11. V.B. Thapa, D. W., "A short review on alkali-activated binders and geopolymer binders", (2018).
12. Roy, D. M., "Alkali activated cements, opportunities and challenges", **Cement And Concrete Research**, 29: 249–254 (1999).
13. Görür, E. B., "Alkali ile aktifleştirilmiş uçucu kül geopolimer betonun dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması", (2015).
14. R.J. Thomas, H. Ye, A. Radlińska, S. P., "Alkali-activated slag cement concrete: A closer look at a sustainable alternative to portland cement", **Concrete International**, 38 (1): (2016).

15. Aslan, M. E., "Farklı mineral katkılarının geopolimer harçların özelliklerine etkileri", (2019).
16. Tekin, I., Gencil, O., Gholampour, A., Oren, O. H., Koksall, F., ve Ozbakkaloglu, T., "Recycling zeolitic tuff and marble waste in the production of eco-friendly geopolimer concretes", *Journal Of Cleaner Production*, 268 (May): 1–16 (2020).
17. Glukhovsky, V. D., "Ancient, modern and future concretes", (1994).
18. 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).
19. Humur, G. H., "Effect of nano-silica on the chemical durability and mechanical performance of fly ash based geopolimer concrete", (2018).
20. Dirikolu, İ., "Volkanik tüf esaslı alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcıların fiziksel ve mekanik özellikleri", (2019).
21. Davidovits, J., "Why alkali-activated materials are not geopolymers?", (2018).
22. Marvila, M. T., Azevedo, A. R. G. de, ve Vieira, C. M. F., "Reaction mechanisms of alkali-activated materials", *Revista IBRACON De Estruturas E Materiais*, 14 (3): 1–26 (2021).
23. Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., ve Jalali, S., "Alkali-activated binders: A review. Part 2. About materials and binders manufacture", *Construction And Building Materials*, 22 (7): 1315–1322 (2008).
24. Gümüş, A., "Geopolimer beton özelliklerine termal kür prosesinin etkisi", (2016).
25. Ranjbar, N. ve Zhang, M., "Fiber-reinforced geopolimer composites: A review", *Cement And Concrete Composites*, 107 (103): 49–66 (2020).
26. H. Yiğiter, S. T., "Çelik lif kullanımının yüksek performanslı betonların süneklik özelliğine etkisi", (2015).
27. Batool, S., Bibi, A., Frezza, F., ve Mangini, F., "Benefits and hazards of electromagnetic waves, telecommunication, physical and biomedical: A review", *European Review For Medical And Pharmacological Sciences*, 23 (7): 3121–3128 (2019).
28. Gökoğlan, E., Ekinci, M., Özgenç, E., Özdemir, D. İ., ve Aşıkoğlu, M., "Radyasyon ve insan sağlığı üzerindeki etkileri", *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi*, 25 (3): 289–294 (2020).

