

**HARÇLARDA ATIK BAKIR CÜRUFU VE KARBON LİF
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

HİLAL DEMİRTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA DAYI**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARÇLARDA ATIK BAKIR CÜRUFU VE KARBON LİF
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Hilal DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Bayram POYRAZ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 07/07/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

07 Temmuz 2023

Hilal DEMİRTAŞ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Dayı'ya en içten dileklerle teşekkür ederim. Çalışma sürecindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Bayram Poyraz ve Dr. Öğr. Üyesi Murat Çavuş'a hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen eşim Dr. Çağrı Demirtaş'a ve her an varlığını hissettiğim oğlum Alaz'a şükranlarımı sunarım.

Bu eğitim hayatım boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

07 Temmuz 2023

Hilal DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
2.1. RADYASYON.....	5
2.1.1. İyonize Olmayan Radyasyon (Non-Ionizing Radiation).....	6
2.2. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA.....	9
2.2.1. Yapı Malzemelerinde Elektromanyetik Kalkanlama	10
2.3. YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN HARÇLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	11
2.3.1. Harçlarda Aranan Özellikler	11
2.3.2. Yapı Harçlarının Tarihsel Süreci	12
2.3.3. Harç Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler	12
2.3.4. Harç Çeşitleri.....	13
2.3.4.1. Yapıdaki Kullanımına Göre Harçlar	13
2.3.4.2. Bağlayıcının Cinsine Göre Harçlar	13
2.4. CÜRUF	15
2.4.1. Bakır Cürufu	16
2.4.1.1. Bakır Cürufunun Avantajları	16
2.4.1.2. Bakır Cürufunun Özellikleri.....	17
2.5. KARBON LİFLER.....	18
2.5.1. Karbon Liflerin Mekanik Özellikleri.....	18
2.5.2. Karbon Liflerin Avantajları ve Dezavantajları	19
2.6. LİTERATÜR İNCELEMESİ	20
2.6.1. Bakır Cürufu İle Yapılan Çalışmalar	20
2.6.2. Karbon Fiber İle Yapılan Çalışmalar	23
2.6.3. Elektromanyetik Kalkanlama İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar ..	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. MALZEME	33
3.1.1. Atık Bakır Cürufu.....	33
3.1.2. Karbon Lif	35
3.1.3. Kum	36
3.1.4. Çimento	37
3.1.5. Karma Suyu.....	38
3.2. YÖNTEM	39
3.2.1. Harç Karışım Oranlarının Belirlenmesi	39

3.2.2. Deney Ön Hazırlığı ve Deney Programı.....	40
3.2.3. Taze Harç Deneyleri	42
3.2.4. Sertleşmiş Harç Deneyleri	45
3.2.4.1. Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk) Deneyi	45
3.2.4.2. Kütlece ve Hacimce Su Emme Deneyleri	46
3.2.4.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	46
3.2.4.4. Elektromanyetik Özelliklerin Belirlenmesi.....	49
3.2.4.5. Mikro Yapı İncelemesi	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	51
4.1.1. Birim Hacim Ağırlık	51
4.1.2. Kütlece Su Emme	52
4.1.3. Hacimce Su Emme	53
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	54
4.2.1. Eğilmede Çekme Dayanımı	54
4.2.2. Basınç Dayanımı.....	56
4.2.3. Statik Elastisite Modülü	57
4.3. ELEKTROMANYETİK DALGA İLETİMİ.....	58
4.4. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ.....	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5.1. SONUÇLAR.....	66
5.2. ÖNERİLER.....	67
6. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri.....	6
Şekil 2.2. Elektromanyetik dalga.....	8
Şekil 2.3. Elektromanyetik saçılım mekanizması.....	10
Şekil 3.1. Çeneli kırıcı.....	34
Şekil 3.2. Bilyalı kırıcı.....	35
Şekil 3.3. Bakır cürufunun öğütülmesi ve eleme aşamaları.....	35
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan kırpılmış karbon lifler.....	36
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan cihazlar a) Hassas terazi b) Harç mikseri.....	41
Şekil 3.6. Yayılma deneyi uygulanmış harç örnekleri.....	42
Şekil 3.7. Kalıplara yerleştirilmiş harç numuneleri.....	43
Şekil 3.8. Harç numunelerinin kür ortamında bekletilmesi.....	43
Şekil 3.9. Elektromanyetik deneyi için üretilen karo numuneler.....	44
Şekil 3.10. a) Kalıptan çıkarılan karo numuneler b) Kür teknesi.....	44
Şekil 3.11. Üniversal çimento test presi.....	47
Şekil 3.12. Bilgisayar kontrollü üniversal çimento presi.....	48
Şekil 3.13. Elektromanyetik kalkanlama deney düzeneği a) Faraday kafesi, b) dalga jeneratörü ve spektrum analizörü (yansıma), c) spektrum analizörü (iletim) ve numune, d) spektrum analizörü.....	49
Şekil 4.1. Şahit numuneye ait x500 büyütme SEM görüntüsü.....	63
Şekil 4.2. 5K serisine ait x5000 SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	64
Şekil 4.3. 50B/5K serisine ait x5000 SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	65

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Radyasyon türü, kaynağı ve frekans aralığı.....	7
Çizelge 2.2. Bakır cürufunun ana oksitleri.	17
Çizelge 2.3. Bakır cürufunun fiziksel özellikleri.	17
Çizelge 2.4. Karbon liflerin mühendislik özellikleri.	19
Çizelge 2.5. Bakır cürufu kullanılarak yapılan çalışmalar.....	22
Çizelge 2.6. EMI üzerine yapılan çalışmalar ve nitelikleri.....	31
Çizelge 3.1. Bakır cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 3.2. Karışıma giren bakır cürufu atıklarının elek boyutları ve oranları.	35
Çizelge 3.3. Karbon lifin teknik özellikleri.	36
Çizelge 3.4. CEN standart kumu elek analizi.	37
Çizelge 3.5. CEM II 42.5R Çimentosunun fiziksel özellikleri.	37
Çizelge 3.6. CEM II 42.5R Çimentosunun kimyasal özellikleri.	38
Çizelge 3.7. Şebeke suyuna ait kimyasal özellikler.....	38
Çizelge 3.8. Harç serilerine ait kodlamalar ve oranları.	39
Çizelge 3.9. Harçların ağırlıkça karışım oranları.....	40
Çizelge 3.10. 30×30×1 cm boyutundaki harç serilerinin ağırlıkça karışım oranları.	40
Çizelge 3.11. Harç serilerine uygulanan deney programı.....	41
Çizelge 4.1. Harç serilerine ait birim hacim ağırlık değerleri.....	52
Çizelge 4.2. Harç serilerine ait kütlece su emme değerleri.....	53
Çizelge 4.3. Harç serilerine ait hacimce su emme değerleri.....	54
Çizelge 4.4. Harç serilerine ait eğilmede çekme dayanımı değerleri.	55
Çizelge 4.5. Harç serilerine ait basınç dayanımı değerleri.	56
Çizelge 4.6. Harç serilerine ait elastisite modülü değerleri.	58
Çizelge 4.7. 25B ve 50B harç serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.....	59
Çizelge 4.8. 1K ve 5K harç serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.	60
Çizelge 4.9. 25B/K serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.	60
Çizelge 4.10. 50B/K serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.	61
Çizelge 4.11. Harç serilerine ait frekans ve iletim kaybı ilişkisi.	62

KISALTMALAR

ASTM	Amerikan test ve malzeme kurumu
CEN	Avrupa standartlar komitesi
dB	Desibel
EM	Elektromanyetik
EMA	Elektromanyetik alan
EMI	Elektromanyetik girişim
EMI SE	Elektromanyetik girişim koruma etkinliği
EN	Avrupa standartları
GPa	Gigapascal
Hz	Hertz
THz	Terahertz
MHz	Megahertz
MW	Mikrodalga
kHz	Kilohertz
MPa	Mega paskal
NIR	İyonlaştırıcı olmayan radyasyon
PAN	Poliakrilonitril
PHz	Petahertz
PITCH	Zift
TS	Türk standardı
Ş	Çimento+agrega
25B	Çimento+%75 agrega+%25 bakır cürufu
50B	Çimento+%50 agrega+%50 bakır cürufu
1K	Çimento+%100 agrega+%0,1 karbon lif
3K	Çimento+%100 agrega+%0,3 karbon lif
5K	Çimento+%100 agrega+%0,5 karbon lif
25B/1K	Çimento+%75 agrega+%25 bakır cürufu+%0,1 karbon lif
25B/3K	Çimento+%75 agrega+%25 bakır cürufu+%0,3 karbon lif
25B/5K	Çimento+%75 agrega+%25 bakır cürufu+%0,5 karbon lif
50B/1K	Çimento+%50 agrega+%50 bakır cürufu+%0,1 karbon lif

50B/3K

Çimento+%50 agrega+%50 bakır cürufu+%0,3
karbon lif

50B/5K

Çimento+%50 agrega+%50 bakır cürufu+%0,5
karbon lif



SİMGELER

σ	Gerilme
ϵ	Deformasyon
μ	Mikron
ϕ	Çap
%	Yüzde
b	Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu
cm	Santimetre
C°	Sıcaklık
Dh	Birim hacim ağırlık
E	Elastisite modülü
F	Kırılmadaki en büyük yük
F _f	Numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük
mm	Milimetre
R	Basınç dayanımı
R _f	Eğilme dayanımı
S _k	Kütlece su emme oranı
S _h	Hacimce su emme oranı
W ₀	Kuru numune kütlesi
W ₁	Suya doymun numune kütlesi
W ₂	Su içerisinde batırılmış numune kütlesi

ÖZET

HARÇLARDA ATIK BAKIR CÜRUFU VE KARBON LİF KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Hilal DEMİRTAŞ

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

Temmuz 2023, 78 sayfa

Teknolojinin hızla gelişmesi ve hayatımıza katmış olduğu teknolojik aletlerin oluşturmuş olduğu elektrik ve manyetik alanın birleşiminden oluşan elektromanyetik alan, insan sağlığına olumsuz yönde etkilemektedir. Bireylerin elektromanyetik alana gündelik hayatın içinde geniş bir alanında maruz kalması, mekânların-yapıların elektromanyetik alanlara karşı daha sağlıklı hale getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu çalışmada, atık bakır cürufu ve karbon lifleri farklı oranlarda çimento harcına ikame ve katkı ile eklenmiştir. Üretilen kompozit harçların 28, 90 ve 180 günlerinde fiziksel, mekanik, elektromanyetik iletim ve mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. İlave edilen katkılar ile üretilen harçların mekanik dayanımlarının şahit harç numunelere göre daha üstün özellikte olduğu belirlenmiştir. Elektromanyetik kalkanlamanın atık bakır cürufu ve özellikle karbon lifi katkısıyla daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. En yüksek elektromanyetik iletim kaybı değeri %50 atık bakır cürufu ve %0,5 karbon lifi içeren harçlarda elde edilmiştir. Ayrıca çevresel bir atık olarak depolanan atık bakır cürufunun çimentolu harç sistemlerinde kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Atık bakır cürufu, Karbon lif, Çimento harcı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USE OF WASTE COPPER SLAG AND CARBON FIBER IN MORTARS

Hilal DEMİRTAŞ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa DAYI

July 2023, 78 pages

The electromagnetic field, which consists of the combination of the electric and magnetic fields created by the rapid development of technology and the technological tools it has added to our lives, affects human health negatively. Exposure of individuals to electromagnetic fields in a wide area of daily life necessitated making spaces-structures healthier against electromagnetic fields. In this study, waste copper slag and carbon fibers were added to the cement mortar in different proportions with substitutes and additives. Physical, mechanical, electromagnetic transmission and microstructure investigations of the produced composite mortars were carried out at 28, 90 and 180 days. It has been determined that the mechanical strength of the mortars produced with the added additives is superior to the witness mortar samples. It has been observed that electromagnetic shielding gives more positive results with the addition of waste copper slag and especially carbon fiber. The highest electromagnetic conduction loss value was obtained in mortars containing 50% waste copper slag and 0.5% carbon fiber. In addition, it has been determined that the waste copper slag, which is stored as an environmental waste, is suitable for use in cement mortar systems.

Keywords: Waste copper slag, Carbon fiber, Cement mortar.

1. GİRİŞ

İnsanlığın dünyada var olduğu ilk andan itibaren barınma önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçlar bireylerin yaşadıkları coğrafyaya göre farklılık göstermiştir. Bunun yanında bireylerin yaşadıkları veya inşa ettikleri yapının özellikleri ise yaşadıkları coğrafyanın iklim özellikleri, kayaç yapısı, bölgede bulunan malzeme çeşidi, sahip oldukları bilgi birikimi, yaşam tarzları, inançları, kültürleri, beden yapıları vb. özelliklere göre farklılık göstermiştir.

Bu değişim sürecinde yapıların evrimi, çeşitli mimari stillerin ortaya çıkmasına ve farklı yapı türlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Örneğin, sıcak iklim bölgelerinde genellikle geleneksel olarak açık ve havadar yapılar tercih edilirken, soğuk iklimlerde ise yalıtımlı ve ısıtma sistemlerine sahip yapılar önem kazanmıştır.

Teknolojik gelişmeler sonucu yapı malzemelerindeki gelişmeler, modern çağda yapıların tasarım ve inşaatında büyük değişikliklere neden olmuştur. Yeni malzemelerin keşfi ve kullanımı, daha sağlam, dayanıklı, enerji verimli ve estetik açıdan çekici yapıların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Bugün, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği, yapı sektöründe önemli bir odak noktası haline gelmiştir. Yeşil binalar, yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre dostu yapı malzemeleri gibi faktörler, yapıların çevresel etkilerini azaltma ve enerji tasarrufunu maksimize etme hedeflerini desteklemektedir.

Günümüz dünyasında hızla gelişen teknoloji, inşaat sektöründe yenilikleri ve gelişmeleri zorunlu hale getirmiştir. İnşaat alanında yüksek kullanım oranına sahip betonun taşıyıcılık özelliğinin yanında durabilite, güvenlik, yangına dayanıklılık, iletkenlik ve elektromanyetiklik gibi özellikler de betonun değerlendirilmesinde önemli parametreler haline gelmişlerdir. Bu çalışma; karbon lif ve atık bakır cürufu katkılı harç betonun mekanik, fiziksel ve elektromanyetik (EM) özelliklerinin (kalkanlama, soğurma ve zayıflatma) geliştirilmesi üzerine kurgulanmıştır.

Teknolojinin günlük yaşamda daha fazla yer alması ile teknolojik ürünlerin bireyler tarafından kullanımı yaygınlaşmıştır. Elektrikli trenler, elektrikli aletler, yüksek gerilim hatları, televizyon ve bilgisayar, telefon, mikrodalga fırın, klima, elektrikli ısıtıcılar, fotokopi makineleri, otomobiller, baz istasyonları, elektronik haberleşme ağları, uydu

iletişim sistemleri, radarlar, araç ateşleme sistemleri, tıbbi cihazlar vb. elektronik cihazlar çalışırken elektromanyetik alan (EMA) oluşturarak bu enerjinin yayılmasına neden olmaktadır. Meydana gelen elektromanyetik alan ve enerji yayılımı canlılara zarar verebilmekte ve elektromanyetik girişim (EMI) oluşturarak diğer elektronik ürünlerin daha etkili ve verimli kullanımını engellemektedir [1], [2]. EM dalgaların ortam içinde hangi oranda buldukları elektronik cihazların uygun şekilde çalışabilmesi içinde oldukça önemlidir. Dolayısıyla kullanıyor olduğumuz bu elektronik cihazların çalıştığı ortamda elektrik ve manyetik alan şiddetinin belli bir değerin üzerine çıkmaması gerekir [3]. Elektronik cihazların yaydığı EMA'dan etkilenme durumumuz; uzaklık, dalga frekansı, dalga boyu, maruz kalma süresi gibi faktörlerden etkilenir. Aynı zamanda bu risk evin yapısı ve topolojisi (örneğin kullanılan alan ve duvar yapısının oranı), çevre, bizi çevreleyen bina yapısı ve elektrik kablolarının duvarlara yerleşimi gibi faktörlerinden de etkilenir [4]. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin revaçta olduğu bu çağda, elektromanyetik kirlilik düzeyi de giderek artmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde iletişim yoğunluğu zamana ve mekâna göre değişmektedir. EMA'ya yoğun bir şekilde maruz kalmamız bazı olumsuz durumlara neden olabilir. Örneğin birçok araştırmada düşük frekanslı radyasyonların canlılara olumsuz etkilerinin yakın mesafelerde daha fazla olduğu belirtilmiştir [5]. Düşük yoğunluklarda düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalma, Dünya Sağlık Örgütü gibi uluslararası kuruluşlar tarafından yeterince ele alınmamış olsa da önemli bir sağlık tehlikesini beraberinde getirmektedir. Cep telefonu frekanslarına uzun süre aşırı maruz kalmanın hem insanlarda hem de hayvanlarda beyin kanseri riskini artırdığına dair güçlü kanıtlar mevcuttur [6]. Japonya yapılan bir çalışmada çocukluk çağı lösemisi ile manyetik alanlar arasında ilişki olduğunu belirtilmiştir. Araştırmada çocukların yatak odalarında yüksek EMA maruz kalma durumu ile çocukluk çağı lösemisi arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir[7].

EM dalgalar tarafından oluşan riskin yapı malzemeleriyle engellenebildiği ifade edilebilir. Yüksek enerjili radyasyonları emici veya yansıtıcı tasarımlar günümüzde kullanılmaktadır. Hastanelerde X ışını bulunan odaların duvarları kurşun levhalar ile kaplanabilmekte, nükleer santrallerin bazı bölümleri büyük agregalı kütle betonuyla inşa edilebilmektedir. Aynı zamanda, çimento ile uyumlu metal elyaf, demir oksitler, karbon nanotüpler, grafit, karbon filament, grafen oksit ve karbon lif malzemelerinin EM emici özelliklerinin olduğu söylenebilir [8]. Elektromanyetik dalgalara hayatın geniş bir alanında maruz kalınması, günlük hayatta sıkça kullanılan yapıların daha sağlıklı

mekanlar haline getirilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Bu amaçla yapılan araştırmalar arasında yapı harcının EMI özelliklerinin iyileştirilmesi için geliştirilen kompozitler önemli olmuştur.

Birçok ÷lkede olduğu gibi T÷rkiye’de de inşaat sekt÷r÷n÷n hızlı gelişimi kaynak sıkıntısını da beraberinde getirmektedir. İnşaat sekt÷r÷n÷n alt yapısını doğal kaynaklar oluşturmakta ancak doğal kaynakların bu gelişmelere ayak uyduracak kadar sınırsız olmadığı ortadadır. End÷striyel atıkların bertaraf edilmesi, yapı malzemelerinin geliştirilmesi, enerji tasarrufu, ekonomi, s÷rd÷r÷lebilirlik gibi avantajlar sağlayacaktır. Son zamanlarda end÷striyel atıkların bertaraf edilmesi ve kompozit malzeme üretiminde sağladığı avantajların araştırılması, bilimsel çalışmalarda öne çıkan konulardan biri olmuştur. İnşaat sekt÷r÷, sanayi alanlarından elde edilen birçok atık malzemeye kullanım olanağı sağlanması dolayısıyla doğaya, ekonomiye faydalar sağlamaktadır [7]. Silis dumanı, uçucu kül, atık lastik, gran÷le yüksek fırın c÷rufu, mermer tozu, bakır c÷rufu bunlardan sadece bir kaçıdır [10] Bakır üretiminin yan ürünü olan bakır c÷rufunun, bertaraf edilmesi için beton katkısı olarak kullanılma fikri s÷rd÷r÷lebilirlik açısından önem arz etmektedir. Bir ton metal üretimi esnasında yaklaşık 2.2 ton metal atığının ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu durum bakır c÷rufunun geri dönüşümü sayesinde çevreye sağlayacağı yararın büyüklüğünü ortaya koymaktadır. Bakır atıklarının kimyasal içeriği de betonda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Yapılan akademik bir çalışmada atık bakır c÷rufunun Portland çimento yapımında demir hammaddesi olarak kullanıldığı belirtilmiştir [11]. Bu durum atık olan malzemelerin doğru yerde kullanılmasının çevreye sağladığı yararlarla birlikte inşaat sekt÷r÷n÷n ihtiyaçlarına cevap verebildiğini de göstermektedir.

Eski çağlardan beri harç betonun zayıf yönlerini geliştirmek üzere karışıma saman, keçi kılı, kuş tüyü gibi malzemeler katılmaktaydı. Günümüz şartlarında ise daha gelişmiş özelliklere sahip olan lifler tercih edilmektedir. Geleneksel beton ve tamir amaçlı kullanılan harçlara katılan lifler (camsı, sentetik, karbon, çelik) harç içerisinde oluşan ve çimento tarafından engellenemeyen mikro çatlakların gelişip ilerlemesine engel olabilmektedir. Karbon lifli kompozitler, sertlik, düşük ağırlık, yüksek dayanım ve üstün yorulma dayanımı gibi kritik ihtiyaçların karşılanması gereken uygulamalarda yoğun bir şekilde kullanılmakla birlikte; yüksek sıcaklık, yüksek sönümleme kapasitesi ve kimyasal etkilere karşı dayanım gibi özelliklere ihtiyaç duyulan durumlarda da kullanılmaktadır. Aynı zamanda karbon lifler, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ile düşük ısıl genleşme

katsayısına sahiptirler [12]. Bu özellikler harcın elektromanyetik özelliklerine olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Son zamanlarda elektromanyetik kalkanlama üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında bakır cürufunun agrega yerine kullanılması ve çimento bileşenlerine eklenmesi şeklinde araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmada atık bakır cürufu ve karbon lif, karışımın hacmine belli oranlarda dahil edilmiştir. Bakır cürufu %25 ve %50 oranlarında kum ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Bakır cürufunun bileşenleri arasında bulunan demir oksit molekülleri elektromanyetik zayıflama sağlayabilecek kompozit üretilmesine olanak sağlayacağı düşünülmüştür. Bununla birlikte elektromanyetik zayıflama sağlanması beklenen ve aynı zamanda literatür ışığında değerlendirdiğimizde betonun eğilme dayanımında iyileşme sağlanması beklenen karbon lif de karışımın hacmine %0,1- %0,3- %0,5 oranlarında katılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

Günümüz dünyasında hızla gelişen teknoloji, inşaat sektöründe yenilikleri ve gelişmeleri zorunlu hale getirmiştir. İnşaat alanında yüksek kullanım oranına sahip betonun taşıyıcılık özelliğinin yanında durabilite, güvenlik, yangına dayanıklılık, iletkenlik ve elektromanyetik gibi özellikler de betonun değerlendirilmesinde önemli parametreler haline gelmişlerdir. Bu başlık altında karbon lif, bakır cürufu, harç, elektromanyetiği de kapsayan radyasyon, elektromanyetik kalkanlama ve bunların alt başlıklarının bulunduğu konular incelenmiştir.

2.1. RADYASYON

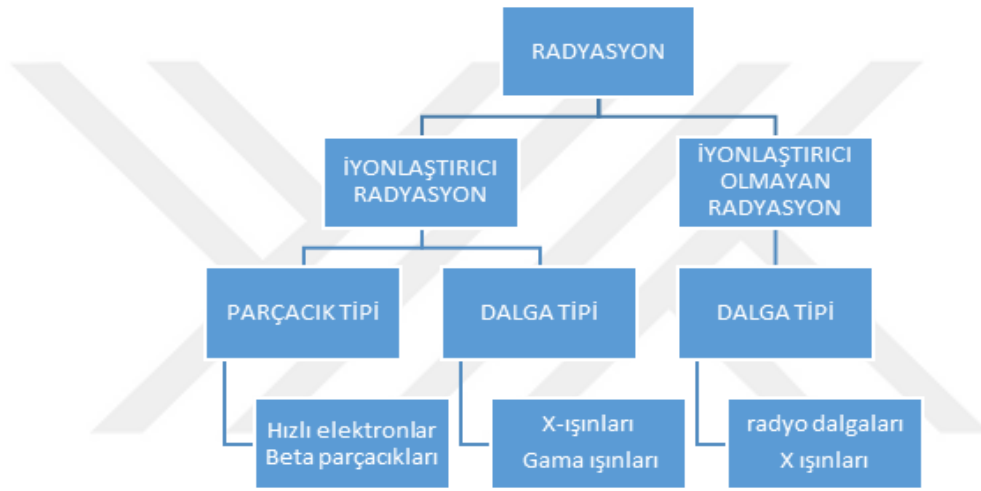
Radyasyonun temel tanımı, "ortamda ilerleyen enerji" olarak ifade edilebilir. Doğal veya yapay radyoaktif çekirdekler, kararlı bir yapıya geçebilmek için yaydıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalarla fazla enerjilerini radyasyon olarak adlandırır. Radyasyon, maddeye ve insana etki edebilen parçacıklar veya dalga şeklindeki enerji yayılımını ifade eder [13]. Radyasyon farklı tanımlamalarla sınıflandırılabilir [14].

- Radyasyon Türü: Parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon olmak üzere iki ana türü vardır. Parçacık radyasyonu, atom altı parçacıkların hareketinden kaynaklanırken, elektromanyetik radyasyon ise elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılır.
- Radyasyon Enerjisi: Radyasyon, düşük enerjili ve yüksek enerjili olarak sınıflandırılabilir. Enerjisi düşük olan radyasyon, daha az penetrasyona sahipken, yüksek enerjili radyasyon daha derinlere nüfuz edebilir.
- Radyasyon Kaynağı: Radyasyon, doğal ve yapay kaynaklardan kaynaklanabilir. Doğal radyasyon, çevremizde bulunan doğal kaynaklardan (örneğin, radyoaktif mineraller) yayılan radyasyonu ifade ederken, yapay radyasyon ise insan faaliyetleri sonucu oluşturulan radyasyon kaynaklarından kaynaklanır.

Bu parametrelerin incelenmesiyle, radyasyonun türü, enerjisi ve kaynağı hakkında bilgi elde edilebilir.

Radyasyon, maddedeki etkisine göre ikiye (iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan) ayrıldığı ifade edilebilir. İyonlaştıran radyasyon atom ve moleküllerden elektron, hatta atom

çekirdeğinden proton ve nötron koparabilme özelliğine sahiptir. İyonlaştırmayan radyasyonun ise atomik bağları kırarak yeterli enerjiye sahip olmadığı belirtilebilir [13], [15] İyonlaştırıcı radyasyonların 5'e ayrıldığı söylenebilir. Bunlar; gama ışınları, X ışınları, alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve nötronlardır. Önlem alınmadığında bu tür radyasyonlar canlılara zarar verebilme potansiyeline sahiptirler. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ise: kızılötesi ışık, radyant ısı, görünür ışık, morötesi ışık, mikro dalgaları, radyo dalgaları, ultrason ve ultraviyole gibi mekanik dalgalar olmak üzere 0 Hz'den 1,1 THz'e kadar frekanslara sahip elektromanyetik radyasyonu ifade etmektedir [16], [17] İyonize ve iyonize olmayan radyasyon çeşitleri Şekil 2.1'de verilmiştir [18].



Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri.

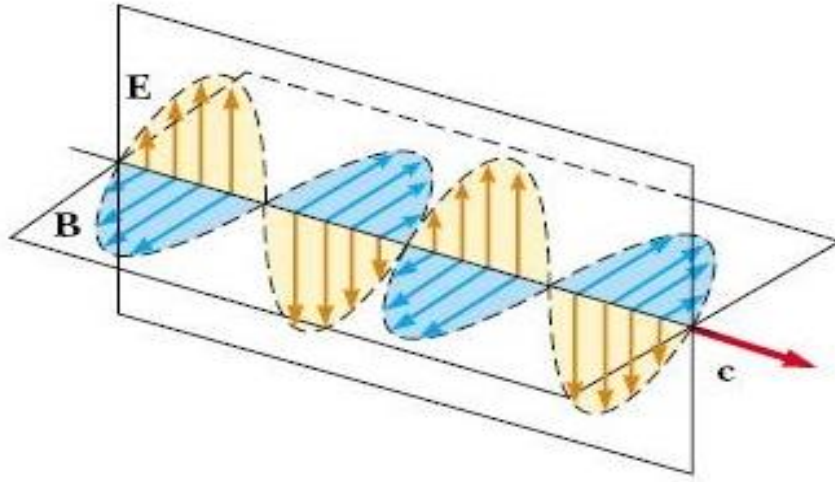
2.1.1. İyonize Olmayan Radyasyon (Non-Ionizing Radiation)

İyonize olmayan radyasyon, atomdan elektron salınımına neden olacak enerjiye sahip olmayan her türlü elektromanyetik dalgaya verilen genel isimdir. İyonize olmayan radyasyon için yapılan sınıflamalar, elektromanyetik dalgaların dalga boyları ve frekanslarına göre yapılabilir [19] İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (NIR); ultraviyole, görünür ışık, kızılötesi, radyo dalgaları ve ultrason gibi mekanik dalgalar dahil olmak üzere 0 Hz'den 1,1 THz'e kadar frekanslara sahip elektromanyetik radyasyonu ifade eder [20], [21]. Çizelge 2.1'de frekans aralığı ve kaynağı belirtilen radyasyon türleri detaylı bir şekilde verilmiştir [22].

Çizelge 2.1. Radyasyon türü, kaynağı ve frekans aralığı.

Aralık	Radyasyon Türü	Kaynak
0 Hz-300kHz	Düşük frekanstan aşırı düşük frekansa (LF-ELF) elektromanyetik radyasyon	Cihazların elektrik alanları, konvansiyonel elektrik şebekesi, video monitörleri, AM radyo bölümleri
300 kHz-300 MHz	Radyo frekansları (RF)	AM radyo, FM radyo, tıbbi kısa dalga, nükleer manyetik rezonans (NMR) bölümleri
300 MHz-300 GHz	Mikrodalga (MW)	Ev tipi mikrodalga cihazları, cep telefonları, tıbbi fizik tedavi için mikrodalga, radar ve diğer mikrodalga iletişimleri
300 GHz-430 THz	Kızılötesi (IR)	Güneş ışığı, ısı ve lazer terapi cihazları
430 GHz-750 THz	Görülebilir ışık	Güneş ışığı, fototerapi, lazer
800 THz-30 PHz (400 nm-100 nm)	Ultraviyole (UV)	Güneş ışığı, floresan tüpler, gıda/hava sterilizasyonu, radyoterapi vb.
<p>Hz: Hertz (kHz: kilohertz = 10^3 Hz; MHz: Megahertz = 10^6 Hz; GHz: Gigahertz = 10^9 Hz; PHz=10^{15})</p> <p>280-185 nm aralığındaki ultraviyole (UV) , iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak kabul edilir.</p>		

İyonize olmayan radyasyon, uzayda hareket edebilen makine veya alet gibi bir kaynak tarafından belirli bir dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar şeklinde üretilebilen bir enerji şeklidir [23]. Bu enerjinin oluşturduğu EMA ise elektrik yüklerin hareketinden meydana gelen, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanı olarak tanımlanabilir. Manyetik alanla elektrik alanının birleştirilmiş hali EMA olarak ifade edilebilir. Elektromanyetik dalga Şekil 2.2’de görülmektedir [24].



Şekil 2.2. Elektromanyetik dalga.

2.2. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA

Elektromanyetik kalkanlama; EMI engellenmesi, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirtilen kanserojene etkisi ihtimali olan elektromanyetiğin kötü etkilerinden insanları korumak için oldukça önemlidir. Ayrıca halsizlik belirtileri, uykusuzluk gibi sağlık tehlikelerine neden olan elektromanyetik dalgalar, maruz kalındığında sinirlilik ve baş ağrısına da neden olurlar. 5G teknolojisinin yaygınlaşmasıyla yüksek frekanslı dalgalara maruz kalacak olan canlılar için elektromanyetik kalkanlama büyük önem taşımaktadır [25]. Elektromanyetik kalkanlama; elektromanyetik dalga yayan kaynak ile korunması istenen alan arasına kalkan konulması olarak ifade edilebilir. Elektromanyetik radyasyon kaynaklarından muhtemel girişimlerin önlenmesi adına, korunması istenen cihazların manyetik kalkanlama özelliğini kazanmış yapı malzemeler ile inşa edilmesi ekstra bir önlem almadan elektromanyetik korunma sağlayabilir [26].

Elektromanyetik dalgaları koruma/soğurma özelliğine sahip materyaller geliştirmek, insanların bu tür radyasyona maruz kalma ihtimalini azaltmanın yanında elektronik cihazların korunmasını sağlamak için de zorunludur. Örneğin askeri radar ve iletişim, bazı ticari ve sivil kablosuz uydular için kullanılan X-bandı (8,2-12GHz) dahil olmak (300MHz–30GHz) dalga boylarına sahip mikrodalga (MW) frekansları, hareket sensörleri ve hız algılama cihazları buna örnek verilebilir [27]–[29].

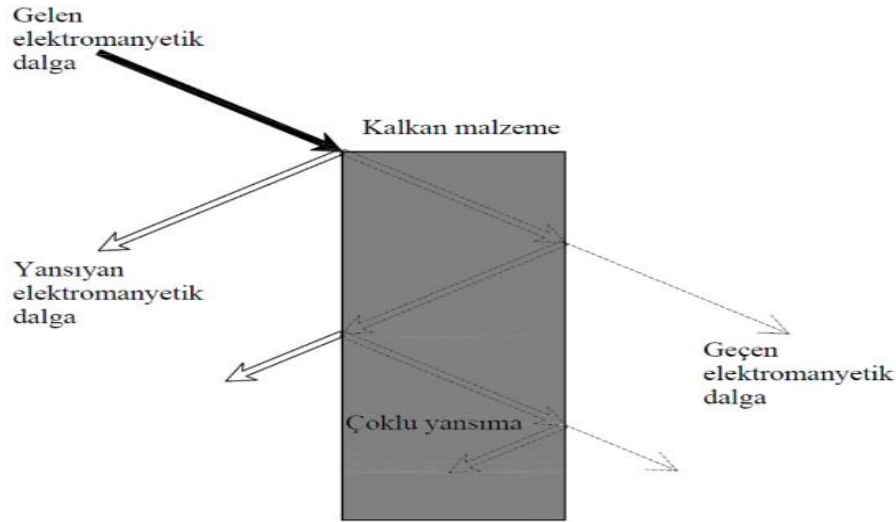
Elektromanyetik kalkanlama, yansıma, kırılma, çoklu iç yansımalar ve kırınım prensiplerine dayanır. Şekil 3'te elektromanyetik dalganın saçılım mekanizması görülmektedir. Elektromanyetik dalganın enerjisi, çoklu yansımalarla birlikte zayıflar ve bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Kırınım sürecine giren dalgalar ise her kırınım noktasında yol kaybına uğrar ve dolayısıyla zayıflar. İyi bir soğurucu materyal ise dalgayı sonsuz iç yansıma döngüsüne sokabilir, yani dalganın tekrar geri yansıtılarak içeride kalmasını sağlar.

Bu süreçte, elektromanyetik dalgaların saçılımı ve zayıflaması, elektromanyetik kalkanlama için önemli bir mekanizmadır. Yansıma, dalganın yüzeye çarptığında geri yansıması anlamına gelir. Kırılma ise dalganın bir ortamdan diğerine geçerken yolunu değiştirmesidir. İç yansımalar ise dalganın bir ortamda ilerlerken yüzeye çarptığında tamamen yansımasını ifade eder. Kırınım ise dalganın bir engelle karşılaştığında yayılma ve bükülme eğilimi göstermesidir.

Elektromanyetik kalkanlama amacıyla iyi bir soğurucu materyal kullanıldığında,

dalgaların iç yansımalar ve kırınım yoluyla zayıflaması sağlanır. Bu sayede dalgaların etkisi en aza indirgenerek istenmeyen elektromanyetik etkileşimlerin önüne geçilebilir.

[30].



Şekil 2.3. Elektromanyetik saçılım mekanizması.

2.2.1. Yapı Malzemelerinde Elektromanyetik Kalkanlama

EM dalga soğurucu malzemeler, farklı zayıflatma mekanizmalarına göre dielektrik kayıp, manyetik kayıp ve EM kayıp tiplerine ayrılabilir. Dielektrik kayıp tipi, EM dalga zayıflaması için temel olarak iletim ve gevşemeye dayanır. Manyetik kayıp tipi, manyetik rezonans ve manyetik girdap akımı gibi manyetik mekanizmalarla EM dalgalarını zayıflatabilir. EM kayıp tipi, EM dalgalarını zayıflatma amacına ulaşmak için dielektrik ve manyetik kayıpların etkisine dayanır [31]. Her yapı malzemesi, mekanik dayanım ve termal iletkenlik özelliklerine sahip olduğu gibi, kendi elektromanyetik özelliklerine de sahiptir. Dikkate alınması gereken elektromanyetik özellikler, geçirgenlik (veya dielektrik sabiti), elektrik iletkenliği ve manyetik geçirgenliktir. Bu yapısal özellikler, örneğin bir duvardan yansıma ve iletim kaybını belirlemek için gereklidir ve bunlar genelde frekansa bağlıdır [4].

Çimento, zengin kaynaklara ve iyi bir çevre uyumuna sahip olan ve mühendislik yapılarında kullanılan yaygın yapı malzemelerindendir. Çimento hafif iletken ancak elektromanyetik girişim (EMI) koruma etkinliği ve dalga emme özelliği çok düşüktür. İletken dolgular ve katkılar çimento malzemelerinin EMI önleme etkinliğini artırmak için basit ve pratik bir yöntemdir [32].

Son zamanlarda, çimento bazlı elektromanyetik dalga soğuran malzemelerin imalatına bazı yeni bileşenler dâhil edilmiştir. Elektromanyetik dalgaları yansıtma özelliğinden dolayı iletkenliği yüksek maddelerden yararlanılmaktadır. İletken materyaller inşaat sektöründe genellikle çimento ile karıştırılarak oluşturulan betonlarda kullanılmaktadır. Bu materyaller, özellikle hem gözenekli hem de yüksek iletkenliğe sahip olduğunda, gelen elektromanyetik dalgaların çoklu yansımalar yapmasını sağlayarak dalganın saçılıma uğramasına ve gözenekler içinde soğurulmasına neden olurlar [33].

Metaller mükemmel elektrik iletkenleridir ve elektromanyetik dalgayı emebilir, yansıtabilir ve iletibilmektedirler. Kauçuklar ve plastikler iletken değildir ve EMI'ye karşı şeffaftır. Metallerin hem elektriği hem de ısıyı iletibilmeleri, birçok uygulamada kullanılmalarının başlıca nedenidir. Statik yüklerin yoğun olarak olduğu elektrik ekipmanları, ısının olduğu yüksek hızlı makineler genellikle metal iletkenler ile topraklanarak korunur, böylece statik yükler ve ısı dağıtılır. Benzer şekilde, yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun ekipmandan kaçması engellenir veya ekipman, metal kalkanlar ve kapaklar ile başıboş radyasyondan korunmuş olur [25], [34].

2.3. YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN HARÇLAR VE ÖZELLİKLERİ

Harç, bir bağlayıcının (çimento, alçı, kireç) kum ve su ile harmanlanması sonucu oluşan karışımdır. Harçların özellikleri ve karakteristiği esas olarak malzemenin doğasına bağlıdır [35]. Diğer bir deyişle agrega, bağlayıcı malzeme ve karışım suyunun belli miktarlarda karıştırılmasıyla üretilen ve yapıda tuğla, taş, bims, gaz beton gibi parçaları birbirine bağlamak üzere kullanılan, priz alma özelliğine sahip yapı hamurlarına “harç” denir. Harçların karakteristik özellikleri ve adlandırılması çoğunlukla yapımında kullanılan bağlayıcı malzemenin özelliğine göre farklılık gösterir. Örneğin kireç harcı, çimento harcı, alçı harcı buna örnek gösterilebilir [36].

2.3.1. Harçlarda Aranılan Özellikler

Yapı harcında olması istenen özellikleri basınç dayanımı, doluluk, aderans, rötreye karşı dirençli olması, geçirimsizlik, aşınmaya ve dış etkilere karşı dirençli olması şeklinde sıralayabiliriz. Kullanım yerine göre bu özelliklerden bazıları diğerlerine nazaran daha fazla ön plana çıkmaktadır. Bu özelliklerin elde edilebilmesi ise karışım suyunun niteliği ve miktarının seçimi, bağlayıcı cinsi ve miktarı, kum cinsinin seçimi ve granülometre

özellikleri, işçilik şartlarının (karma, nakletme, yerleştirme, kür) uygulanması gibi özelliklere bağlıdır[37].

2.3.2. Yapı Harçlarının Tarihsel Süreci

Harç ve beton gibi karışımların kullanıldığı ilk yapılara yüz yıllar önce inşaa edildiği söylenen Göbeklitepe'deki ibadet yerlerinin inşasında rastlanmıştır. Mısır piramitlerinde ve Çin Seddi'nin inşasında ise alçı esaslı ve kireç esaslı harçların kullanıldığı söylenmektedir. Romalılar İtalya'da buldukları volkanik külü ve kireci bir araya getirerek yapmış oldukları karışıma "puzzolan" adını vermişler [38]. Romalılar öğütülmüş pişmiş toprak ve kireci birbirine karıştırarak havada ve suda bağlayıcı olma özelliği olan yeni bir bağlayıcı keşfetmişlerdir. Şimdilerde "Cocciopesto" adıyla anılan bu harç karışımı, Roma imparatorluğunun her yerinde bu hidrolik harcı üretmeye imkân tanımıştır. Üretilen bu harçla Romalılar yeni bir yapım tarzı ortaya koymuşlar. Kireç katılarak üretilen harçlar; Roma, eski Yunan ve ondan sonra gelen çağlardan çimentonun keşfedilmesine kadar geçen zamanda yapıların inşa edilmesinde yararlanılmıştır [36].

Romalılar, horasan harcını; sönmüş kireci öğütülmüş tuğla ile karıştırarak su yolları yapımında kullanmışlar [39]. Horasan kelimesi: ufalanmış, öğütülmüş tuğla ve kiremit gibi pişmiş kil olarak da ifade edilebilir. Horasan harcı ise su, kireç, çeşitli lifler, tuğla kırığı ve katkıları kullanılarak hazırlanan, bağlayıcı ve taşıyıcı özellik gösteren, harç yada sıva şeklinde kullanılan yapı malzemesidir. Horasan sözcüğünün İran'ın Horasan bölgesinden geldiği söylenmektedir. Horasan harcı Bizans, Roma, Osmanlı ve Selçuklu dönemlerinde de kullanılmıştır [40]. Horasan harcı hidrolik özellikleri ve yüksek dayanım göstermesinden dolayı su kemeri, sarnıç ve hamam gibi yapılarının inşasında kullanılmıştır [41].

2.3.3. Harç Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler

- Harcın kullanım yerine göre bağlayıcı cinsine karar verilmelidir.
- Çimento, kireç, alçı vb. bağlayıcı malzeme miktarı doğru ayarlanmalıdır. Bağlayıcı malzeme az olursa harcın dayanımı azaltacak, miktar fazla olduğunda ise ekonomik olamayacak ve işlenebilirliği zorlaşacak ve yüzeyde çatlaklar meydana getirecektir,
- Karışım suyu işlenebilirlik ilkesi gözetilerek ayarlanmalıdır,
- Harcın kıvamı işlenebilmeye olanak tanımalı ve kopmaların olmaması için plastik

formunu korumaya devam etmelidir,

- Harç plastik haldeyken ve priz aldığı anda kullanıldığı yüzeyde yeterli adezyonu sağlamalıdır,
- Harcın sertliği yapılan işe göre istenen dayanımı sağlamalıdır,
- Harcın kullanımı amacına göre nem oranı optimum düzeyde tutulmalıdır.
- Harç kuruma büzülmesine ve nem sirkülasyonuna izin verecek özellikte olmalıdır,
- Dolgu maddesi olarak kullanılacak agreganın, temiz ve dayanıklı olması gereklidir. Ayrıca agreganın türü ve üretildiği yerin belli olması gereklidir.
- Harç karışımında kullanılacak suyun temiz olması gereklidir. Örneğin; şeker, yağ, tuz, asit ve benzeri maddeler içermemelidir. Su/bağlayıcı oranı doğru ayarlanmalıdır [36].