29. M. Gümüş, Ş. Demir, Ö. S., "Agrega tipinin ağır betonların radyasyon soğurma özelliklerine etkisi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 12 (2): 777–786 (2020).
30. H. Binici, A. Küçükönder, A. H. Sevinç, M. Eken, M. K., "Hafif ve ağır malzemelerin ısı, ses ve radyasyon yalıtım özelliklerinin araştırılması", *Çukurova University Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture*, 28 (2): 113–123 (2013).
31. Li, L., Dong, X., Dong, S., Yu, X., ve Han, B., "Electromagnetic wave shielding/absorption performances of cementitious composites incorporating carbon nanotube metamaterial with helical chirality", *SAGE Journals*, 54 (25): 3857–3870 (2020).
32. YASTI Ş.Y., "Konya-çukurçimen ve doganhisar çömlekçi killlerinin karakterizasyonu ve renklendirici malzeme olarak değerlendirilmesi", *Anadolu University*, (2004).
33. Kasap, S., "Mangan Dioksit (MnO₂) Katkılı Üç Boyutlu Köpüksü Yapıda Grafen Yapılarının Üretilmesi ve Karakterizasyonu", *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (4): 422–428 (2018).
34. G. Kürklü, G. G., "Alkali tuz içeriğinin geopolimer cephe kaplama malzemesi özelliklerine etkisi", (2014).
35. Davidovits, J., "Properties of Geopolymer Cements", *First International Conference On Alkaline Cements And Concretes*, 131–149 (1994).
37. Bılal, M., "Geopolimer betonda pirinç kabuğu külü ve atık seramik tozu kullanımının araştırılması", (2019).
38. F. Pacheco-Torgal, J.A. Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo, P. C., "Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes", (2015).
39. Their, J. M., "Mechanical and transport properties of geopolimer concrete with artificial lightweight aggregate", (2018).
40. Rafeet, A., "Mix design, fresh and hardened properties and microstructural characterisation of alkali-activated concrete based on PFA/GGBS blends.", *University of Technology and Applied Sciences- Salalah*, (2016).
41. F. Puertas, S. Martinez-Ramirez, S. Alonso, T. V., "Alkali-activated fly ash/slag cements. Strength behaviour and hydration products", *Cement And Concrete Research*, 30 (10): 1625–1632 (2000).
42. Özcan, A., "Ferrokrom cürufu ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer betonların asit,tuz ve sülfat etkilerine karşı dayanıklılığının araştırılması", (2018).

43. Öksüzer, N., "Farklı inceliklere sahip mermer ve Bayburt taşı atıklarının lif donatılı geopolimer bağlayıcılı sistemlerde kullanılması", (2016).
44. Rakhimova, N. R. ve Rakhimov, R. Z., "Reaction products, structure and properties of alkali-activated metakaolin cements incorporated with supplementary materials - A review", *Journal Of Materials Research And Technology*, 8 (1): 1522–1531 (2019).
45. Ekinçi, E., "Volkanik tüf kullanılarak üretilen geopolimer betonların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması", (2017).
46. Cao, V. D., Pilehvar, S., Salas-Bringas, C., Szczotok, A. M., Do, N. B. D., Le, H. T., Carmona, M., Rodriguez, J. F., ve Kjøniksen, A. L., "Influence of microcapsule size and shell polarity on the time-dependent viscosity of geopolimer paste", *Industrial And Engineering Chemistry Research*, 57 (29): 9457–9464 (2018).
47. Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., ve Criado, M., "Microstructure development of alkali-activated fly ash cement: A descriptive model", *Cement And Concrete Research*, 35 (6): 1204–1209 (2005).
48. Gasca-Tirado, J. R., Manzano-Ramírez, A., RiveraMuñoz, E. M., Velázquez-Castillo, R., Apátiga-Castro, M., Nava, R., ve Rodríguez-López, A., "Ion exchange in geopolymers", (2018).
49. Davidovits, J., "Geopolymer chemistry and sustainable development. The Poly (sialate) terminology : a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry", (2005).
50. Provis, J. L., Palomo, A., ve Shi, C., "Advances in understanding alkali-activated materials", *Cement And Concrete Research*, 78: 110–125 (2015).
51. Çolak, C., "Mechanical and durability properties of alkali activated slag concrete", (2018).
52. Krivenko, P., "Progress in alkaline cements", (1994).
53. Duxon, P. ve Provis, J. L., "Designing precursors for geopolimer cements", *Journal Of The American Ceramic Society*, 91 (12): 3864–3869 (2008).
54. Palomo, A., Krivenko, P., Garcia-Lodeiro, I., Kavalerova, E., Maltseva, O., ve Fernández-Jiménez, A., "A review on alkaline activation: New analytical perspectives", *Materiales De Construcción*, 64 (315): 1–24 (2014).
55. Ahmed, I., "Electromagnetic radiation properties of cementless alkali activated materials reinforced with polypropylene and steel fibers", (2021).
56. C. Shi, P.V. Krivenko, D. R., "Alkali-Activated Cements and Concretes", (2006).