2.3.4. Harç Çeşitleri

Harçların yapılarıdaki kullanım yerine ve içerdiği bağlayıcı türüne göre iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

2.3.4.1. Yapıdaki Kullanımına Göre Harçlar

- Sıva harcı,
- Kaplamalarda kullanılan harçlar (zeminler, kaldırımlar, diğer mimari elemanlar, duvarlar, vb),
- Dekorasyon uygulama harcı (rölyefler, vb.),
- Duvar harcı [42].

2.3.4.2. Bağlayıcının Cinsine Göre Harçlar

a) Kireç Harçları:

Kum, kireç ve suyun birlikte kullanıldığı harçlardır. Kireç harçları, yapıda oluşabilecek farklı oturmalara veya ısı ve nem değişiminden ortaya çıkan hareketlere karşı kolaylıkla uyum göstermektedir [43]. Bağlayıcı kirecin içeriğine ve eklenen katkıya göre üç sınıfa ayırmak mümkündür: Birinci grup, Non-hidrolik (hava kireci veya kaymak kireç) kireç harcı: Sertleşmesi için sürekli havayla temas halinde olması gereken hava kireci aynı zamanda suya karşı dayanıksızdır. İkincisi ise Hidrolik (su kireci) kireç harcı: Hidrolik kireç eklenerek üretilen harçlar, kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesiyle ve bünyesinde

bulundurduğu kalsiyum alüminat silikatların su ile girdiği reaksiyon sonucunda, kalsiyum alüminat hidratları ve kalsiyum silikat hidratların meydana gelmesiyle sertleşir. Hidrolik harçların dayanımı, kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan bu ürünlerden dolayı hava kireci harcı veya kaymak kireci harcından daha yüksektir. Son olarak puzzolanik kireç harcı: hava kireci harçlarının olumsuzlukları bertaraf etmek üzere kirece farklı puzzolanik ürünler eklenmiştir. Bu yolla üretilen ve hidrolik özellik gösteren bağlayıcılar havaya ihtiyaç duymadan priz alabildikleri için, deniz suyuna ve suya karşı dayanıklı oldukları için, nem oranı yüksek yerler ile suyla direk temasta olan alanlarda tercih edilmektedir. Suyun altında inşa edilen yapıların üretiminde kolaylık sağlamasından dolayı Roma betonu, taş ve tuğla duvarlarda da tercih edilmiş, böylelikle geniş, dayanımı yüksek ve suya dayanıklı duvarlar inşa edilebilmiştir [44].

b) Çimento Harçları:

Kum, çimento ve suyun karıştırılmasıyla elde edilen harçtır. Bu harçlarda bulunan su ve çimento miktarları, yapılacak işin önem durumuna ve yerine göre farklılık göstermektedir. Fazla su kullanımı harcın dayanıklılığını azaltırken, suyun az kullanımı ise prizden beklenilenden hızlı olmasına ve işlenebilirliğin düşmesine neden olabilir. Çimento harcı: örgü ve sıva harçları, şap ve mozaik harçları gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır.

c) Alçı harçları:

Alçıtaşından alçı elde etmek için gerekli sıcaklık çok yüksek değerlerde olmayıp 19°C olmasından dolayı alçı harcı da eski dönemlerde yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Su ve alçının karıştırılmasıyla oluşan alçı harcının en belirgin dezavantajı su ve rutubete karşı dayanıksız olmasıdır.

d) Killi bağlayıcılardan oluşan harçlar:

Killi bağlayıcılar, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan harç türlerindedir. Bu harçlar, temel olarak kil minerali ve diğer katkı maddelerinin birleşiminden oluşurlar. Kil, doğal bir malzeme olarak bulunabilirken aynı zamanda yapay olarak da üretilir.

Killi bağlayıcılar, harçların dayanıklılığını artırmak ve su geçirimsizliğini sağlamak için kullanılır. Kil minerali, su ile karışığında plastik bir kıvama dönüşebilir, bu da harcın kolayca şekillendirilmesini ve yapının diğer bileşenlerine bağlanmasını sağlar.

Bu tür harçlar, tuğla, taş veya blokların birleştirilmesi için kullanılır. Kil, mükemmel bir

yapıştırıcı özelliğine sahip olduğu için bu harçlar yapıların dayanıklılığını artırırken aynı zamanda düşük maliyetli bir çözüm sunar.

e) Birden fazla bağlayıcı içeren harçlar:

Birden fazla bağlayıcıdan oluşan (melez) harçlar, inşaat sektöründe kullanılan özel bir harç türüdür. Bu harçlar, farklı bağlayıcı malzemelerin kombinasyonu ile elde edilir. Genellikle çimento, kireç ve polimerik bağlayıcılar gibi farklı bileşenlerin karıştırılmasıyla oluşturulurlar.

Melez harçlar, farklı bağlayıcı malzemelerin avantajlarını bir araya getirerek özelliklerini iyileştirir. Örneğin, çimento harcının yüksek mukavemet özelliği ve polimerik bağlayıcının esneklik ve yapışma özelliği birleştirilerek daha dayanıklı ve esnek bir harç elde edilebilir.

Bu tür harçlar, çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılır. Özellikle, yüksek gerilmelerin olduğu bölgelerde, titreme ve termal streslere dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilirler.

2.4. CÜRUF

Cüruf, bünyesinde metal bulunduran cevherlerin veya metallerin eritilmesi sonucu oluşan ve metale nazaran hafif oksitler ve silikatlar içeren atıklardır. Yoğunluk farkından dolayı cüruflar eritilen maddenin üzerinde birikerek ayrışırlar [45]. Doğal kaynak tüketiminin hız kazanması, yenilenemeyen kaynakların tükeniyor olması ve tüm bu tüketimlerin sonucunda oluşan atık yığınlarının meydana getirdiği çevre sorunlarından dolayı son zamanlarda, atıkların bertarafı, yeniden değerlendirilerek sisteme kazandırılması ve böylelikle kaynakların daha verimli değerlendirilmesine yönelik çalışmalar gün geçtikçe daha önemli hale gelmeye başlamıştır. Dünya genelinde farklı boyutlarda sınıflandırılmış cüruflar; karayollarında asfalt kaplaması olarak (yüzey, dolgu ve temel malzemesi), tarım toprağını iyileştirmede, çimento klinkeri için hammadde olarak, beton üretiminde agrega olarak ve başka amaçlarla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [46]. Bu durum geri dönüşüm açısından oldukça önemli olup yoğun çimento talebinin endüstriyel atık aracılığı ile azaltılması sağlanmış olur. Ayrıca dünyadaki CO₂ salınımını azaltarak cüruf, uçucu kül gibi endüstrinin atığı ya da yan ürünü olarak görülen malzemelerin geri dönüşümünü sağlayarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır [47].

Doğal kaynakların hızla tükendiği, çevreye zarar veren atıkların giderek arttığı göz

önünde bulundurulduğunda inşaat sektöründe bu atıkların değerlendirilmesi oldukça faydalıdır. Çeşitli cüruflar kullanılarak tasarlanan kompozitler, yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir.

2.4.1. Bakır Cürufu

Bakır cürufu, bakır üretimi esnasında ortaya çıkan yan ürünlerden biridir. Yüksek sıcaklıklarda eritilen bakır cevheri işlenirken elde edilen atık malzemedir. Cüruf, genellikle granül veya toz formunda bulunur ve çeşitli inşaat uygulamalarında kullanılır. Özellikle beton ve asfalt karışımlarında kullanıldığında, mukavemet artışı, aşınma direnci ve daha iyi sıcaklık kontrolü gibi avantajlar sağlar.

Metalik saf bakır, endüstriyel olarak pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemlerle üretilir. Üretilen bakırın yaklaşık %80'i pirometalurjik yöntemle elde edilirken, %20'si hidrometalurjik yöntemle elde edilir. Her yıl dünya çapında yaklaşık elli milyon ton cüruf üretilmektedir. Bu cüruf genellikle üretim tesislerinin yakınında ve önlemler alınmadan açık alanlarda biriktirilir. Cüruf içerisinde bulunan Cu, Ni, Co ve Zn gibi metaller, atmosfer koşullarıyla etkileşime girerek yer kürenin kirlenmesine neden olabilir. Bu nedenle cüruf, tehlikeli kimyasallar kategorisine dahil edilir. Ancak, cüruf, metallerin geri kazanılacağı ikincil kaynaklar olarak önemli bir potansiyele sahiptir.

Bakır cürufu, fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı inşaat sektörü, yol yapımı, çimento katkı malzemesi, aşındırıcı alet yapımı gibi çeşitli alanlarda değerlendirilebilir. Bu şekilde, geri dönüştürülerek atık miktarı azaltılabilir ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı teşvik edilebilir [48]–[50].

Bakır cürufunun yönetimi için geri dönüşüm, metalin geri kazanılması, katma değerli ürünlerin üretimi ve cüruf çöplüklerinde veya stoklarında bertaraf etme gibi yollar yer almaktadır. Günümüzde bakır cürufu aşındırıcı aletler, çatı kaplama granülleri, kesici aletler, aşındırıcı, fayans, cam, yol, temel inşaatı, demiryolu balast, asfalt kaplamalar, çimento ve beton endüstrileri için yaygın olarak kullanılmaktadır [51].

2.4.1.1. Bakır Cürufunun Avantajları

Atık bakır cürufu genelde aşındırıcı alet imalatında ve kumlama endüstrilerinde tercih edilse de geri dönüştürülme veya geri kazanım oranı oldukça düşüktür. Bundan dolayı yüksek miktarda açığa çıkan atık bakır cürufu betonda ince ve iri agrega olarak değerlendirilebilir. Atık bakır cürufu yüksek dayanıma, daha iyi işlenebilirliğe ve

sürdürülebilirliğe sahip beton tasarımına olanak tanır. Harç ve betonda iri ve ince agrega şeklinde bakır cürufunun kısmen ikame edilmesi son dönemlerde üzerinde çalışılan konular arasındadır. Araştırmalarda, bakır cürufunun çevre kirliliğine neden olduğu bununla birlikte yapı malzemelerine etkili bir ikame malzemesi olabileceği söylenebilir. İlerleyen zamanlarda daha dayanıklı yapı üretiminde kullanılabileceği öngörülmektedir. Bakır cürufu ikamesi, betondaki basınç dayanımını, işlenebilirliği, dayanıklılığı, çekme ve eğilme dayanımını da artırabilir [52].

2.4.1.2. Bakır Cürufunun Özellikleri

Spesifik bir cürufun bileşimi; fırının tipine, onu üreten metalurjik prosese ve çıkarılan cevherin bileşimine bağlıdır. Genel olarak bakır cürufunun ana oksitlerinin yüzdeleri Çizelge 2.2’de belirtildiği aralıklarda bulunmaktadır [45], [51]. Bununla birlikte Çizelge 2.3’te bakır cürufunun fiziksel özellikleri yer almaktadır [52]

Çizelge 2.2. Bakır cürufunun ana oksitleri.

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CuO	MgO
%30-60	%25-40	%2-10	%3-15	%0,3-2	%0,7-3,5

Çizelge 2.3. Bakır cürufunun fiziksel özellikleri.

Görünüm	Siyah, camsı
Parçacık şekli	Düzensiz
Yoğunluk (g/cm ³)	3,16–3,87
Su emme (%)	0,15–0,55
Sertlik (Mohs)	6–7
Suda çözünür klorür (ppm)	<50
Sağlamlık (%)	0,8–0,9
Aşınma kaybı (%)	24,1
İletkenlik (µs/cm)	500

2.5. KARBON LİFLER

Karbon fiberler, yüksek performanslı kompozitler için önemli takviye malzemeleridir, çünkü yapısal bileşenlerin ağırlığını azaltmak ve karbon ayak izini düşürmek için etkili bir çözüm sunarlar. Ancak, karbon fiberlerin nispeten yüksek maliyeti, uygulama alanlarını kısıtlamaktadır [53]. Havacılık, atletizm, otomotiv, inşaat, savunma, denizcilik ve rüzgâr enerjisi gibi sektörlerde karbon fiber yaygın olarak kullanılmaktadır [54].

Karbon fiber üretimi genellikle stabilizasyon, karbonizasyon ve isteğe bağlı olarak grafitizasyon aşamalarını içeren iki temel aşamadan oluşur. Poliakrilonitril (PAN) homopolimeri, %68 oranında karbon içeren bir malzemedir. Moleküller arasında polar nitril gruplarının güçlü etkileşimleri, PAN'ın erime noktasını yüksek tutmasına yardımcı olur. Yüksek dayanımlı karbon liflerinin üretiminde PAN lifleri en önemli hammaddelerden biridir. Bununla birlikte, PAN işleme maliyetli olmasına rağmen, liflere yüksek dayanım özellikleri kazandırır. PAN esaslı karbon lifler, hafif yapılarıyla kompozit malzemelerden yapılmış araçların toplam ağırlığını %50 azaltırken, %25 yakıt tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. Zift (PITCH) esaslı lifler ise petrol, kömür gibi doğal kaynaklardan veya sentetik polimerin pirolizi ile elde edilir. Bu liflerin yapısında 600-1000 g/mol molekül ağırlığına sahip aromatik gruplar bulunur. Düşük maliyetli olan zift, kompozit takviye malzemesi ve ısı dayanımı özellikleri bakımından oldukça iyidir. Zift, 1973 yılında anizotropik sıvı kristale (mezofaz) dönüştürülerek karbon lif üretimi için kullanılmıştır. Bu liflerin çekme mukavemeti 690 GPa'dır [55]. Rayon esaslı lif ise bitkisel hammaddelerden üretilen karbon lif çeşididir. Rayon esaslı lifler, germe dayanımının iyi olmamasından kaynaklı gün geçtikçe yerini PAN esaslı liflere bırakmaktadır [56].

2.5.1. Karbon Liflerin Mekanik Özellikleri

Karbon liflerinin elastik özelliklere sahip olması, normal sıcaklıklarda yüksek sürtünme direnci ve dayanıklılık sağlar. Ayrıca, karbon liflerinin termofiziksel özellikleri ve mükemmel sönümlenme karakteristikleri bulunur. Ancak, sınırlı uzama özellikleri darbe sorunlarına yol açabilir ve elektrik iletkenliği kullanım alanlarını sınırlayabilir. Bununla birlikte, karbon liflerinin kırılma enerjisi ve düşük genleşme katsayısı dezavantajları arasında yer alır. PAN bazlı ve zift bazlı karbon liflerinin mekanik özellikleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur [53], [55], [57], [58].

Çizelge 2.4. Karbon liflerin mühendislik özellikleri.

Özellik	Pan bazlı	Zift bazlı
Basınç Dayanımı (GPa)	3-7	1
Çekme Dayanımı (GPa)	200-350	960
Elastisite Modülü(N/mm ²)	220000	-
Elektrik İletkenliği (S/m)	10 ⁵	10 ⁶
Termal İletkenliği (W/mK)	21-125	10 ³

2.5.2. Karbon Liflerin Avantajları ve Dezavantajları

Karbon liflerin kullanım avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Çok çeşitli özelliklere sahip birçok şekil ve boyutta elde edilebilir,
- Elastisite modülü yüksektir,
- Yüksek çekme dayanımı,
- Düşük yoğunluğa sahiptir,
- Oksijen (O₂) olmaması durumunda iyi termal stabilite sağlar,
- Yüksek termal iletkenlik ve bu da yorulmaya iyi özellikler kazandırır,
- Düşük termal genişleme katsayısı,
- Yüksek aşınma direnci,
- İyi kimyasal dayanım,
- Düşük elektriksel direnç göstermektedir.

Karbon lifinin dezavantajları ise;

- Maliyeti nispeten yüksektir,
- Kırılmaya yol açan düşük gerilmeler oluşabilir,
- Basınç dayanımı çekme dayanımından düşüktür ve daha büyük çaplı liflere gelişmiş basınç özellikleri verilemez,

- Düşük darbe dayanımı bulunmaktadır,
- Elektriksel olarak iletken olduğundan, elektrik sistemlerine zarar görebilir,
- 450°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda oksitlenir,
- Anizotropik; eksenel ve çapraz yönlerde farklı özelliklere sahiptir [59]. Karbon lifin avantajları ve dezavantajları bu şekilde sıralanabilir.

2.6. LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.6.1. Bakır Cürufu İle Yapılan Çalışmalar

Al-Jabri vd. yaptıkları çalışmalarında %0 ile %100 aralığında bakır cürufunun ince agrega olarak kullanılmasının harç ve beton özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Cüruf ikameli numuneler üzerinde basınç dayanımını, çekme dayanımını ve eğilme dayanımını deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak kontrol karışımına kıyasla %50 bakır cürufu ikameli harçların basınç dayanımında %70'den fazla dayanım artışını tespit etmişlerdir. Ayrıca bakır cürufu içeriği %50 ikame oranına kadar arttığında yüzey suyu emiliminin azaldığı ve böylece işlenebilirliğin arttığı, beton yoğunluğunun yaklaşık %5 arttığı ve %40-50 aralığındaki bakır cürufunun beton karışımlarında potansiyel olarak kumun yerini alabileceği ifade edilmiştir [44].

Yüksek dayanımlı betonlarda ince agrega olarak bakır cürufunun kullanıldığı bir çalışmada, betonların farklı mekanik davranışları incelenmiştir. Kum ikamesi olarak %40'tan daha az bakır cürufunun, kontrol karışımıyla karşılaştırılabilir veya daha iyi bir yüksek dayanımlı beton elde edebileceğini, ayrıca %40'tan daha az bakır cürufu ikameli betonun dayanımının, kontrol numunesinden daha yüksek veya ona eşit olduğunu ve hatta işlenebilirliğin çarpıcı bir şekilde arttığını belirlemişlerdir [61].

Çimento esaslı kompozitlerde bakır atıklar ile bazalt lifinin beraber kullanıldığı bir diğer çalışmada ise üç farklı su/bağlayıcı (s/b) oranı ile numuneler üretilmiştir. Agrega yerine bakır cürufu %25 ve %50 oranlarında ikame edilmiş ve basınç ve eğilme dayanımları tayin etmek için 40×40×160 mm boyutlu numuneler kullanılmıştır. Sonuç olarak bakır cürufu ve agregasının mekanik özelliklere çok olumlu etkisi belirlenmezken dayanıklılık açısından bakır cürufunun daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bakır agregasının beton içinde %25'e kadar kullanabileceğini belirlemişlerdir [52].

Wang vd. bakır cürufunun kullanıldığı 90'dan fazla makalenin incelendiği ayrıntılı bir

literatür taraması yapmışlardır. Sonuçta genel olarak, numunenin basınç, çekme ve eğilme dayanımları aşırı öğütme (parçacık boyutu < 5 mm'dir) ile azalırken, yetersiz öğütme (parçacık boyutu 12 mm'den büyük) bakır cürufunun en iyi performansını tam olarak vermesini engelleyeceğini, optimum bakır cürufu ikame oranının ise %40 olduğunu tespit etmişlerdir. Parçacık boyutu, ikame modu ve ikame oranının özenle analiz edilmesi gerektiğini ve genellikle ince agrega olarak ikame edilmesini önermişlerdir. Betonun iyi performansını sağlamak için tane boyutu aralığı ve ince agrega değiştirme oranının sırasıyla 5mm ile 10 mm ve $< %40$ arasında olması gerektiğini, ayrıca yardımcı çimento esaslı malzemeler kullanılıyorsa, değiştirme oranının uygun şekilde arttırılabileceğini, ancak %50'yi geçmemesi gerektiğini belirlemişlerdir [62].

Gupta vd. çalışmalarında çimento ikamesi olarak %20 uçucu kül ve kum ikamesi olarak %0 ila %60 arasında değişen bakır cürufu içeren numuneler hazırlanmıştır. Üretilen beton numunelere bakır cürufunun dahil edilmesi, işlenebilirlik ve mukavemet özelliklerini iyileştirdiğini ve %30'dan fazla bakır cürufu içeren kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında mukavemette önemsiz bir azalma gözlemlenmiştir. %50 ve %60 bakır cürufu içeren kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında boşlukların, gözeneklerin ve mikro çatlakların varlığının fark edildiği belirtilmiştir [63].

Diğer bir çalışmada bakır cürufu, çimento ve betonda hem demir ayarlayıcı hem de mineralleştirici bileşen olarak kullanılmıştır. Çimento ikamesi veya agrega ikamesi olarak kullanıldığında, farklı formlarda bakır cürufu içeren çimento, harç ve betonun normal ve hatta daha yüksek mukavemete sahip sıradan Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında iyi bir performans sergilediği belirtilmiştir [51].

Al-Jabri vd. 0,5, 0,6 ve 0,7'lik s/b oranlarında bakır cürufu ve çimento bypass tozu içeren üç farklı numune üretmişlerdir. Birinci karışım %100 çimento, ikinci karışım çimentoya ikame edilmiş %5 bakır cürufu, üçüncü ise çimentoya ikame edilmiş %13,5 bakır cürufu ve %1,5 çimento bypass tozu içermektedir. Basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme davranışı açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, portland çimentosu yerine %5 bakır cürufu kullanımının, özellikle 0,5 ve 0,6 gibi düşük su/bağlayıcı oranlarında, kontrol karışımına benzer bir performans sağlayacağı bildirilmiştir. Çimento için daha yüksek bakır cürufu (%13.5) ikamesi beton dayanımı üzerinde olumsuz etkilere neden olurken elastisite modülüne ve gerilme-şekil değiştirme davranışına önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Bakır cürufunun, beton karışımlarından ziyade çimento harçlarında portland çimentosu için kısmi bir ikame

olarak daha faydalı bir kullanıma sahip olabileceğini ifade etmişlerdir [64].

Moura vd. bakır cürufu içeren betonlarda, basınç dayanımının 28 günlük kür sonucunda referans karışıma göre farklı s/b oranlarında kademeli olarak arttığını belirlemişlerdir [65]. Arino ve Mobasher ise çalışmalarında öğütülmüş bakır cürufunun çimento esaslı malzemelerin dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Portland çimentosu ikamesi olarak kütlece %15'e kadar bakır cürufu kullanmışlardır. Bakır cürufunun mekanik dayanımı arttırdığını ancak dayanım testinde daha gevrek kırılmalara neden olduğunu ifade etmişlerdir [66].