57. Wang, S. D. ve Scrivener, K. L., "Hydration products of alkali activated slag cement", **Cement And Concrete Research**, 25 (3): 561–571 (1995).
58. Girgin, S., "NaOH ile aktifleştirilmiş metakaolin katkılı geopolimer malzeme özelliklerinin araştırılması", (2016).
69. Li, C., Sun, H., ve Li, L., "A review: The comparison between alkali-activated slag (Si + Ca) and metakaolin (Si + Al) cements", **Cement And Concrete Research**, 40 (9): 1341–1349 (2010).
60. M. Tuyan, O.C. Boyacı, Ö. Çakır, K. R., "Uçucu kül esaslı geopolimer betonların mekanik özellik ve yüksek sıcaklık dirençlerinin araştırılması", (2017).
61. Fernández-Jiménez, A. ve Palomo, A., "Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements", **Fuel**, 82 (18): 2259–2265 (2003).
62. E. Shamsaei, O. Bolt, F.B. Souza, E. Benhelal, K.S. Crentsil, J. S., "Pathways to commercialisation for brown coal fly ash-based geopolimer concrete in Australia", **Sustainability (Switzerland)**, 13 (8): (2021).
63. Shi, C., Jiménez, A. F., ve Palomo, A., "New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement", **Cement And Concrete Research**, 41 (7): 750–763 (2011).
64. Criado, M., Fernández-Jiménez, A., Aranda, M. A. G., ve De la Torre, A. G., "An XRD study of the effect of the SiO₂/Na₂O ratio on the alkali activation of fly ash", **Cement And Concrete Research**, 37 (5): 671–679 (2007).
65. Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y., "Puzolanik mineral katkılar ve tarihi geçmişleri", (2007).
66. Erdoğan, T. Y., "Beton", 179–212 (2015).
67. Erdoğan, Ş. ve Kurbetçi, Ş., "Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri", **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 4 (426): 115–120 (2003).
68. Tekin, İ., "Properties of NaOH activated geopolimer with marble, travertine and volcanic tuff wastes", **Construction And Building Materials**, 127: 607–617 (2016).
69. Özen, S., "Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri", **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 11 (2): 530–536 (2021).

70. Gökçe, H. S., Taban, S., ve 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).
71. Taban, S. ve 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).
72. Kaplan, H. ve Binici, H., "Tras ve traslı çimentolar", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 1 (2): 121–127 (1995).
73. Uzal, B., Bektaş, F., ve Turanlı, L., "Öğütülmüş doğal zeolitın alkali silika reaksiyonu ve sülfat etkisi ile genleşmesinin incelenmesi", (2004).
74. Rožek, P., Król, M., ve Mozgawa, W., "Geopolymer-zeolite composites: A review", **Journal Of Cleaner Production**, 230 (30): 557–579 (2019).
75. Acar, M. C., Şener, A., Özbayrak, A., ve Çelik, A. İ., "Geopolimer harçlarda zeolit katkısının etkisi", **Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi**, 8 (3): 820–832 (2020).
76. Yurt, Ü. ve Emiroğlu, M., "Zeolit ikameli geopolimer betonlarda kür şartlarının etkileri", **Academic Platform Journal Of Engineering And Science**, 8 (2): 396–402 (2020).
77. UYAR, M., "Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO₂, Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", **Fırat Üniversitesi**, (2013).
78. Ş. Ekmen, K. M., "Alkali aktivatör parametrelerinin ve test koşullarının geopolimer betonların büzülme ve sünme davranışı üzerine etkisi", **Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi**, 8733 (3): 93–101 (2018).
79. Xu, Y., Chen, H., ve Wang, P., "Effect of polypropylene fiber on properties of alkali-activated slag mortar", **Advances In Civil Engineering**, 2020: 12 (2020).
80. Mısıır, M. N., "Elazığ ferrokrom cürufu ile alkali aktive edilmiş cam lifi ve atık mermer tozu katkılı harçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi", (2021).
81. Rasheed, A. A., "Effect of nano silika and steel fiber on fresh state and mechanical properties of self-compacting geopolymer concrete", (2019).
82. Kuranlı, Ö. F., "Farklı bağlayıcı ve lif içeren geopolimer betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi", (2020).
83. Yonar, Y., "Geopolimer çimentolu ve polivinil alkol fiberli betonların yüksek sıcaklık dayanıklılığı", (2014).

84. Aydın, S. ve Baradan, B., "The effect of fiber properties on high performance alkali-activated slag/silica fume mortars", **Composites Part B: Engineering**, 45 (1): 63–69 (2013).
85. Yaprak, H., Şimşek, O., ve Öneş, A., "Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi", **Politeknik Dergisi**, 7 (4): 353–358 (2004).
86. Kozak, M., "Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması", **SDÜ Teknik Bilimler Dergisi**, 3 (5): 26–35 (2013).
87. Süzgeç, E., "Termik santral uçucu küllerinden geopolimer yapı malzemesi üretimi ve radyasyon sönümlemesinin belirlenmesi", (2020).
88. Marcilio, I., Habermann, M., ve Gouveia, N., "Extremely low-frequency magnetic fields and health effects: Literature review", **Revista Brasileira De Epidemiologia**, 12 (2): 1–19 (2009).
89. Zwinkels, J. C., "Light, Electromagnetic Spectrum", (2015).
90. Kaya, A. İ. ve Çifci, A., "Kaplama yöntemi ile ahşap kompozit malzemelerinin elektromanyetik kalkanlama özellikleri", **Mesleki Bilimler Dergisi**, 6 (2): 180–185 (2017).
91. Yazıcı, E., "Elektromanyetizma", (2016).
92. Veillette, M., "Electromagnetism", (2018).
93. F. Taktak, İ. Tiryakioğlu, İ. Y., "Gps’de kullanılan elektromanyetik dalgaların insan sağlığına etkilerinin irdelenmesi", (2005).
94. Amca, H. A. ve İlkan, M., "Mobil telefonlar ve baz istasyonları tarafından yayılan mikrodalga sinyallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri", (1999).
95. Miller, A. B., Siers, M. E., Morgan, L. I., Davis, D. L., Hardell, L., Oremus, M., ve Soskolne, C. L., "Risks to health and well-being from radio-frequency radiation emitted by cell phones and other wireless devices", **Front Public Health**, 7 (223): 1–10 (2019).
96. Torres-Duran, P. V., Ferreira-Hermosillo, A., Juarez-Oropeza, M. A., Elias-Vinas, D., ve Verdugo-Diaz, L., "Effects of whole body exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on serum and liver lipid levels, in the rat", (2007).
97. Nelson, S. O., "Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials", **Journal Of Food Engineering**, 21 (3): 365–384 (1994).
98. Internet: Nave, R., "Interaction of radiation with matter", .