Nazer vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada, dere kumu yerine bakır cürufu kullanılarak hazırlanan harçların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bakır cürufu içeren harçlarda, basınç ve eğilme dayanımında 3, 7 ve 28 günlerde -bir artış gözlenmiştir. Kontrol harcıyla karşılaştırıldığında, cüruf katkılı harçlar ile büyük farklar 7 gün sonra belirgin hale gelmiştir ve cürufun sertleşme sürecini geciktirdiği gözlemlenmiştir. Ancak, 90. günde basınç ve eğilme dayanımı hem kontrol harcı hem de bakır cürufu içeren harçlar için çok benzerdir. Çalışmada, bakır cürufunun optimum oranının %5 olduğu belirtilmiştir [67]. Bakır cürufu kullanılarak yapılan çalışmaları kısaca: bakır cürufunun kullanım şekli, kullanım oranı ve hangi değerde en iyi sonucun elde edildiğini Çizelge 2.5' te görmekteyiz.

Çizelge 2.5. Bakır cürufu kullanılarak yapılan çalışmalar.

Çalışmayı Yapan	Kullanım Şekli / Diğer Katkılar	Kullanım Oranları (%)	Optimum Oran(%)
Al-Jabri vd.	İnce agrega	0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100	40-50
Wu vd.	İnce agrega	0-20-40-60-80-100	≤ 40
Ahmed Abu Aeshah	İnce agrega/bazalt lif	25-50	25
Wang vd.	90'dan fazla makale incelenmiş		40-50
Gupta vd.	İnce agrega/uçucu kül	0-10-20-30-40-50-60	≤ 30
Al-Jabri vd.	Çimento ikamesi	0-5-13,5	5
Arino ve Mobasher	Çimento ikamesi	0-5-10-15	15
Nazer vd.	İnce agrega	0-100	100

2.6.2. Karbon Fiber İle Yapılan Çalışmalar

Boğa ve arkadaşları (2017), tarafından yapılan çalışmada, çelikhane cürufu ve karbon lifinin ayrı ayrı ve birlikte kullanıldığı durumlarda harçların mekanik ve elektriksel iletkenlik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çimento ağırlığının %0, 0.3 ve 0.5'i oranlarında 5mm boylarında karbon lifleri kullanılmıştır. 40x40x160 mm boyutlarında üretilen harç numuneleri üzerinde birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elektriksel özdirenç ve elektriksel iletkenlik deneyleri yapılarak çelikhane cürufu ve karbon lifi katkılı harçların mekanik ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karbon lifi kullanımının elektriksel özdirenç değerlerini oldukça yüksek oranlarda düşürdüğü ifade edilmiştir [51].

Dündar ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, farklı lif çeşitlerinin kullanıldığı betonun fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Beton üretiminde su/çimento oranı 0.55 ve çimento miktarı 300 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Kırma kum ve kırma taş agregaları kullanılarak agrega elde edilmiştir, kum taneleri 0-4 mm boyutunda ve taşlar 4-16 mm boyutunda olmuştur. Bazalt ve karbon lifleri seçilerek beton içerisine hacimce %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında ilave edilmiştir. Beton numuneleri, basınç dayanımı ve arşimet tartımı için 100x100x100 mm, eğilme dayanımı için 100x100x350 mm, böhme (aşınma) deneyi için 71x71x71 mm boyutlarında üretilmiştir. Bu numuneler arşimet, ultrases, böhme (aşınma), eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, lif kullanımının eğilme dayanımında artışa neden olduğu, özellikle eğilme ve aşınma dayanımlarını artırdığı ve betonun basınç dayanımını artırdığı ancak eğilme kadar önemli bir dayanım artışına sebep olmadığı belirtilmiştir [52].

Song vd. (2016), yaptıkları çalışmalarında 10mm uzunluğundaki karbon fiberin karışımın hacimine oranı %0.1, %0.2 ve %0.3 iken su çimento oranı 0.46'dır. Basınç testi için 100 mm × 100 mm × 300 mm boyutunda numuneler, darbe testi için 150 mm × φ60 mm boyutlarında numuneler üretmişlerdir. Sonuçta iki lif çeşidinin betonun sıkıştırma tokluğunu önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Çelik fiber ve karbon fiberin hibridizasyonu, makro çatlak köprüleme ve mikro çatlak geciktirmede beton performansını artırabildiğini ve basınç tokluğu ile darbe tokluğu arasında logaritmik bir ilişki var olduğunu ifade etmişler[53].

Nikel kaplamalı ve nikel kaplamasız karbon lif kullanılarak yapılan bir çalışmada, çimento pastaları için karbon lif oranı toplam hacmin %0.5, %1.0 ve %1.5'inde katılarak

üretildi. Bu çalışmada, 5mm boyunda, lif çapı 7.0 μm ve elektrik direnci $1.6 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ olan karbon lif kullanıldı ve %2 süper akışkanlaştırıcı (çimento ağırlığının yüzdesi) eklendi. Nikel kaplı karbon lifler, kaplanmamış karbon liflere kıyasla daha düşük modül, daha düşük mukavemet, daha düşük süneklik, daha yüksek yoğunluk ve daha düşük direnç gösterdiği belirlendi. Elde edilen karbon lifli karışımlar, yağlanmış ve mekanik testler için 4 cm x 4 cm x 16 cm boyutlarında prizmatik kalıplara ve EM testleri için 15 cm x 15 cm x 2 cm - 16 cm x 16 cm x 2 cm boyutlarında tabakalara döküldü. Sonuç olarak, karbon lif içeren çimento pastalarının yüksek kalkanlama etkinliği değerlerine sahip olduğu, nikel kaplamalı karbon liflerin çimento esaslı kompozitlerde kullanılmasıyla bu özelliğin daha da arttığı belirtildi. Bu liflerin çimento esaslı kompozitlerde kullanılması, hassas cihazları etkileyen EM dalgalarından korunmak için uygun olabilir [71]

Demirel ve arkadaşlarının (2007) adlı çalışmasında, 5 mm boyunda, $1,6 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$ elektrik direncine sahip ve çimento ağırlığının %0,5'ine denk gelen oranda karbon fiber kullanılmıştır. Fiberin daha iyi karışması için "Culminal 9115 modifiye metilselüloz (Hercules, Inc, USA)" metilselüloz ve köpüklenmeyi önlemek için ise "Rhoximat DF 770 DD (Rhodia, Inc, USA)" köpük önleyici kullanılmıştır. Bu karbon fiber, silis dumanı, çimento ve agrega kullanılarak numuneler hazırlanmış ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, karbon fiber ilavesinin hafif betona her kür yaşında basınç dayanımını azalttığını göstermiştir, mineral katkı kullanılsın ya da kullanılsın. Bu azaltıcı etkinin, fiberin harç içerisindeki hava boşluğu miktarını arttırmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, karbon fiberin hafif betonda eğilme çekme dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Karbon fiberin harç içerisinde oluşturduğu hava boşlukları nedeniyle fiberli serilerin USG (ultrases hızı) değerlerinin basınç dayanımına paralel olarak düştüğü ifade edilmiştir [72]

Topsakal ve Özel (2018) tarafından yapılan çalışmada, lif kullanım oranının etkisini belirlemek amacıyla %0, %3, %6, %9 ve %12 hacim oranlarında lif, reçineli karışımlara sırasıyla ikame edilmiştir. Betonun eğilme dayanımı analizleri karbon lifli serilerde %9 lif oranına kadar bir artış göstermiştir, ancak bu lif oranından sonra azalma gözlenmiştir. Karbon lif içeren seride, lif oranına bağlı olarak basınç mukavemeti değerlerinde artış elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, polimer betonda lif kullanımının eğilme ve basınç mukavemetlerini artırabileceği sonucuna varılmıştır [73]

Karbon lif takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapilariteye etkisinin araştırıldığı başka

bir çalışmada: 4 mm ve 8 mm karbon lifinin betonun basınç dayanımı ve kapilaritesi üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Çalışma sonunda: fiber boyunun arttırılmasının, basınç dayanımında düşme meydana getirdiği görülmüş. Fiber boyu fazla olan numunelerde kapilaritedeki artış daha fazla olurken, dozajı yüksek olan serilerde kapilaritedeki artış oranının çok daha az olduğu ifade edilmiştir [74]

Çalışmayı Yapan	Kullanılan malzemeler	Kullanım Oranları (%)	Elde Edilen Sonuçlar
Boğa vd.	Karbon lif, çelikane cürufu	0-0,3-0,5	Elektriksel özdirenci düşürmüştür
Dündar vd.	Bazalt lif, karbon lif	0,5-1-1,5-2	Eğilme ve basınç değerleri artmış
Song vd.	Çelik lif, karbon lif	0,1-0,2-0,3	Makro çatlak köprülemede, mikro çatlak geciktirmede etkili olmuş
Öztürk	Nikel kaplamalı lif, nikel kaplamasız karbon lif	0,5-1-1,5	Kalkanlama sağlamada etkili
Demirel vd.	Karbon lif	0,5	Hava boşlunda artış Eğilme dayanımı artmış, basınç dayanımı azalmış.
Topsakal ve Özel	Karbon lif	0-3-6-9-12	Eğilme ve basınç dayanımlarında artış gözlenmiş
Demirel ve Gönen	Karbon lif	0,5	Lif boyu artınca basınç dayanımında düşüş, kapilerite de artış olmuş

2.6.3. Elektromanyetik Kalkanlama İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Lee vd. (2021), yapmış oldukları çalışmada; 15 mm uzunluğunda polipropilen lif, 30 mm uzunluğunda amorf metalik lif ve 30 mm uzunluğunda çengel uçlu çelik lif katılmış harç karışımı hazırlamışlar. Üretilen numunelerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik perdeleme(zırhlama) etkinliğini değerlendirmişler. Polipropilen elyaf hacimce %0.15, kanca uçlu çelik lifler hacimce %0,3 ve 0,5 ve şekilsiz metalik lifler hacimce %0,1, 0,3 ve 0,5 oranında ilave edilmiş; eğilme dayanımı ve elektrik iletkenliği tayini için 100 x 100 x 400 mm boyutların numuneler, basınç dayanımı tayini için 100 mm çapında 200 mm yüksekliğinde silindir numuneler üretilmiştir. Metal fiberlerin eklenmesi, elektrik iletkenliğindeki iyileşme

sayesinde elektromanyetik perdeleme etkinliğini (frekans aralığı: 850–1000 Hz) iyileştirdiği ve elektriksel iletkenlik arttıkça elektromanyetik perdeleme etkinliğinin açıkça iyileştiği belirtilmiştir [75].

Wang vd. (2016), yapılmış oldukları çalışmada: doğal kumun hacmine oranla %10, %30, %50 ve %70 oranında bakır cürufu eklemişler. 25 mm x 12 mm x 3 mm (EM parametre testleri), 180 mm x 180 mm x 10 mm (yansıtma testi) ve 160 mm x 40 mm x 40 mm (basınç dayanımı testi) boyutlarında numuneler hazırlamışlar. Çalışmada doğal kumun hacmine oranla %10, %30, %50 ve %70 oranında bakır cürufu eklenmiş. Minimum yansıtma -13,4 dB'ye ulaşmıştır ve -10,0 dB'nin altındaki yansıtma, bakır cüruf içeriği %50 olduğunda %90 emilimi temsil eden 8,2–8,4 ve 10,4–10,9 GHz frekans aralığında elde edildiği ifade edilmiştir. Aşırı bakır cüruf içeriği, harcın EM mikrodalgayı emmesine değil, yansıtmasına neden olabileceği ifade edilmiş. Ayrıca %50 bakır cürufu içeriği harçların hem mekanik hem de mikrodalga absorpsiyon performanslarının artırılması açısından faydalı olduğu söylenmiştir [76].

Li vd. (2019), karbon siyahı (CB) ve gözenekli cam peletler (GP'ler) ile doldurulmuş çimento bazlı kompozitler hazırlamışlar. Çimento esaslı EM dalga soğurucu malzemelerde gözenekli GP'ler kullanılmış ve tane boyutunun, gradasyonun, agregaların dolgu oranının ve kalınlığın elektromanyetik dalga absorpsiyon özelliklerine (EMAP'ler) etkisi incelenmiş. Sonuç olarak: Çap arttıkça, EMAP'ler önce artmış, sonra azalmış. 0,25–1,0 mm büyüklüğündeki parçacıklar, absorpsiyon özelliklerine en çok katkıda bulunduğu görülmüş. 0,25 mm GP'li kompozit, -9,67 dB'de en düşük ortalama yansıtma ulaşır. Ve -10 dB'inin altındaki bant genişliği 7.47 GHz'dir. Farklı boyutlardaki parçacıkların EMAP'lerin artırılması üzerindeki etkisi açık olmadığı ve GP'lerin optimal dolgu oranının hacimce %50 olduğu ifade edilmiştir [77].

Elektromanyetik özelliklerin incelendiği bir çalışmada: grafen nano-platelet (GN) ve içi boş cam mikroküreler (HGM) ile doldurulmuş çimento esaslı kompozitler hazırlanmış ve elektromanyetik dalga soğurma özellikleri incelenmiştir. Soğurma performansı testi için kullanılan kalıbın boyutu 200×200 mm, kalınlığı ise 10, 20 ve 30 mm'dir. Mukavemet testi boyutu 40mm × 40mm × 160 mm'dir. Sonuçta cam mikrokürelerin doluluk oranı arttıkça absorpsiyon tepe değeri ve -5 dB altındaki efektif absorpsiyon bant genişliği önce artmış ve sonra azalmış. GN %0.2, HGM hacimce %40 ve kalınlık 20 mm olduğunda, kompozit mükemmel soğurma özelliklerine sahip olmuş ve ortalama yansıtma kaybı 2–

18 GHz aralığında -8,2 dB'dir ve etkili soğurma bant genişliği 4,4 GHz'e ulaşmış. Çimento esaslı kompozitler için, GN ilavesi mukavemeti arttırırken ve HGM miktarının artmasıyla azalmıştır [78].

Wang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, çok katmanlı grafenlerin (MLG'ler) farklı içeriklerinin, 2-18 GHz frekans aralığında çok katmanlı grafenle doldurulmuş çimentolu kompozitlerin elektromanyetik koruma ve soğurma özelliklerini incelemek amacıyla çimento hamuruna ve çimento harçlarına ayrı ayrı dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %10 oranında çok katmanlı grafenli çimento pastalarının elektromanyetik koruyucu etkililiği en fazla 10,35 dB ve mutlak yansıtma değeri ise 33 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca, %15 oranında çok katmanlı grafen içeren çimento harçları, elektromanyetik koruma etkinliğinde %95'e varan bir artış göstermiş ve mutlak yansıtma değeri, çok katmanlı grafen içermeyen çimento harçlarının 9 katı kadar yüksek olan 18 dB'ye ulaşmıştır. Genel olarak, çok katmanlı grafen dolgulu çimento pastalarının, elektromanyetik özelliklerde çok katmanlı grafen dolgulu çimento harçlarına göre daha iyi bir performans sergilediği ifade edilmiştir [79].

Elektromanyetik özelliklerin araştırıldığı başka bir çalışmada değişen sıcaklık ve frekansın karbon lif/silika eklenen numunelerin elektromanyetik girişim kalkını ve mikrodalga absorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kompozitler, geleneksel seramik işleme ile hazırlanmıştır. 30°C ila 600°C arasındaki sıcaklıklarda 8,2 ila 12,4 GHz frekans aralığında kısa karbon fiber/silika kompozitinin dielektrik ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak: artan frekansla yansıma katsayısının azaldığı, soğurma katsayısının ise arttığı görülmüştür. Geçirgenliğin gerçek ve sanal kısmı, sıcaklığın artmasıyla artmıştır. Bunun sebebinin elektron polarizasyonunun kısalan gevşeme süresine ve karbon fiberlerin artan elektrik iletkenliği olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca, incelenmiş bölgede ekranlama etkinliği 10 dB'den fazla olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçları üretilmiş olan kompozitin iyi bir EM dalga zayıflatma özelliği olduğunu ayrıca ortaya çıkarmıştır [80].

Nam vd. (2012), çalışmalarında; değişen ağırlıklarda silis dumanı ve çok duvarlı karbon nanotüp içeren çimento matris malzemelerinin elektromanyetik girişim koruma etkinliğini (EMI SE) test etmeyi ve silis dumanı ilavesinin çok duvarlı karbon nano tüp/çimento kompozitlerinin EMI SE üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüp her baz karışımına ağırlıkça 0, %0,3 %0,6 ve %1,0 çimento ile dahil

edilmiştir. Silis dumanı %10, %20, %30 oranlarında eklenmiştir. Ağırlıkça %0,6 oranında çok duvarlı karbon nanotüp eklendiğinde, çimento ağırlık oranı %20 olan silis dumanına sahip numuneler, genel frekans aralığında en iyi EMI SE yi sergiledi. %1,0 ağırlık ile çok duvarlı karbon nanotüp olduğunda, %30 silis dumanına sahip numuneler en iyi EMI SE'yi gösterdi. Çok duvarlı karbon nanotüp katkılı çimento matris malzemelerine uygun miktarda silis dumanı ilavesinin, kompozitlerin elektriksel iletkenliğini iyileştirmesine bağlı olarak EMI'yi iyileştirebileceği gözlenmiştir [81].

Liu vd. (2017), çalışmalarında ferroferrik oksit (Fe_3O_4) nanoparçacıklarını, X bandında (8,2–12,4 GHz) elektromanyetik girişim (EMI) koruma etkinliğini (SE) artırmak için karbon fiber kompozitlerine dahil etmişler. Küresel Fe_3O_4 nanoparçacıkları, ortalama çapı yaklaşık 30-50 nm olan solvotermal yöntemle sentezlendi. Karbon fiberler çimento kütesine oranla %0,4 olarak seçilmiş ve Fe_3O_4 nanopartikülleri çimentonun kütesine göre %1, %3 ve %5 oranlarında karışım hazırlanmıştır. Ağırlıkça %0,4 karbon fiber ve ağırlıkça %5 Fe_3O_4 nanoparçacıkları ile çimento kompozitinin koruma etkinliği, karbon fiber/çimento kompozitinden %34,4 artışla 8,2–12,4 GHz frekans aralığında 29,8 dB'ye ulaşmıştır. Mükemmel EMI koruma özelliği, Fe_3O_4 /karbon fiber çimento kompozitinin, yüksek EMI koruması için umut verici bir malzeme olduğu ifade edilmiştir [82].

Bakır cüruf ve bakır tozu içeren serilerin üretildiği bir çalışmada EM dalga emen yeni bir çimentolu kompozit üretilmiştir. Bakır cürufu ve tozu için elektromanyetik parametreler 1-18 GHz aralığında ölçülmüştür. Ağırlıkça %0-30 bakır cüruf içeren yedi tane ve ağırlıkça %2-4-6-8-10 oranlarında bakır tozunun eklendiği beş tane çimentolu kompozit hazırlanmıştır. 1-18 GHz aralığında ağ analizörü kullanılarak yapılan yansıtıcılık testleri, ağırlıkça %25 bakır cüruf ve ağırlıkça %6 bakır tozu içeren çimentolu kompozitin, 10,2 dB pik yansıma kaybı değeri ve 3,48 GHz absorpsiyon bandı ile uygun bir elektromanyetik dalga emme kapasitesi gerçekleştirdiğini göstermiştir [83].

Elektromanyetik özellikleri araştırmak üzere bakır cürufunun kullanıldığı başka bir çalışmada: ağırlıkça %15, 30 ve 45 oranlarına sahip bakır cüruflar tipik bir Portland çimentosu ile karıştırılmıştır. Sonuç olarak çimento matrisine ağırlıkça %45 bakır cüruf eklenmesi, 7 MHz-8.500 GHz'de koruma değerini yaklaşık 1-5 dB'ye yükselttiği ve EM enerjinin yaklaşık %60 zayıfladığı görülmüş. Bu değer, manyetik ve dielektrik kayıp emici olarak işlev gören numune karışımındaki bakır cürufundan türetilen fayalit ve

manyetitle ilişkilendirilmiş ayrıca kalınlığın artmasıyla numunenin koruyucu etkinlik seviyesinin güçlendirildiği ifade edilmiştir [84].

Rahmani (2022), tarafından yapılan çalışmada, çelik, polipropilen ve karbon lifle güçlendirilmiş malzemelerin eğilme, basınç mukavemeti, su emme, büzülme gibi mekanik ve fiziksel özellikleri 2, 28, 90 ve 180 gün sonra belirlenmiştir. Aynı karışım tasarımıyla üretilen kaplama malzemelerinin ise 90 gün sonra 900-6000 MHz elektromanyetik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada yansıma ve absorpsiyon davranışları üzerinde odaklanılmıştır. Deneyler için toplamda 6 adet 40x40x160 mm boyutunda büzülme, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri için, 6 adet 50x50x50 mm boyutunda su emme deneyleri için hamur ve harç numuneleri üretilmiştir. Ayrıca, elektromanyetik kalkanlama miktarlarının belirlenmesi için her deney grubundan 1'er adet 300x300x10 mm boyutunda numuneler üretilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, yeşil tuf ile üretilen alkali aktive hamurda polipropilen fiberde en yüksek ekranlama değeri -19,65 dB, mikro çelik liflerde -51,55 dB ve karbon fiberde -39,73 dB olarak ölçülmüştür. Beyaz tuf ile üretilen alkali aktive hamurda ise polipropilen fiberde en yüksek ekranlama değeri -17,30 dB, mikro çelik liflerde -29,25 dB ve karbon fiberde ise -37,75 dB olarak belirlenmiştir [85].