99. Xie, S., Ji, Z., Zhu, L., Zhang, J., Cao, Y., Chen, J., Liu, R., ve Wang, J., "Recent progress in electromagnetic wave absorption building materials", *Journal Of Building Engineering*, 27: 1–14 (2020).
100. Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Molla, T., ve Sancar, S., "Radyoaktif ışınlardan korunaklı ekolojik yapılar", *Journal Of Polytechnic*, 14 (2): 93–99 (2011).
101. Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., ve Akkaş, A., "Farklı çimentolarla üretilen çimento pastalarının radyasyon zırhlama özellikleri", *SDU International Technologic Science*, 4 (2): 135–140 (2012).
102. Yılmaz, R., "Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler", *Ejovoc (Electronic Journal Of Vocational Colleges)*, 4 (1): 136–150 (2014).
103. Liu, C., Wang, L., Liu, S., Tong, L., ve Liu, X., "Fabrication strategies of polymer-based electromagnetic interference shielding materials", *Advanced Industrial And Engineering Polymer Research*, 3 (4): 149–159 (2020).
104. Chung, D. D. L., "Materials for electromagnetic interference shielding", *Materials Chemistry And Physics*, 255 (April): 1–11 (2020).
105. Wanasinghe, D., Aslani, F., ve Ma, G., "Electromagnetic shielding properties of carbon fibre reinforced cementitious composites", *Construction And Building Materials*, 260: 1–14 (2020).
106. Zhang, L., Bi, S., ve Liu, M., "Lightweight electromagnetic interference shielding materials and their mechanisms", (2018).
107. Ribadeneyra, M. C., "EMI shielding composites based on magnetic nanoparticles and nanocarbons", (2014).
108. Palamutcu, S. ve Dağ, N., "Fonksiyonel tekstiller 1: Elektromanyetik kalkanlama amaçlı tekstil yüzeyleri", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3 (1): 87–101 (2009).
109. Internet: Direct, S., "Jeopolimer çalışmalarının yıllara göre yayın sayısı", .
110. Internet: Direct, S., "Elektromanyetik kalkanlama çalışmalarının yıllara göre yayın sayısı", .
111. Sikora, P., Horszczaruk, E., Cendrowski, K., ve Mijowska, E., "The influence of Nano-Fe₃O₄ on the microstructure and mechanical properties of cementitious composites", *Nanoscale Research Letters*, 11 (1): 1–9 (2016).
112. Guan, B., Ding, D., Wang, L., Wu, J., ve Xiong, R., "The electromagnetic wave absorbing properties of cement-based composites using natural magnetite powders as absorber", *Materials Research Express*, 4 (5): 1–6 (2017).

113. Lesbayev, A. B., Elouadi, B., Borbotko, T. V., Manakov, S. M., Smagulova, G. T., Boiprav, O. V., ve Prikhodko, N. G., "Influence of magnetite nanoparticles on mechanical and shielding properties of concrete", **Eurasian Chemico-Technological Journal**, 19 (3): 223–229 (2017).
115. Farhan, N. A., Sheikh, M. N., ve Hadi, M. N. S., "Engineering properties of ambient cured alkali-activated fly ash–slag concrete reinforced with different types of steel fiber", **Journal Of Materials In Civil Engineering**, 30 (7): 13–25 (2018).
116. Najm, M. S., "Structural behavior of geopolymer concrete beams", (2018).
118. Tekin, İ. ve Şahin, H., "The use of Bayburt region zeolitic tuffs as a mineral additive in blended cement production", **Cement Concrete World**, 25 (146): 54–67 (2020).
120. Hutagalung, S. D., Sahrol, N. H., Ahmad, Z. A., Ain, M. F., ve Othman, M., "Effect of MnO₂ additive on the dielectric and electromagnetic interference shielding properties of sintered cement-based ceramics", **Ceramics International**, 38 (1): 671–678 (2012).
121. Qiao, M., Lei, X., Ma, Y., Tian, L., Wang, W., Su, K., ve Zhang, Q., "Facile synthesis and enhanced electromagnetic microwave absorption performance for porous core-shell Fe₃O₄@MnO₂ composite microspheres with lightweight feature", **Journal Of Alloys And Compounds**, 693: 432–439 (2017).
122. Tejendra K. Gupta, a Bhanu P. Singh,*a Vidya Nand Singh, b Satish Teotia, a Avanish Pratap Singh, c Indu Elizabeth, a Sanjay R. Dhakate, a S. K. D. and R. B. M., "MnO₂ decorated graphene nanoribbons with superior permittivity and excellent microwave shielding properties", **J. Mater. Chem. A**, (4263): (2013).
123. Çağatay YAMÇIÇIER, "Enerji Depolama Cihazları için β-MnO₂ Bileşiğinin Yüksek Basınç Altında Yapısal ve Elektronik Özellikleri", **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**, 12 (1): 155–167 (2022).
124. Min Zhou, Xin Zhang, Jumeng Wei, Shuli Zhao, Long Wang, and B. F., "Morphology-Controlled Synthesis and Novel Microwave Absorption Properties of Hollow Urchinlike α-MnO₂ Nanostructures", **J. Phys. Chem. C**, (2010).
125. Chen, X., Jia, Z., Feng, A., Wang, B., Tong, X., Zhang, C., ve Wu, G., "Hierarchical Fe₃O₄@carbon@MnO₂ hybrid for electromagnetic wave absorber", **Journal Of Colloid And Interface Science**, 553: 465–474 (2019).