Öztürk (2021), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yeni nesil yapılar için elektromanyetik dalga soğurma özelliği kazandırılmış çimento esaslı kompozitler üretmeyi amaçlanmıştır. Bu amaçla, demir-çelik ve alüminyum fabrikalarının atıkları-yan ürünleri, atık tekerlek lastikleri ve nikel kaplamalı-kaplamasız karbon lifler çimento esaslı kompozitlere katılarak elektromanyetik dalga zayıflatma yeteneklerinin kazandırılması hedeflenmiştir. Mekanik testler harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilirken, tüm kompozitler EM testlerine tabi tutulmuştur. İlk aşamada, atık tekerlek lastikleri agrega ile hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında karıştırılmış, daha sonra ise önceden belirlenen optimum tufal oranına (%15) sahip harçlar agrega ile hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirerek üretilmiştir. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lifler %1-0,5 oranlarında, kırmızı çamur %15, %30 ve %45 oranlarında, silis dumanı ve uçucu kül ise %10-20-30 oranlarında kompozitlere eklenmiştir. EM testler için 15 cm X 15 cm X 2 cm - 16 cm X 16 cm X 2 cm boyutlarında tabakalar kalıplara dökülmüştür. Sonuçlar, kırmızı çamur içerisinde bulunan demir ve alüminyum bileşiklerinin kullanılan kompozitlere elektromanyetik dalga zayıflatma yeteneği kazandırdığını göstermiştir. Ayrıca, nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içeren çimento pastalarında nikel

kaplamalı liflerin, kaplamasız liflere göre elektromanyetik dalga zayıflatmada daha üstün olduğu, ancak her iki lifi içeren kompozitlerin de elektromanyetik dalga zayıflatma konusunda üstün özellikler sergilediği gözlemlenmiştir [71].

Hayat (2022), adlı çalışmada, alkali aktive edilmiş kompozit hamurların (AAH) üretiminde alümina silikat kaynağı olarak Bayburt ilinde bulunan yeşil ve beyaz renkli volkanik tüfler kullanılmıştır. Ayrıca, toz halindeki mikronize kalsit de bu karışıma eklenmiştir. Elektromanyetik özellikleri geliştirmek amacıyla manyetit (ferro-ferrik oksit) de %2, %4 ve %8 oranlarında karışıma eklenmiştir. Üretilen alkali aktive edilmiş hamurların mekanik, fiziksel ve elektromanyetik özelliklerini iyileştirmek için toplam malzemenin hacmine oranla %2 polipropilen, kırılmış karbon ve pirinç kaplı mikro çelik lifler kullanılmıştır. 2, 28 ve 90 gün yaşlarında prizma ve küp alkali aktive edilmiş hamur numuneleri üzerinde mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra, 90 gün yaşında olan 300x300x10 mm boyutlu kaplama malzemeleri üzerinde de 900-6000 MHz aralığında elektromanyetik iletim ve yansıma özellikleri test edilmiştir. Sonuçlar, yeşil tüf ile üretilen alkali aktive hamurlarında karbon lifin 40,08 dB, mikro çelik lifin 29,99 dB ve polipropilen lifin 13,01 dB olan en yüksek elektromanyetik kalkanlama değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Beyaz tüf ile üretilen alkali aktive hamurda ise karbon lifin 32,09 dB, mikro çelik lifin 25,98 dB ve polipropilen lifin 13,98 dB olan en yüksek elektromanyetik kalkanlama değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir [8].

Çeşitli malzemelerin elektromanyetik kalkanlama verimliliğinin araştırıldığı bir çalışmada, 100 MHz-6 GHz arası frekans aralığında yayın yapan bir dalga jeneratörü ve bu dalgayı yakalayan bir spektrum analizör kullanılarak, engel olmadığı durumlarla birlikte engel girdiği durumlarda zayıflama ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, beton, gaz beton, alüminyum katkılı beton, strafor katkılı beton, kömür katkılı beton, karbon katkılı sünger, çelik ve Bayburt taşı gibi çeşitli malzemeler kullanılmıştır. 5,90 GHz frekansında, antenler arasındaki mesafeye göre zayıflama miktarları şu şekildedir: 0 mm -10,18 dB, 9 mm -11,68 dB, 18 mm -12,62 dB, 19 mm -12,65 dB, 27 mm -13,13 dB, 38 mm -14,45 dB, 55 mm -15,26 dB. Ayrıca, 5,90 GHz frekansında, antenler arasında 1 cm kalınlığındaki malzemelere göre zayıflama miktarları şu şekildedir: boş -15,88 dB, gaz beton -18,77 dB, beton -18 dB, strafor -18,34 dB, kömür -18,15 dB, alüminyum -19 dB, çelik -45,75 dB. Sonuçlar, elektromanyetik dalgalarda boş uzayda mesafeye bağlı olarak zayıflama olduğunu göstermiş ve betonun strafor, kömür ve alüminyum gibi malzemelerle katkılандığında zayıflamanın arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, karbon

katkılı süngerin boşluklu yapısı ve bu boşluklara karbon dolmasıyla zayıflamanın arttığı belirlenmiştir. Son olarak, Bayburt taşının yüksek frekanslarda 1,5 dB'ye kadar ve düşük frekanslarda 8 dB'ye kadar zayıflama sağladığı ifade edilmiştir [86].

Altun ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, esnek, hafif, dirençli ve yüksek performanslı kalkanlama etkinliği gösteren grafen katkılı odun-plastik (OPG) nanokompozitleri üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin yapısal ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği, yalıtkanlık sabiti, manyetik geçirgenlik gibi elektromanyetik özellikleri 8-9 GHz frekans aralığında analiz edilmiştir. Kompozitler, ağırlıkça %5 odun ve %0-%1,5-%3-%6 grafen içeren PVC'den oluşmaktadır. Bu dört farklı grafen katkılı odun-plastik kompozit, çift vidalı presleyici kullanılarak topaklar halinde üretilmiştir. Grafen katkılı odun-plastik topakları, $22,8 \times 10,2 \times 2$ mm ölçülerine sahip Carver marka bir cihaz kullanılarak sıcak pres işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, ağırlıkça %6 grafen içeren kompozitte en yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerinin yaklaşık olarak 24 dB olduğunu göstermektedir [87]. Elektromanyetik kalkanlama konusunda yapılan çalışmalarda kullanılan malzeme, kalkanlama değeri, çalışmanın yapıldığı frekans aralığı kısaca Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. EMI üzerine yapılan çalışmalar ve nitelikleri.

Çalışmayı yapan	Kullanılan Katkı-Lif Cinsi	Frekans aralığı	Kalkanlama (dB)
Lee vd. (2021)	Polipropilen Lif, Amorf Metalik Lif, Çelik Lif	850- 1000MHz	~9 ~70 ~50
Wang vd. (2016)	Bakır Cürufu	820-1240 MHz	-8.4 -13.4
Li vd. (2019)	Karbon Siyahı, Gözenekli Cam Pelet	170- 1800MHz	-9,67 -10
Wang vd. (2019)	Çok Katmanlı Grafen,	200-1800 MHz	10.35 33
Cao vd.	Karbon lif, SiO ₂ Nanotozları	820-1240 MHz	>10
Nam vd. (2012)	Silis Dumanı, Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	940-1000 MHz	
Liu vd. (2017)	Fe ₃ O ₄ Nanopartikülleri	820-1240 MHz	29.8
Rahmanı (2022)	Mikro Çelik Lif Karbon Lif Polipropilen Lif	900- 6000MHz	-51.55 -39.73 -19.95
Öztürk (2021)	Nikel Kaplamalı Karbon Lif, Nikel Kaplamasız Karbon Lif, UK, SD, Kırmızı Çamur, Tufal, PKK, Atık Tekerlek Lastiği, EAO	300-1800 MHz	-4 -20

Çizelge 2.6. (devam) EMI üzerine yapılan çalışmalar ve nitelikleri.

Hayat (2022)	Manyetit Polipropilen Çelik Lif Pirinç Kaplı Çelik Karbon Lif	900-6000MHz	13.01 40.08 29.99
Fan vd. (2018)	Bakır Cürufu	7 MHz-8,5 GHz	1-5
Ma vd. (2018)	Bakır Cürufu Bakır Tozu	1-18 GHz	10.2
Lv vd. (2018)	Grafen Nano-Pletelet Cam Kürecik	2-18 GHz	-8.2
Recepöğlu (2021)	Strafor Kömür Alüminyum parçaçık	100-6000MHz	1.5-8
Altun (2017)	Grafen Ahşap	8-9 GHz	24
Liv (2017)	Karbon lif Manyetit	8,2-12,4 GHz	29.8
UK: uçucu kül, SD: silis dumanı, PKK: pirinç kabuğu külü, EAOC: elektrik ark ocağı cürufu, Fe ₃ O ₄ : ferroferrik oksit			

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın üçüncü bölümü, harç üretiminde kullanılan malzemeler ve deneysel yöntemlerden oluşmaktadır. Materyal bölümünde; bakır cürufu atığı, karbon lif, çimento, kum ve karma suyu hakkında bilgi verilmektedir. Yöntem kısmında ise üretilen harç serilerine ait karışım oranları, miktarları ve numuneler üzerinde yapılacak fiziksel, mekanik, elektromanyetik ve mikro yapı deneyleri verilmiştir.

3.1. MALZEME

3.1.1. Atık Bakır Cürufu

Tez kapsamında kullanılan bakır cürufu atıkları, Kastamonu ilinde yer alan Eti Bakır A.Ş. Küre işletmesi üretim tesisinden temin edilmiştir. Bakır cürufu atıkları, 1 mm'den 50 mm ye kadar farklı ebatlarda olup koyu gri ve siyah renge sahip camsı bir yapıdadır. Cürufların yaklaşık %95'ini demir oksitler, silika, alümina ve kalsiyum oksit oluşturur. Bakır cüruflarının kimyasal bileşimi işletme koşullarına ve cevherin özelliğine göre değişiklik göstermekle beraber; Eti Bakır A.Ş. Küre işletmesinden elde edilen veriler ve literatür taramasından elde edilen veriler ışığında tipik bakır cürufu içeriği Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bakır cürufu atıklarının yüksek aşınma ve korozyon direncine sahip kararlı yapıda olduğu görülmüştür. Bu üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı metali giderilmiş cüruflar aşındırıcı malzemelerin yapımında, inşaat sektöründe, çimentoda, yol yapımında, cam ve fayans üretiminde kullanılabilirler [11], [48], [50].

Çizelge 3.1. Bakır cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Özellikler			
Bileşik(%)		Element(%)	
SiO ₂	25,25-35	Cu	0,76-0.03
Al ₂ O ₃	0,54-10	Co	0,19
Fe ₂ O ₃	59-69,02	S	0.40-2,31
CaO	0.13-1,58	Au(mg/lt)	-
Na ₂ O	0,75	Ag(mg/lt)	6,44
K ₂ O	0,33	SiO ₂	26,89
SO ₃	0,16		
CuO	0.53-1,33		
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık(g/cm ³)		3,69	
Renk		Koyu Gri	

Laboratuvara getirilen bakır cürufu atıkları öncelikle Rantek marka çeneli kırıcıdan (Şekil 3.1) geçirilmiş olup, ardından UTEST marka bilyalı değirmende istenen boyuta kadar öğütülmüş ve ardından elenmiştir (Şekil 3.2) (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Çeneli kırıcı.



Şekil 3.2. Bilyalı kırıcı.



Şekil 3.3. Bakır cürufunun öğütülmesi ve eleme aşamaları.

Öğütülen cürufun tane çapı standart kum baz alınarak %33.3'ü 2-1mm, %33.3'ü 1-0.5mm ve %33.3'ü 0.5-0.063mm aralığında olacak şekilde elenip deneyde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Çizelge 3.2.'de 25B ve 50B serilerine ait bakır cürufu atıklarının elek aralıkları ve ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Karışıma giren bakır cürufu atıklarının elek boyutları ve oranları.

Elek Aralığı(mm)	Hacimce(%)	%25 Bakır Cürufu İçin	%50 Bakır Cürufu İçin
2-1	33.3	166,05	332,1
1-0.5	33.3	166,05	332,1
0.5-0.08	33.3	166,05	332,1

3.1.2. Karbon Lif

Karbon lif, İstanbul'un Tuzla ilçesinde bulunan Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Karbon lifler yüksek mekanik mukavemetleri, elektrik iletkenlikleri, termal

mukavemetleri ile inşaat sektöründe, termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde ve elektrik iletkenliği sağlanmasında; antistatik özellik istenen endüstriyel zeminlerde dahi sahip olduğu üstün özellikleri ile katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [88] Deneylerde kullanılan karbon life ait bazı özellikler Çizelge 3.3.'te verilmiş olup ilgili görsel Şekil 3.3.'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Karbon lifin teknik özellikleri.

Özellikler	SI
Çekme Dayanımı	3800 MPa
Elastisite Modülü	22 GPa
Elektrik İletkenliği	0.00155 ohm-cm
Özgül Ağırlık	1.81 g/cc
Elyaf Çapı	7.2 μ
Karbon	%95
Elyaf Uzunluğu	10-12 mm



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan kırılmış karbon lifler.

3.1.3. Kum

Harç üretiminde TS EN 196-1'e uygun CEN standart kumu kullanılmıştır. Limak Batı Çimentodan temin edilen kumun elek analizi Çizelge 3.4.'te verilmiştir [89] Bakır cürufu içeren harç serileri için kum miktarı çeyrekleme yöntemi uygulanarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3.4. CEN standart kumu elek analizi.

Kare Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
2.00	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

3.1.4. Çimento

Üretilen harç numunelerinde TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen Bolu Çimento San.Tic. A.Ş. nin CEM II 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler sırasıyla Çizelge 3.5’te ve Çizelge 3.6’da verilmiştir [90]

Çizelge 3.5. CEM II 42.5R Çimentosunun fiziksel özellikleri.

Özellikler	Değerler (%)	TS EN 197-1 Sınır Değerleri
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,15	-
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	4274	-
Priz Başlangıcı (dakika)	126	≥60
Hacim Genleşmesi (mm)	1	≤10
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	31,5	≥20
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,4	42.5-62.5

Çizelge 3.6. CEM II 42.5R Çimentosunun kimyasal özellikleri.

Özellikler	Değerler (%)	TS EN 197-1 Sınır Değerleri
SO ₃	2,84	≤ 4,0
Na ₂ O	0,84	-
K ₂ O	0,66	-
Klorür (Cl ⁻)	0,1676	-

3.1.5. Karma Suyu

Deneysel çalışmalarda karışım suyu olarak Düzce şehir şebeke suyu kullanılmıştır. 2019 yılının temmuz ayında yapılmış olan analiz raporu kullanılarak elde edilen, şebeke suyunun kimyasal içeriği Çizelge 3.7.'de verilmiştir [91]

Çizelge 3.7. Şebeke suyuna ait kimyasal özellikler.

Elementler/Parametreler	Kimyasal İçerik(mg/L)
Florür	-
Nitrat	2.9
Nitrit	0.05
Alüminyum	0.13
Demir	<0.05
Mangan	-
pH	7.7
Sülfat	-
Klorür	-
Amonyum	<0.06
Bulanıklık (NTU)	Uygun
İletkenlik (µS/cm)	400 (23.3 °C)
Renk (birim)	Normal
Koku	Normal
Tat	Normal
Serbest Klor	0.55

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Harç Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Deneysel çalışmalarda bakır cürufu ve karbon lifin farklı oranlarda kullanımıyla on iki seriden oluşan harçlar üretilmiştir. Harç serilerinin kodlanması Çizelge 3.8’de, ağırlıkça malzeme kullanım oranları ise Çizelge 3.9’da verilmiştir. Harç üretiminde atık bakır cürufları kum ile %25 ve %50 oranlarında ağırlıkça ikame edilerek kullanılmıştır. Karbon lifleri ise karışıma hacimce %0,1-%0,3 ve %0,5 oranlarında katılmıştır.

Karbon lif ve atık bakır cürufunun etkisini belirleyebilmek adına iki malzeme hem birlikte hem de tekil olarak kullanılmıştır. Harçlarda sadece kum ve çimento içeren şahit serisi (Ş), şahit seriye ek olarak karbon lif içeren seriler (K), sadece kum ile ikame edilen atık bakır cürufu içeren seriler (B) ile karbon lif ve atık bakır cürufunun kullanıldığı (B/K) seriler yer almaktadır.

Çizelge 3.8. Harç serilerine ait kodlamalar ve oranları.

Numune Kodu	Malzeme İçeriği
Ş	Ç+A
25B	Ç+%75A+%25B
50B	Ç+%50A+%50B
1K	Ç+%100A+%0,1K
3K	Ç+%100A+%0,3K
5K	Ç+%100A+%0,5K
25B/1K	Ç+%75A+%25B+%0,1K
25B/3K	Ç+%75A+%25B+%0,3K
25B/5K	Ç+%75A+%25B+%0,5K
50B/1K	Ç+%50A+%50B+%0,1K
50B/3K	Ç+%50A+%50B+%0,3K
50B/5K	Ç+%50A+%50B+%0,5K

Ç: Çimento, A:Kum, B:Atık bakır cürufu, K: Karbon lif

Çizelge 3.9. Harçların ağırlıkça karışım oranları.

Numune Kodu	Çimento(g)	Su(g)	Kum(g)	Karbon lif(g)	Atık bakır cürufu(g)		
					2-1 mm	1-0,50 mm	0,5-0,063 mm
Ş	450	225	1350	-	-	-	-
25B	450	225	1012,5	-	166,05	166,05	166,05
50B	450	225	675	-	332,1	332,1	332,1
1K	449,88	224,94	1349,63	1,64	-	-	-
3K	449,75	224,88	1349,26	4,9	-	-	-
5K	449,50	224,75	1348,52	8,19	-	-	-
25B/1K	449,88	224,94	1012,22	1,64	166,05	166,05	166,05
25B/3K	449,75	224,88	1011,94	4,9	165,96	165,96	165,96
25B/5K	449,50	224,75	1011,39	8,19	165,88	165,88	165,88
50B/1K	449,88	224,94	674,81	1,64	332,01	332,01	332,01
50B/3K	449,75	224,88	674,63	4,9	331,92	331,92	331,92
50B/5K	449,50	224,75	674,26	8,19	331,73	331,73	331,73

Elektromanyetik deneyi için üretilen 30×30×1 cm boyutunda harç serileri için malzeme miktarları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 30×30×1 cm boyutundaki harç serilerinin ağırlıkça karışım oranları.

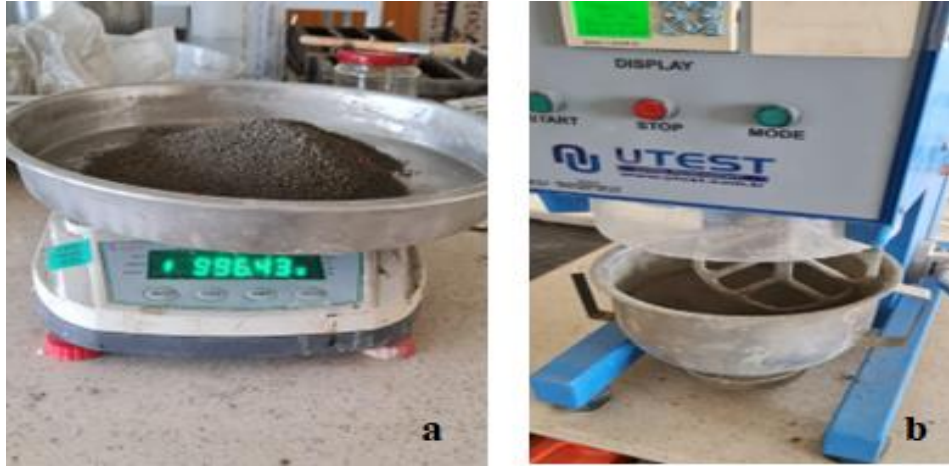
Numune Kodu	Çimento(g)	Su(g)	Kum(g)	Karbon Lif(g)	Bakır Cürufu(g)		
					2-1,60mm	2-1,60mm	2-1,60mm
Ş	445,07	222,48	1334,87	-	-	-	-
25B	445,07	222,48	1001,14	-	164,19	164,19	164,19
50B	445,07	222,48	667,44	-	328,38	328,38	328,38
1K	444,94	222,4	1334,46	1,62	-	-	-
5K	444,5	222,2	1333,2	8,1	-	-	-
25B/1K	444,94	222,4	1000,8	1,62	164,13	164,13	164,13
25B/5K	444,52	222,2	999,9	8,1	163,98	163,98	163,98
50B/1K	444,94	222,4	667,23	1,62	328,27	328,27	328,27
50B/5K	444,52	222,2	666,6	8,1	327,97	327,97	327,97

3.2.2. Deney Ön Hazırlığı ve Deney Programı

Harç üretiminde kullanılacak malzemeler 1g hassasiyete sahip ve 2000 g kapasiteli Svoock marka terazide tartıldıktan sonra ayrı bir kapta kuru olarak harmanlanmıştır. Elde edilen kuru karışıma ilave edilen karışım suyu ile yaklaşık 1,5 dakika süreyle UTEST marka harç mikserinde 125 RPM hızında karıştırılmıştır. Kabın kenarlarına yapışan

malzemelerin daha iyi karılması için mikser aralıklarla durdurulup harç homojen duruma getirilmiş ve tüm serilerde üçer dakikalık karışımlar yapılmıştır.

Fiziksel ve mekanik deneylerde kullanılmak üzere 40*40*160 mm ebatlarında üçlü çelik kalıplar ile manyetik kalkanlama deneyi için 300*300*10 mm ebatlarındaki plywood malzemeden imal edilen kalıplar kullanılmıştır. Kullanılan hassas terazi ve harç mikseri Şekil 3.5'te verilmiştir. Uygulanan deney programı ise Çizelge 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan cihazlar a) Hassas terazi b) Harç mikseri.

Çizelge 3.11. Harç serilerine uygulanan deney programı.

Yapılan Deneyler	Numune Yaşı(gün)			
	28	56	90	180
Fiziksel Özellikler				
Birim hacim ağırlık				+
Kütlece ve Hacimce Su Emme				+
Mekanik özellikler				
Eğilmede Çekme	+		+	
Basınç Dayanımı	+		+	+
Elektromanyetik Özellik		+		

3.2.3. Taze Harç Deneyleri

Harçların işlenebilirliğini belirlemek amacıyla, taze harçlarda yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmektedir. Yayılma tablası deneyi, harçların işlenebilirliği dikkate alınarak yapılmış olup, karışım suyu miktarları değiştirilerek istenilen kıvamda ve işlenebilirlikte sabit yayılma çapı değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu deney, TS EN 12350-5 standardına göre gerçekleştirilmiştir [92].

Yayılma tablası deneyi için, paslanmaz pirinçten imal edilmiş 60 mm yüksekliğinde, alt çapı 100 mm ve üst çapı 70 mm olan bir kesik koni kalıp kullanılmıştır. Huni yayılma tablasının yüzeyine ortalanarak yerleştirilmiştir. Kaldırma kolu kontrol edilerek düzgün çalışıp çalışmadığı test edilmiş ve hazırlanan harç, kalıp içerisine iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her harç tabakası, harç yüzeyine en az 10 vuruş yapıp tokmak yardımıyla düzgün bir şekilde dağılına kadar sıkıştırılmıştır. Fazla harç, tesviye bıçağı veya spatula kullanılarak alındıktan sonra tablanın kenarları temizlenmiştir. Kalıp halkası dik bir doğrultuda çıkarılmadan önce, 15 saniye beklenmiştir. Yayılma tablası, 1,27 cm yükseklikten 15 kez düşürülmüştür. Yayılan harcın çapı ölçülerek 135 ± 5 mm yayılma değerini sağlayan harç karışımları için karışım su oranları belirlenmiştir. Bütün serilerdeki karışım suyu oranları, kıvamın sabit kalacağı şekilde belirlenmiştir. Şekil 3.6'da yayılma deneyi sonrasında elde edilen harçların yayılma çapları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yayılma deneyi uygulanmış harç örnekleri.

Yayılma tablası deneyi sonucunda belirlenen 135 ± 5 mm yayılma değerine sahip taze harçlar, 40x40x160 mm ebatlarına sahip üçlü çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Numunelerin kolayca çıkarılabilmesi için kalıpların içi zeytinyağı ile yağlanmıştır. İlk olarak, kalıplar yarisına kadar doldurularak harçların iyice yerleşmesi için 60 düşüş

yapılmıştır. Ardından kalan kısım da doldurulup tekrar 60 düşüş daha uygulanmıştır. Yayılan harçlardan arındırılarak üzerleri temizlenen kalıplar, nem kaybını önlemek amacıyla cam ile kapatılarak laboratuvar ortamında bekletilmiştir (Şekil 3.7). Numuneler, bir gün boyunca kalıpta bekletildikten sonra deney gününe kadar su içinde kürlenmiştir (Şekil 3.8). Harç serilerine ait numuneler, belirlenen deney gününe kadar kür sürecinde tutulduktan sonra çıkarılmış ve bir gün boyunca laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra sırasıyla 28, 90 ve 180 günlük deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.7. Kalıplara yerleştirilmiş harç numuneleri.



Şekil 3.8. Harç numunelerinin kür ortamında bekletilmesi.

Harç serilerinin elektromanyetik özelliklerin belirlenebilmesi için, 300×300×10 mm boyutlarında playwood malzemedeki kalıplar üretilmiştir. Harçlar kalıba yerleştirildikten sonra fazla kalan harçlar arındırılarak üzerleri temizlenen kalıplar, nem kaybını önlemek için üzerleri cam ile kapatılarak laboratuvar ortamında bekletilmiştir (Şekil 3.9). Numuneler kalıpta bir gün boyunca prizini aldıktan sonra kalıptan çıkarılmış ve deneyin gerçekleştirileceği güne kadar suda kürlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Elektromanyetik deneyi için üretilen karo numuneler.



Şekil 3.10. a) Kalıptan çıkarılan karo numuneler b) Kür teknesi.

3.2.4. Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.2.4.1. Birim Hacim Ağırlık (Görünür Yoğunluk) Deneyi

Görünür yoğunluk, bir cismin fiziksel özelliklerinden biri olup, kâgir birimler için sertleşmiş kuru birim hacim kütlelerinin tayini deneyi TS EN 1015-10 standardında belirtilen prensiplere göre belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı, kuru numune kütlelerinin görünür hacmine oranıdır. Görünür hacim, boşlukları da içeren numunenin dış yüzeyiyle sınırlı hacmi ifade eder. Düzgün olmayan şekillere sahip cisimlerde ise birim hacim ağırlık deneyi, Arşimet terazisinden yararlanılarak gerçekleştirilebilir. Denklem 3.1 yardımı ile harç numunelerinin görünür yoğunlukları hesaplanmıştır [93].

$$Dh = \frac{W_o}{(W_1 - W_2)} \quad (3.1)$$

Burada;

Dh: Birim hacim ağırlık (g/cm³)

W_o: Kuru numune kütlesi (g),

W₁: Suyu doymuş numune kütlesi (g),

W₂: Su içerisine batırılmış numune kütlesi (g),

W₁ - W₂: Görünür hacim (cm³)



Şekil 3.9. Harçların fiziksel deneyleri a) Etüvde kurutulması b) Suda bekletilmesi, c) Arşimet terazisi tartımı.

3.2.4.2. Küttele ve Hacimce Su Emme Deneyleri

Su emme deneyi, TS 699 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, harç numunelerinin kuru ağırlığı (W_0) TS 699 standardına göre ölçülmüştür [94] Numuneler, suya doymun hale gelene kadar 24 saat bekletilmiş ve ardından 15 kg tartım kapasitesine sahip $\pm 0,1$ g hassasiyetle ağırlık ölçümü yapabilen bir terazide tartılmıştır (W_1). Bu aşamadan sonra, harç numuneleri Arşimet terazisinde tartılmıştır (W_2). Sonrasında, Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 kullanılarak küttele ve hacimce su emme oranları yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$Sk = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

$$Sh = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_1 - W_2} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

W_0 : Kuru kütle (g),

W_1 : Doymun kuru yüzey ağırlık (g),

W_2 : Su içindeki kütle (g),

Sk : Küttele su emme oranı (%),

Sh : Hacimce su emme oranı (%)’dır.

3.2.4.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Sertleşmiş harç serilerine ait mekanik özelliklerin belirlenmesi için; 28, 90, 180 günlük prizmatik numuneler üzerinde TS EN 196-1 uyarınca tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır [95] Her seriden 3 adet numune kullanılarak deneyler uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalaması hesaplanmıştır.

• Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

TS EN 196-1 standardına göre, 28 ve 90 günlük harç serileri üzerinde eğilme çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 100 mm aralığı olan iki noktaya mesnetlenmiştir. Numunelerin orta kısmına 50 ± 10 N/s sabit hızla uygulanan yük, numune kırılana kadar devam etmiştir. Harçların eğilme dayanımları Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Eğilme deneyinde, kapasitesi 50 kN olan bilgisayar kontrollü çimento harç test presi (Şekil 3.11) kullanılmıştır. Numunelerin eğilme çekme dayanımları Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır.

$$R_f = (1.5 \times F_f \times I) / b^3 \quad (3.4)$$

Burada;

R_f: Eğilmede çekme dayanımı (MPa),

b: Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F_f: Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük (N),

I: Mesnet silindirleri arasındaki mesafe (mm)'dir.



Şekil 3.11. Üniversal çimento test presi.

• Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilmede çekme deneyinden sonra numuneler iki parçaya ayrılmış ve her bir numune üzerinde basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyde, yükleme hızı 2,4 kN/s sabit hızla uygulanmıştır. Basınç deneyinde, 200 kN kapasiteli deformasyon kontrollü çimento test presi (Şekil 3.12) kullanılmıştır. Numunelerin basınç dayanımları Denklem 3.5'te verilen ilişki kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Burada;

R: Basınç dayanımı (MPa),

F: Kırılmadaki en büyük yük (N),

A: Plakaların yük uyguladığı harç numunesi yüzey alanı (mm²)'dir.



Şekil 3.12. Bilgisayar kontrollü üniversal çimento presi.

- Elastisite Modülü Tayini

Elastisite modülünün deneysel olarak belirlenmesinde genellikle basınç dayanımı deneyine tabi tutulan numunenin yük-deformasyon eğrisinden faydalanılmaktadır [96][97]. Bu yöntem, literatürde statik elastisite modülü ölçüm yöntemlerinden biri olup yaygın bir şekilde kullanılan bir metottur [98].

Harç numuneleri üzerinde 28, 90 ve 180 gün sonunda yapılan basınç dayanımı deneyi sırasında DOI yazılımıyla gerilme ve deformasyon değerleri kaydedilmiş ve bu değerler excel uygulamasında kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak gerilme-deformasyon grafikleri tüm harç grupları için çizdirilmiş ve elastik bölgeler belirlenmiştir. Elastik bölge içinde iki nokta seçilerek Denklem 3.6 yardımıyla statik elastisite modülleri her bir seri için hesaplanmıştır.

$$E = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \quad (3.6)$$

Burada;

E: Elastisite modülü (MPa),

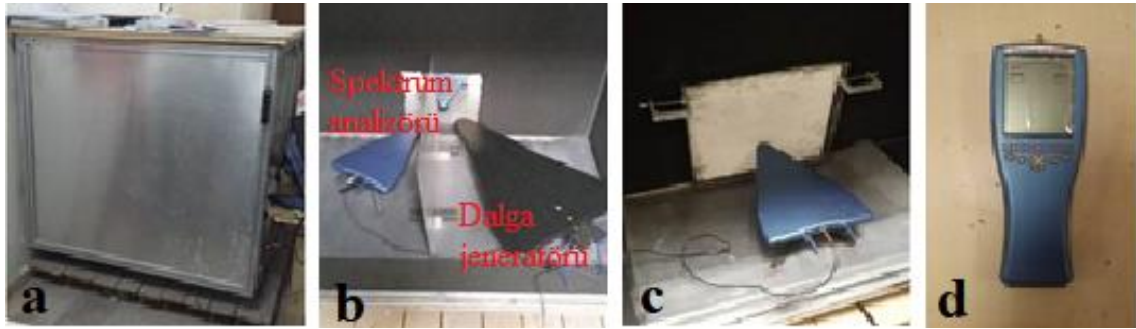
$\sigma_1 - \sigma_2$: Gerilme farkları (MPa),

$\varepsilon_1 - \varepsilon_2$: Deformasyon farkı.

3.2.4.4. Elektromanyetik Özelliklerin Belirlenmesi

Bir koruyucu malzemenin EMI koruma etkinliği (SE), iletilen enerjinin gelen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Bir EM dalgasının korunması, yansıma kaybı (yüzeyde), absorpsiyon kaybı (kalkan boyunca) ve çoklu iç yansımalar (kalkanın içi) olmak üzere üç mekanizma ile gerçekleşir [84].

Elektromanyetik geçirimsizliğin ölçülmesinde, 30×30 cm ve 1 cm kalınlığındaki harç plakaları kullanılmıştır. Plakalar deney gününe kadar kürlenmeye devam etmiştir. Deney gününden önce çıkartılıp etüvde kurutularak deneye tabi tutulmuştur. Elektromanyetik geçirimsizlik deneyleri, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümü Yapı Malzemeleri laboratuvarında yapılmıştır. Deneyde 4060 RF üreteç ve iki adet spektrum analizörü ile MCS Spectrum Analyzer programı kullanılarak Şekil 3.13'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Harç plakalar için ölçüm frekans aralığı 900 MHz ile 6 GHz aralığında tutulmuş ve elektromanyetik iletim verileri, 100 MHz'de bir MCS Spectrum Analyzer yazılımınca dB biriminde alınmıştır.



Şekil 3.13. Elektromanyetik kalkanlama deney düzeneği a) Faraday kafesi, b) dalga jeneratörü ve spektrum analizörü (yansıma), c) spektrum analizörü (iletim) ve numune, d) spektrum analizörü.

3.2.4.5. Mikro Yapı İncelemesi

Üretilen harçlarda atık bakır cürufu ile karbon lifin çimento matrisinin oluşturduğu hidratlı yapılar ve boşluk oluşumunun incelenebilmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve kantitatif kimyasal analizler (EDS) gerçekleştirilmiştir. Seçilen üç harç serisi üzerinde SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Analizler Düzce Üniversitesi Bilimsel ve

Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yer alan Quanta FEG 250 marka eletron mikroskobu cihazında gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Atık bakır cürufu ve karbon lifin farklı oranlarda kullanımı ile üretilen çimentolu harçlarda fiziksel, mekanik, elektromanyetik ve mikro yapı özellikleri araştırılmıştır. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar grafik ve çizelge olarak verilmiştir.

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

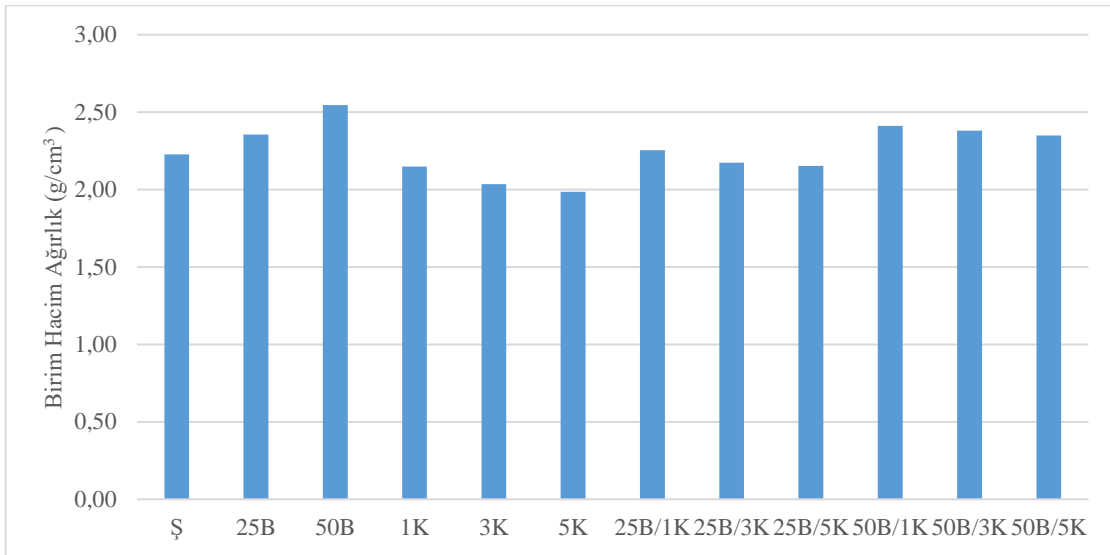
Harç numunelerinin basınç deneyinde kırılmasıyla ortaya çıkan parçalar üzerinde birim hacim ağırlık, kütlece su emme ve hacimce su emme özelliklerini belirlemek üzere deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık (Görünür yoğunluk) deneylerinden elde edilen değerler Çizelge.4.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, harç içerisine atık bakır cürufunun katılması harçların birim hacim ağırlığında artış sağlamıştır. Karbon lifin katılması ise birim hacim ağırlığında azalmaya neden olmuş aynı zamanda lif oranı arttıkça birim hacim ağırlığında azalma lineer olarak devam etmiştir. Serilerdeki bu artış ve azalma eğilimi, atık bakır cürufunda yoğunluğun daha fazla, karbon lifte ise daha düşük olmasıyla açıklanabilir. Harç serilerine ait birim hacim ağırlık değerleri arasında en düşük değer 1.98 g/cm^3 5K serisinde olurken en yüksek değer 2.55 g/cm^3 ile 50B serisinde elde edilmiştir. Şahit numuneyle kıyaslama yapıldığında en yüksek değer olan 50B serisinin birim hacim ağırlığı %14.35 artış göstermişken, en düşük değere sahip olan 5K serisinin birim hacim ağırlığında ise %11.21 azalma olmuştur.

Harç karışımlarına atık bakır cürufu ve karbon lifin tekli ve ikili katılması benzer azalma ve artış eğilimlerini göstermiştir. İkili karışımlar kendi içinde değerlendirildiğinde, 50B/K serilerinde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir. %0.1 karbon lif ile %25 atık bakır cürufu katılması, şahit numuneyle kıyasla birim hacim ağırlığında artışa neden olsa da lif oranının artışı (1K, 3K, 5K serilerinde) birim hacim ağırlığında düşüğe neden olmuştur. Lif oranındaki artış ile görünür yoğunluğun azalması ve bakır cürufu ile artış göstermesi, diğer çalışmalarla benzer sonuçlar alındığı göstermektedir [68]

Çizelge 4.1. Harç serilerine ait birim hacim ağırlık değerleri.



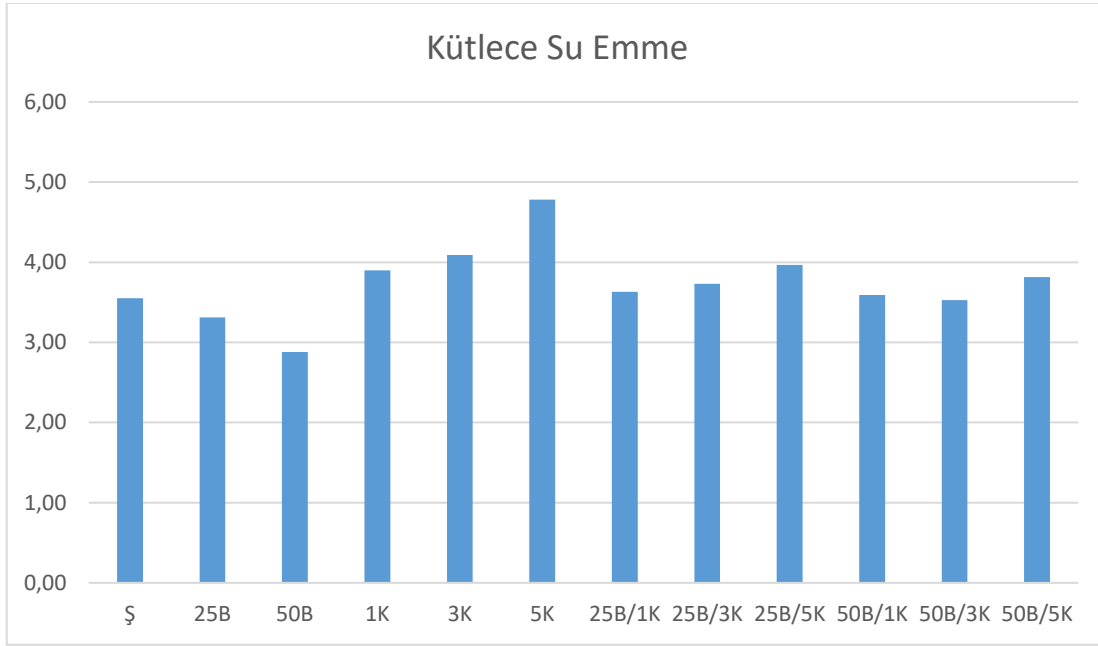
4.1.2. Kütlece Su Emme

180 günlük numuneler üzerinde yapılan kütlece su emme deney verileri Çizelge 4.2' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde harca sadece bakır cürufu eklenen serilerde cüruf miktarının artışıyla doğru orantılı bir şekilde kütlece su emme oranı düşüş göstermiştir. Harç serilerine sadece karbon lif eklendiğinde ise lifin artışıyla doğru orantılı bir şekilde kütlece su emme miktarı artış göstermiştir.

Şahit numuneyle kıyaslama yapıldığında en yüksek kütlece su emme oranı %34,65 artışla %4,78 oranında 5K serisinde ölçülmüştür. En düşük kütlece su emme oranı ise %18,87 düşüşle %2,88 oranında 50B serisinde ölçülmüştür. Bakır cürufunun az su emen yapısı %50 bakır katkılı serilerin daha az su emmesini sağlamıştır. Chakrawartha ve arkadaşları su emme oranı düşük bir malzeme olan bakır cürufunun bu özelliğinden dolayı işlenebilirliğe de olumlu katkıda bulunduğunu ifade etmişlerdir [99].

%25 bakır cürufu içeren harca sırasıyla %0,1-0,3-0,5 oranlarında karbon lif katıldığında lif miktarının artışıyla doğru orantılı bir şekilde kütlece su emme oranında artış gözlenmiştir. Aynı lif oranlarına (%0,1-0,3-0,5) katılan bakır cürufu %50'ye çıkarıldığında ise kütlece su emme oranı nispeten düşüş göstermektedir.

Çizelge 4.2. Harç serilerine ait kütlece su emme değerleri.

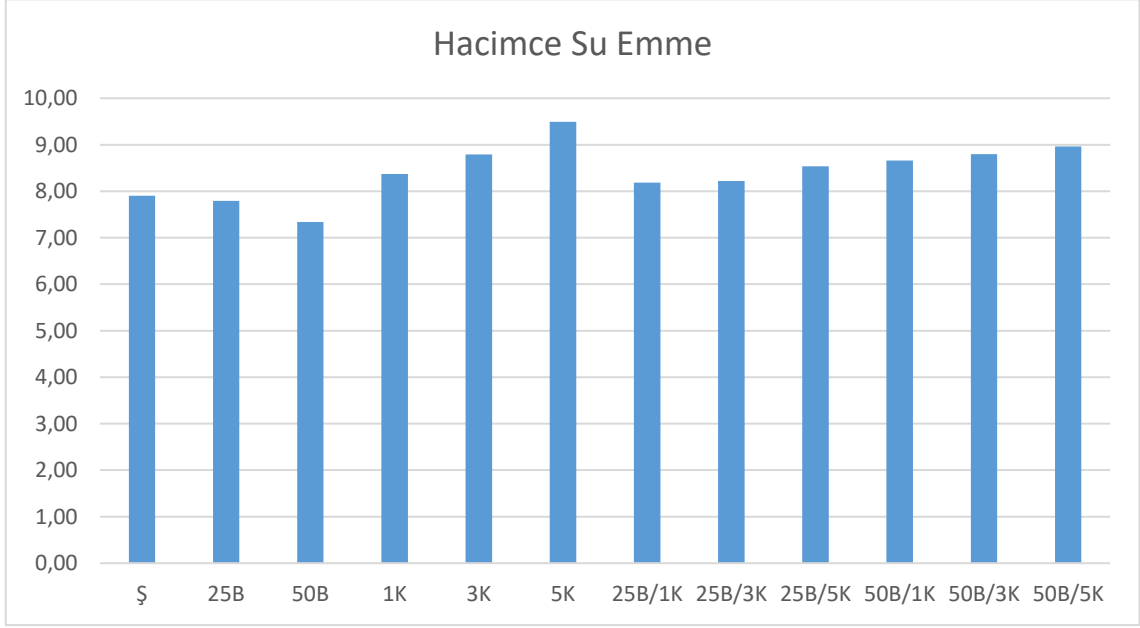


4.1.3. Hacimce Su Emme

180 günlük numuneler üzerinde yapılan hacimce su emme deney verileri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Hacimce su emme grafiği incelendiğinde: harç numunelerine bakır cürufu eklendiğinde hacimce su emme oranı cüruf yüzdesi arttıkça azalmıştır. Karbon lif eklenen numunelerde lif oranının artışına paralel hacimce su emme oranı artış göstermiştir. Bakır cürufu %25 oranında sabit tutularak karbon lif oranı arttırıldığında lif oranın artışına paralel olarak hacimce su emme oranında artış olmuştur. Bakır cürufu oranı %50'ye çıkarılarak aynı lif oranlarıyla üretilen serilerin %25 ile üretilen serilere nispeten su emme oranlarında azalış olsa da karbon lif oranının artışına paralel olarak artış gözlenmiştir.