126. Song, L., Duan, Y., Liu, J., ve Pang, H., "Materials Characterization Insight into electromagnetic absorbing performance of MnO₂ from two dimensions : Crystal structure and morphology design", **Materials Characterization**, 163 (March): 110300 (2020).
127. Song, L., Duan, Y., Liu, J., ve Pang, H., "Transformation between nanosheets and nanowires structure in MnO₂ upon providing Co²⁺ ions and applications for microwave absorption", **Nano Research**, 13 (1): 95–104 (2020).
128. Su, T., Zhao, B., Fan, B., Li, H., ve Zhang, R., "Enhanced microwave absorption properties of novel hierarchical core-shell δ / α MnO₂ composites", **Journal Of Solid State Chemistry**, 273 (January): 192–198 (2019).
129. Su, T., Zhao, B., Han, F., Fan, B., ve Zhang, R., "The effect of hydrothermal temperature on the crystallographic phase of δ -MnO₂ and their microwave absorption properties", **Journal Of Materials Science: Materials In Electronics**, 30 (1): 475–484 (2019).
130. Wang, J., Chen, Y., ve Chen, B., "Effects of Transition-Metal Ions on the Morphology and Electrochemical Properties of δ -MnO₂ for Supercapacitors", **Met. Mater. Int**, 20 (6): 989~996 (2014).
131. Aykut, C., "Bayburt taşı atıklarının geopolimer tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması", (2017).
132. Yağcıoğlu, U. C., Bak, T., ve Şen, C., "Bayburt Taşı (Tüfit)", **Mavi Gezegen**, 5 (26): 91–95 (2019).
133. Şahin, H., "Bayburt taşı olarak bilinen tüflerin çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", (2018).
134. Kaçar, M. C., "Bayburt taşının üç boyutlu işlenebilmesi için mekanik sistemin ve kontrol yazılımının gerçekleştirilmesi", (2014).
135. Internet: ASTM C1437-20, "ASTM C1437 - 20 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar", .
136. Internet: ASTM C596-18, "ASTM C596 - 18 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement", .
137. Internet: ASTM C348-18, "Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars", .
138. Internet: ASTM C109/C109M-16, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars",

139. Yenidünya, E. (2013). Farklı maksimum sıcaklık değerleri altında buhar kürü uygulamasının çelik lifli betonların mekanik dayanımına etkisi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
140. Yadollahi, M. M. and Varolgüneş, S., "Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 7(2): 36-41 (2018)
142. Kuranlı, Ö. F., "Farklı Bağlayıcı Ve Lif İçeren Geopolimer Betonların Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi", (2020).
143. İnceyol, M., "Adıyaman Yerleşim Alanlarından Çıkan Killi Toprağın Soda Camı Katkısı ile Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (2019)
144. Şengün, K., "Cfrp İle Güçlendirilen Çelik Lifli Betonarme Kirişlerde Dayanım Artışlarının İrdelenmesi", (2016).
145. 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).

ÖZGEÇMİŞ

Macid IBRAHİM, lise öğrenimini Hatay şehrinde tamamladı. 2016 yılında başladığı Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği lisans programından 2020 yılında mezun oldu. ve Aynı yılda Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 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.