Tüm seriler ele alındığında en yüksek hacimce su emme oranına sahip seri (5K), şahit numuneye kıyasla %19,97 artış göstererek 9,47 oranında hacimce su emmiştir. Hacimce su emme deneyinde en düşük orana sahip seri (50B) ise şahit numuneye kıyasla %7,21 azalış göstermiştir. En düşük su emme oranına sahip (50B) serisinin hacimce su emme oranı 7,34'tür.

Çizelge 4.3. Harç serilerine ait hacimce su emme değerleri.



4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

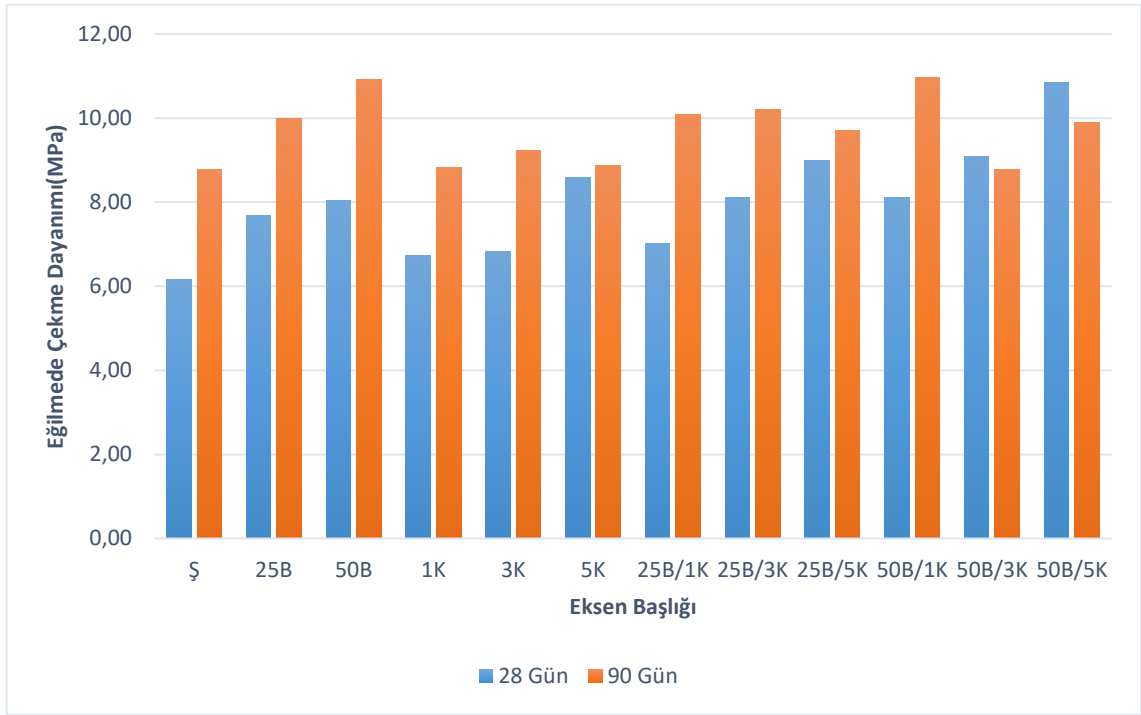
Harç serilerinin mekanik özelliklerini belirlemek için üretilen 40×40×160 mm ebatlarında sertleşmiş harç numuneleri üzerinde eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

4.2.1. Eğilmede Çekme Dayanımı

Şahit numune ile tekli ve ikili serilerin 28 ve 90 gün eğilmede çekme dayanımı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde 28 günlük değerlerin 6,15 ile 10,84 MPa arasında olduğu, 90 günlük değerlerin ise 8,77 ile 10,97 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 90 gün sonunda en düşük eğilmede çekme dayanımını 8,77 MPa ile şahit numune, en yüksek dayanımı ise 10,97 MPa ile 50B/1K serisinde görülmüştür.

28 günün sonunda en yüksek eğilme değerine sahip 50B/1K serisi, en düşük eğilme değerinin ölçüldüğü Ş serisi ile kıyaslandığında eğilme dayanımında %76,3'lük bir artış göstermiştir. 90 günlük deneylerde ise 50B/1K serisi Ş serisi ile kıyaslandığında eğilme dayanımında %25'lik bir artış olmuştur.

Çizelge 4.4. Harç serilerine ait eğilmede çekme dayanımı değerleri.



Tüm seriler incelendiğinde, atık bakır cürufu ve karbon lifinin artışıyla serilerdeki eğilmede çekme dayanımının arttığı görülmektedir. Düşük miktarda karbon lif içeren serilerde eğilme dayanımının nispeten az olduğu, yüksek miktarda karbon lif içeren serilerde ise eğilme dayanımının arttığı görülmektedir. Yapılan diğer çalışmalar ile benzer verilerin elde edildiği görülmektedir. %100 bakır cürufu içeren harçlarda hem eğilme hem de basınç dayanımlarda artış olduğu görülmüştür. [67], [68], [100].

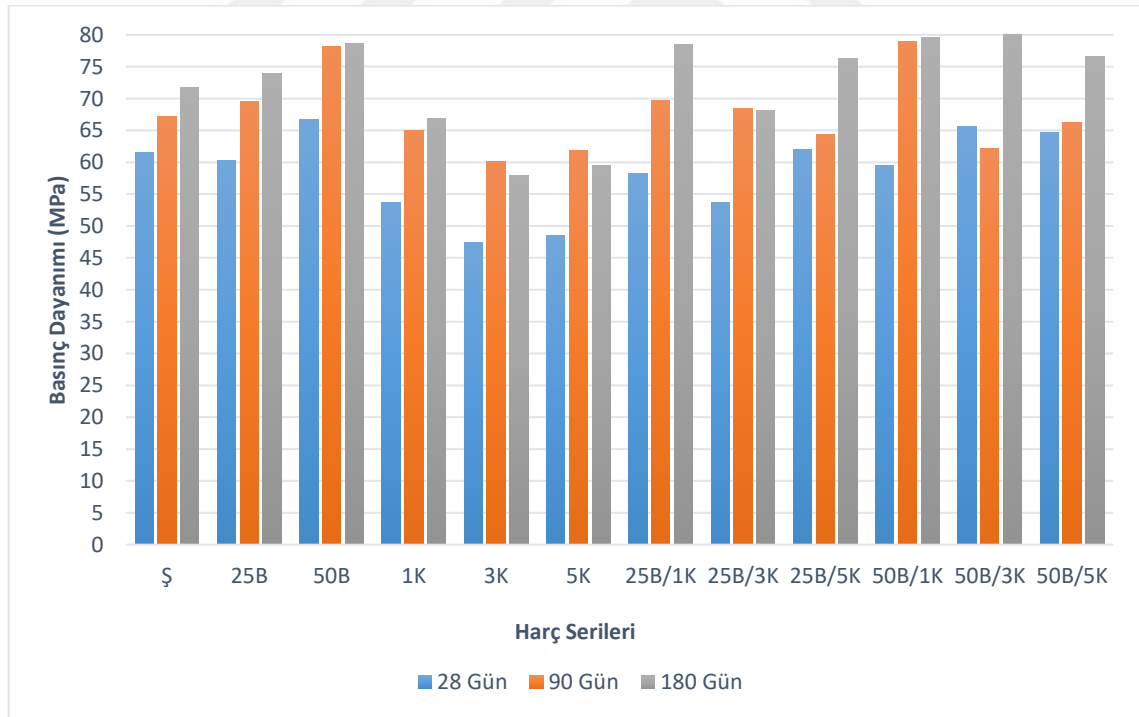
Bakır cürufu oranının artması ile 25B/3K ve 50B/5K serilerinde eğilme dayanımını arttırırken bazı serilerde (50B/1K) ise eğilme dayanımında düşüşe neden olmuştur. 28 günlük deneylerde sadece bakır cürufu katkılı olan serilerde ise 25B ve 50B serilerinde azda olsa bir artış gözlenmiştir. Aynı serilerin 90 günlük değerlerinde artışın daha fazla olduğu belirlenmiştir. 90 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde ise; karbon lif miktarının artışı belirgin farklılıklar göstermezken, bakır cürufu oranının artışı eğilmede çekme dayanımında belirgin bir artışa neden olmuştur. Hem tekli hem ikili kullanılmış olan serilerde atık bakır cürufunun dayanım üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür.

4.2.2. Basınç Dayanımı

Şahit numune, atık bakır cürufu ve karbon lifi katkılı harç serilerine ait 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Tüm serilerin basınç dayanım değerleri incelendiğinde, genel olarak serilerin gün geçtikçe basınç dayanımlarında lineer bir artış olduğu görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımlarının 47,35 ile 66,76 MPa, 90 günlük verilerin 60,12 ile 79 MPa ve 180 günlük verilerin ise 58 ile 80,06 MPa aralığında değiştiği görülmüştür. 28 günlük deneylerde 50B serisi şahit seriye(Ş) kıyasla, basınç dayanımında %8,5'lik bir artış göstermiştir. 90 günlük deneylerde 50B/1K serisi Ş serisine kıyasla basınç dayanımında %37,7'lik artış gözlenmiştir. 180 günlük deneylerde ise 50B/1K serisi Ş serisine kıyasla basınç dayanımında %11,5'lik artış olduğu görülmüştür. Tüm seriler ve üç farklı gün içinde en düşük dayanımlı serinin %3 karbon lif katkılı 3K serisi, en yüksek dayanımın ise %50 atık bakır cürufu içeren 50B serisi olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4.5. Harç serilerine ait basınç dayanımı değerleri.



Basınç dayanımı grafiği incelendiğinde %25 bakır cürufu eklenen numune(25B) de basınç dayanımı şahit numuneye kıyasla az miktarda düşüş gösterirken bakır cürufu miktarı %50'ye (50B) çıkarıldığında basınç dayanımı 61,50 MPa'dan 66,76 MPa'a yükselmiştir. Atık bakır cürufu ikamesinin serilerde ortaya çıkardığı bu artışın diğer

çalışmalarda da görüldüğü ve bunun bakır cürufunun yapısal dayanımına bağlı olduğunu söyleyebiliriz. [60], [101].

Sadece karbon lif eklenen numunelerin basınç dayanımları, tüm günler için şahit numune dayanımından daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Bu durumun fiberlerin ortaya çıkardığı boşluk yapısıyla ilgili olduğunu söyleyebiliriz. Benzer dayanım azalmasının diğer çalışmalarda da ortaya çıktığı görülmektedir. Lif miktarının artmasıyla, yapı içinde oluşan hava içeriğinin arttığı ve böylece dayanımın bu oranda azaldığı belirtilmektedir [74].

Atık bakır cürufu ve karbon lifin birlikte kullanıldığı B/K serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde, 50B/K serilerinin 25B/K serilerinden daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Atık bakır cürufunun ikame oranına paralel olarak basınç dayanımı artmakta, diğer taraftan karbon lif oranındaki artışla da azaldığı belirlenmiştir.

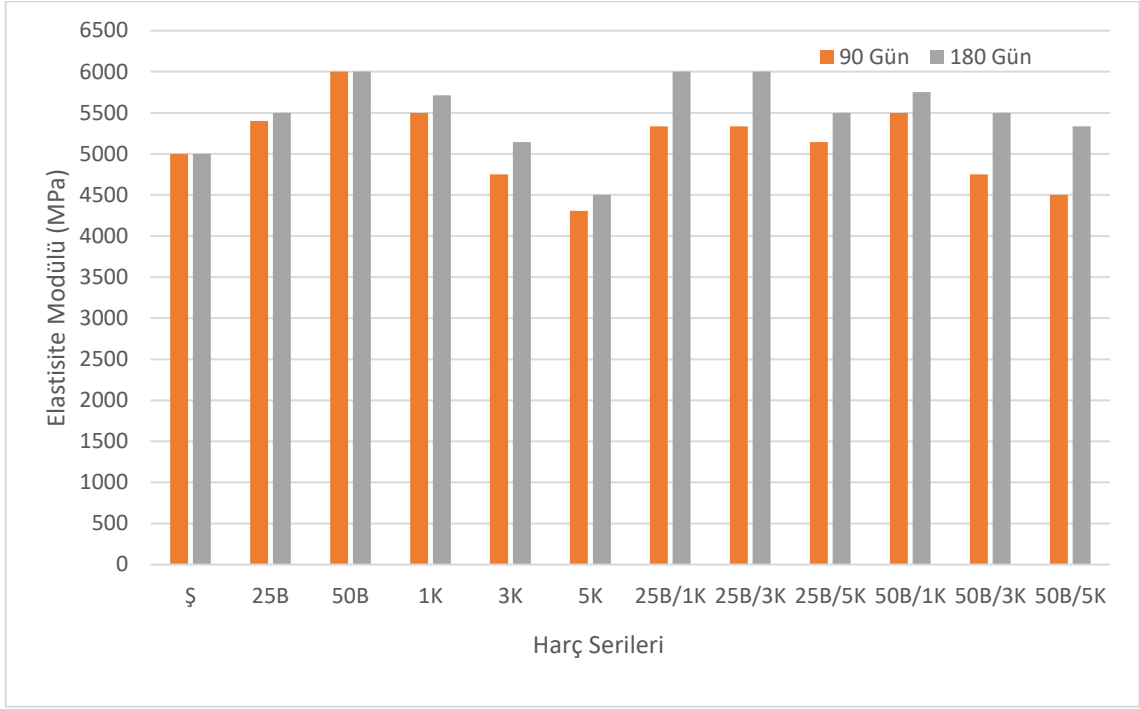
4.2.3. Statik Elastisite Modülü

Elastisite modülü, harçların elastik bölgede deformasyon yapabilme yeteneğini göstermektedir. 90 ve 180 günlük deney numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi ile gerilme-deformasyon eğrileri çıkarılmıştır. Bu eğrilerden faydalanarak elastik bölge içinde gerekli hesaplamalar yapılmış ve statik elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Elde edilen statik elastisite modülü verileri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Elastisite modülü değerleri incelendiğinde, 90 günlük verilerin 4,307 GPa ile 6,0 GPa arasında değiştiği, 180 günlük numunelerde ise 4,500 GPa ile 6,0 GPa arasında değiştiği belirlenmiştir. 90 günlük deneylerde 50B serisi şahit seriyile kıyaslandığında elastisite modülünde %20 artış görülmüşken, en düşük elastisite modülüne sahip 5K serisi şahit serisiyle kıyaslandığında %13,9'luk düşüş göstermiştir. 180 günlük deneylerde 50B, 25B/1K ve 25B/3K serileri en yüksek elastisite modüle sahip olup şahit seri ile kıyaslama yapıldığında %20 artış göstermişler. En düşük elastisite modülüne sahip 5K serisi ise şahit seri ile kıyaslandığında %10'luk düşüş göstermiştir.

Harç serilerinin kür süreleri arttıkça, basınç dayanımda olduğu gibi elastisite değerlerinin de arttığı görülmüştür. Elastisite modülü değerleri atık bakır cüruf oranı ile artarken, karbon lifi oranı ile ters orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Harç serilerine ait elastisite modülü değerleri.

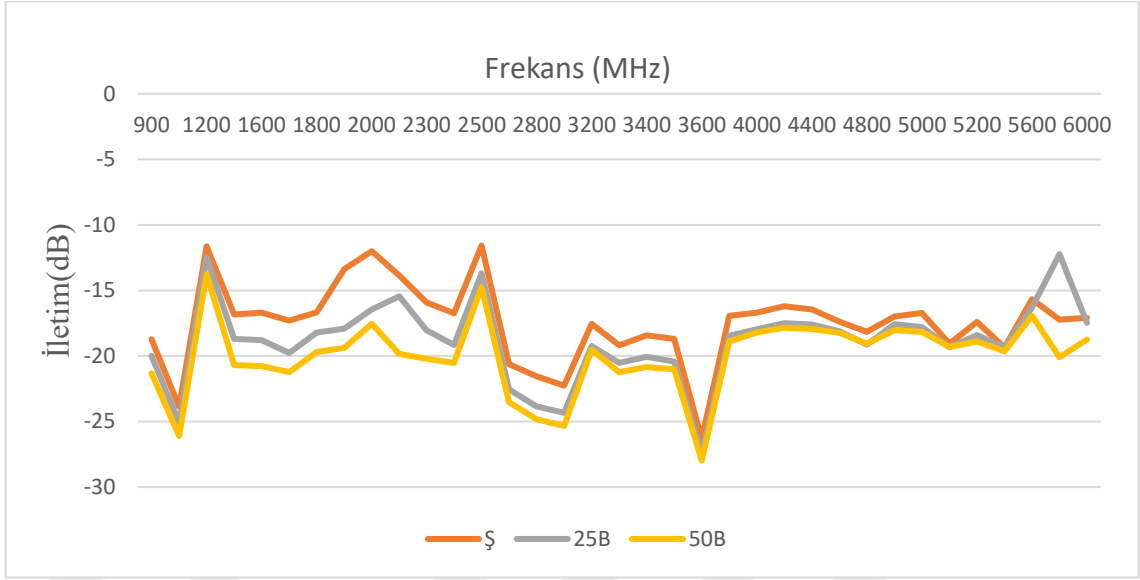


Karbon lifin düşük oranlarda kullanıldığı 1K serisinin, şahit numuneye kıyasla elastisite modülü artmışken, lif oranı arttıkça elastisite modülü azalmıştır. Katkıların ikili kullanıldığı seriler olan 25B/K ve 50B/K serilerinde de benzer bir durum sergilenmiştir. Ancak 25B/K serilerinin 50B/K serilerine göre elastisite değerleri artmıştır. Karbon lif ve bakır cürufunun aynı anda kullanıldığı serilerde, atık bakır cürufunun sabit olup karbon lif oranı değiştirildiğinde şahit numuneye kıyasla karbon lif oranı arttıkça elastisite modülü başta artmakta, daha sonrasında azalma eğiliminde olduğu gözlenmiştir.

4.3. ELEKTROMANYETİK DALGA İLETİMİ

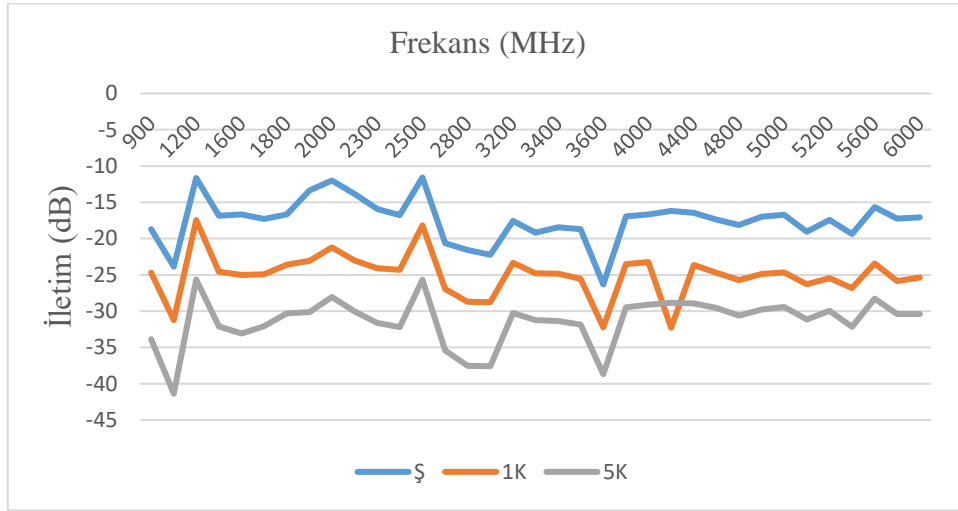
Elektromanyetik kalkanlama mekanizması; radyasyonun yansıtılması veya radyasyonun emilmesi ile bunların dışında kalan ve ara yüzlerde gerçekleşen çoklu yansımayı kapsamaktadır. Kalkanlamanın gerçekleşmesinde metaller önemli bir rol oynamaktadır [102] Çimentolu malzemeler hafif iletkenlerdir, bu sebeple bir çimento matrisinin kullanılması, harçtaki iletken dolgu maddelerinin ve bu maddeler birbirine değmese bile elektriksel olarak bağlanmasına izin vermektedir [103] 56 günlük, 30x30x1 cm boyutlarındaki harç plakalar üzerinde 18 farklı frekans aralığında yapılan EM dalga iletim kayıpları Çizelge 4.7 - Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 25B ve 50B harç serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.



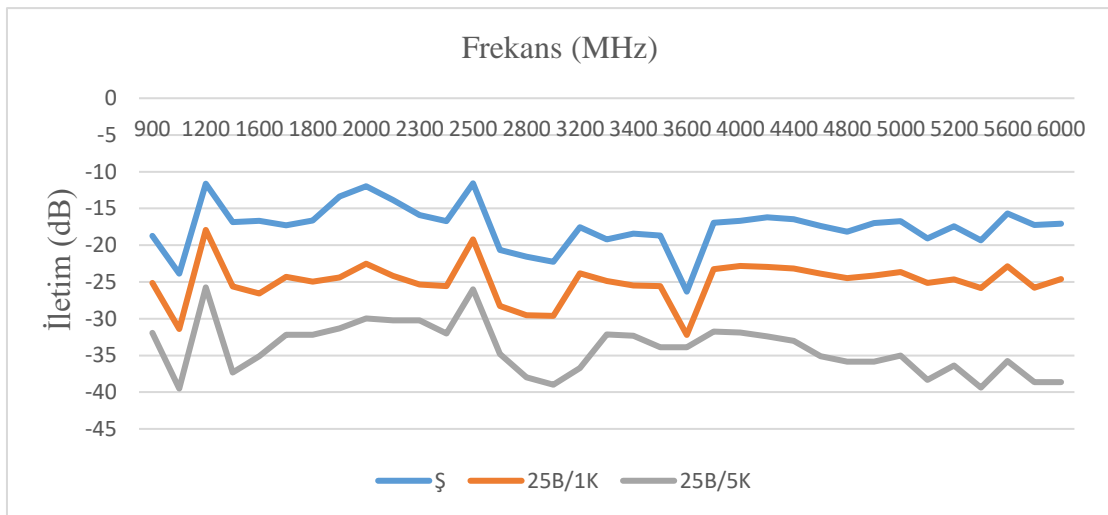
Çizelge 4.7’de 18 farklı frekans aralığında gerçekleştirilen iletim kayıpları verilmiştir. Grafik incelendiğinde, 900 MHz ile 6GHz arasında frekansa sahip elektromanyetik dalga gönderilen numunelerde atık bakır cürufu oranı arttıkça EM dalgada zayıflama görülmektedir. Şahit numunede frekans 900 MHz iken zayıflama -18,72dB olurken, %25 bakır cürufu içeren 25B numunesinde zayıflama -20dB, %50 bakır cürufu içeren 50B numunesinde ise zayıflama -21,31dB olarak ölçülmüştür. Frekans arttırılıp 1200MHz ‘e çıkarıldığında ise şahit numunede zayıflama -18,69 dB, 25B serisinde -20,43 dB, 50B serisinde ise zayıflama -21,02 dB olarak belirlenmiştir. Yüksek frekans aralığında yapılan ölçümlerde de atık bakır cürufunun EM dalga iletim kayıplarının şahit numuneye kıyasla daha etkin olduğu ve yapılan diğer çalışma sonuçlarına benzer durumun ortaya çıktığı görülmüştür [84].

Çizelge 4.8. 1K ve 5K harç serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.



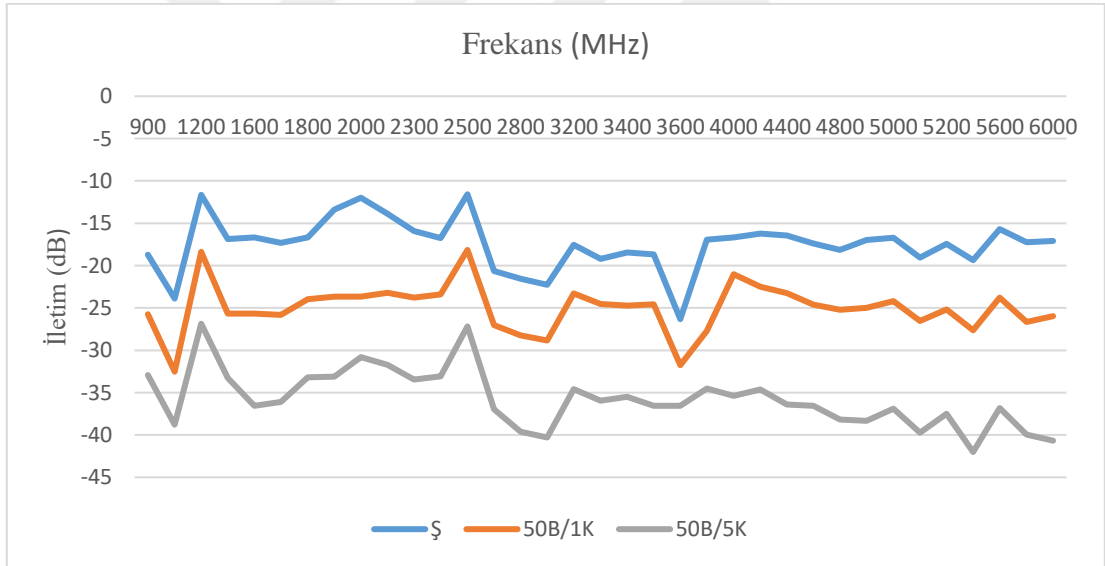
Şahit numune ile sadece karbon liflerin eklendiği serilerin EM dalga iletim değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Atık bakır cürufuna oranla karbon lif ilavesinin EM kalkanlama değerinin arttı görülmüştür. Hemen hemen tüm frekanslarda karbon lif oranıyla iletim kayıplarının arttığı ve düşük frekans aralıklarında ise daha belirgin olduğu görülmüştür. 1K numunesinde 900 MHz de zayıflama -24,71 dB olurken, karbon lif oranı 0,5 olduğunda 5K numunesinde zayıflama -33,86 dB olmuştur. Frekans artırılıp 6 GHz e çıkarıldığında iletim kaybı, şahit numunede -17,08 dB, 1K da -25,35 dB, 5K da ise -30,37 dB olarak ölçülmüştür. En yüksek zayıflama 1GHz frekansta 0,5 oranında karbon lif içeren numunede -41,38 dB olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.9. 25B/K serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.



%25 oranında atık bakır cürufu ile iki farklı oranda karbon lif içeren serilerin EM dalga iletim kaybı değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Düşük frekansta (900MHz) şahit numune de zayıflama -18,72 dB ölçülmüş iken 25B/1K de zayıflama -25,15 dB, 25B/5K da ise zayıflama -31,94 dB ölçülmüştür. Düşük frekans aralığında görülen iletim kayıplarının aynı zamanda yüksek frekanslarda da etkin olduğu görülmüştür. 4GHz üzerindeki iletim değerleri incelenip şahit numune ile karşılaştırıldığında, 25B/1K serisinin %32, 25B/5K serisinin %102 daha iyi kalkanlama gerçekleştirdiği görülmektedir. Karbon liflerin EM dalga kalkanlamadaki etkinliği yapılan çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir. Chiou ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çimento harçlarında kısa karbon elyaf kullanımıyla ortalama 10 dB düzeyinde kalkanlama etkinliği elde etmişlerdir [104].

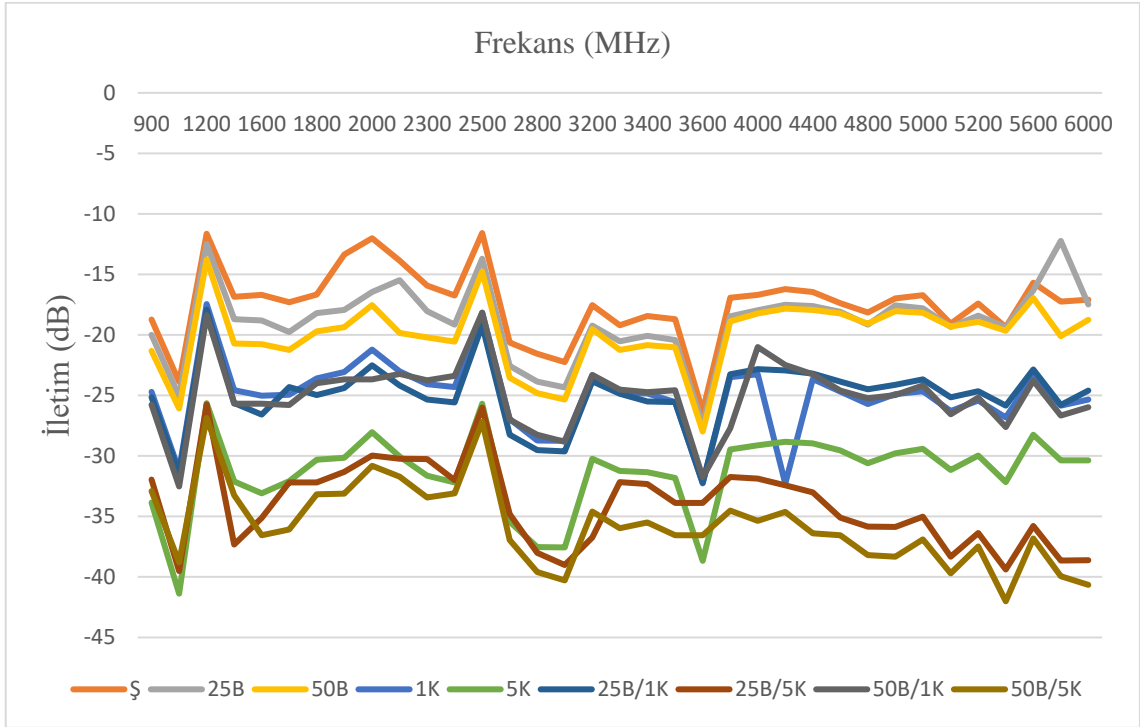
Çizelge 4.10. 50B/K serilerine ait elektromanyetik kalkanlama değerleri.



%50 atık bakır cürufu ile %0,1 ve %0,5 karbon lif içeren serilerin EM dalga iletim değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. %0.1 ve %0.5 oranlarında karbon lif içeren serilerde 900MHz frekansta zayıflama şahit numunede -18,72, 50B/1K serisinde -25,76 dB iken, 50B/5K da ise zayıflama -32,91 dB’dir. 6GHz’lik frekansta ise 50B/1K da zayıflama -25,96 dB iken, 50B/5K da ise zayıflama -40,66 dB’e yükselmiştir. En yüksek kalkanlama 5,4 GHz’lik frekansta 50B/5K numunesinde -42,01 dB olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.10

incelendiğinde neredeyse tüm frekanslarda karbon lifin kalkanlama üzerindeki etkinliği açık bir şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Harç serilerine ait frekans ve iletim kaybı ilişkisi.

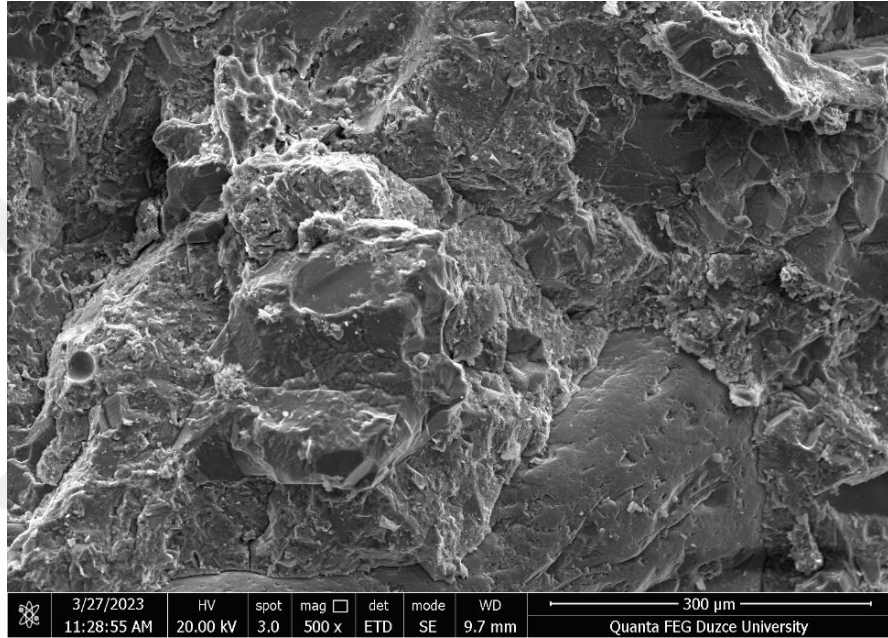


Elektromanyetik kalkanlama ölçümlerinin uygulandığı harç serilerine ait iletim kaybı verileri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında, harç karışımında atık bakır cürufu ve karbon lifin kullanımı ile kalkanlama etkinliğinin arttığı görülmektedir. İletim kayıplarındaki etkinliğin atık bakır cürufuna göre, karbon lif ilavesinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Harç içinde karbon lif oranının artmasıyla kalkanlama etkinliği artmaktadır ve bu durumun yapılan diğer çalışmalarla da tutarlı olduğu belirlenmiştir [105]. Tüm seriler içinde iletim kaybı incelendiğinde, en fazla iletim kaybının %0,5 oranında karbon lif ve %50 oranında bakır cürufu içeren 50B/5K numunesinde olduğu görülmüştür. %50 atık bakır cürufu içeriğinin karbon lif ile birlikte iyi bir kalkanlama sağladığı belirlenmiştir. Bakır cürufunun farklı oranlarda ikame olarak kullanıldığı bir çalışmada da bakır cürufunun yansıtmayı değil özellikle radyasyon absorpsiyon performanslarının artırılması açısından faydalı olduğunu ifade edilmiştir [76].

4.4. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

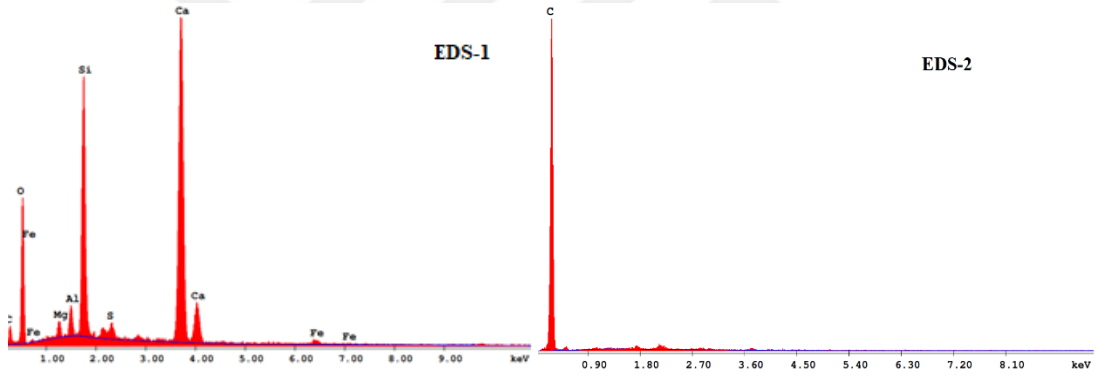
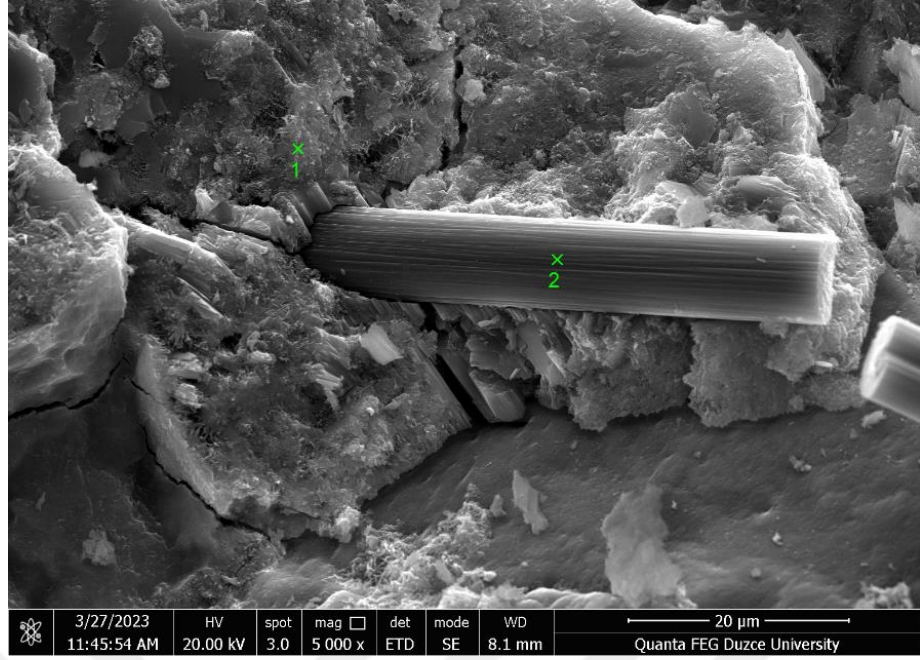
Üretilen on iki harç serisi içinden seçilen bazı seriler için atık karbon cürufu ve karbon lifin hidratlı yapı ile olan ara yüzün incelenmesi amacıyla mikro yapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.1’de şahit numune üzerinde yapılan mikro yapı incelemesinde, agrega etrafında kompakt ve yoğun şekilde bulunan hidratlı yapılar gözlenmiştir. Oluşan bu hidratlı kompakt yapı sebebiyle, harçlarda yüksek mekanik özellikler elde edildiği tespit edilmiştir.



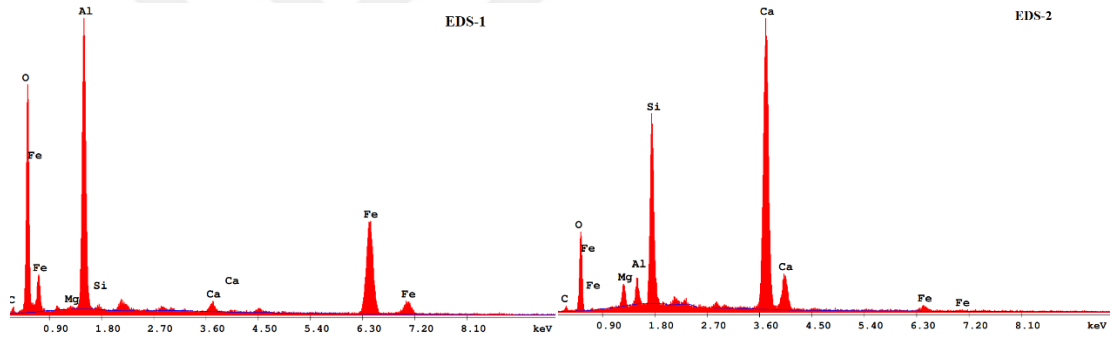
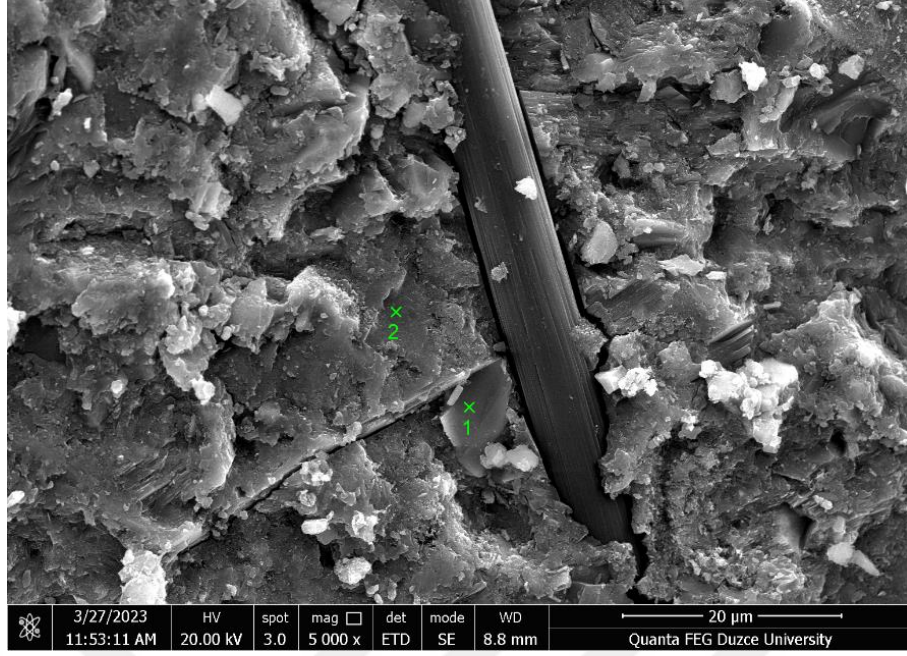
Şekil 4.1. Şahit numuneye ait x500 büyütme SEM görüntüsü.

Şekil 4.2’de 5K serisine ait SEM görüntüsü ve iki noktadan alınmış mikro kimyasal analiz (EDS) görüntüleri verilmiştir. %0,5 karbon lif ile çimento ve kumdan oluşan bu seride, çapları 7-8 mikron olan karbon lif taneleri görünmektedir. 1 nolu EDS analizinde, çimentodan kaynaklı hidratlı kalsiyum silika hidratlı yapılar ve 2 nolu EDS analizinde ise sadece karbon piki görülmüştür. SEM görüntüsü incelendiğinde, çimento matrisinin karbon lifle olan bağının olduğu ve liflerin matris içinde topaklanmadan dağıldığı görülmektedir. Yapılan EDS analizine göre karbon lif etrafında hidratlı yapı oluşumu görülmüştür.



Şekil 4.2. 5K serisine ait x5000 SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Şekil 4.3'te %50 atık bakır cürufu ile %0,5 karbon lif içeren 50B/5K serisine ait SEM görüntüsü ve iki adet EDS analizi verilmiştir. Harç matrisinde atık bakır cürufularının düzenli dağıldığı ve hidratlı yapılar ile herhangi bir ara yüz ayrışmasının olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.3. 50B/5K serisine ait x5000 SEM görüntüsü ve EDS analizi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atık bakır cürufu ve karbon lifinin harçlara ilave edilmesiyle üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler, harçların mekanik, fiziksel, elektromanyetik iletim ve mikro yapı özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmaktadır:

5.1. SONUÇLAR

- Atık bakır cürufu katkılı harç serilerinin birim hacim ağırlığında artış olurken karbon lif katkılı harç serilerinin birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlenmiştir. Serilerdeki bu artış ve azalışın nedeni bakır cürufunun daha yoğun olması ve karbon lif yoğunluğunun nispeten düşük olmasıyla açıklanabilir. Bakır cürufu ve karbon lifin aynı anda katıldığı serilere bakıldığında; bakır cürufu sabit iken karbon lif oranı arttırıldığında birim hacim ağırlığında düşüş gözlenmiştir.
- Harç serilerine sadece atık bakır cürufu eklendiğinde, cüruf oranının artışıyla kütlece su emme oranında düşüş olurken; sadece karbon lif eklenen serilere de karbon lif oranının artışıyla kütlece su emme oranında artış gözlenmiştir. Buna paralel olarak hem bakır cürufu hem karbon lif eklenen serilerde, bakır cürufu sabit tutulup karbon lif oranı arttırıldığında aynı şekilde kütlece su emme miktarında artış gözlenmiştir.
- Hacimce su emme miktarı bakır cürufu oranının artışıyla azalırken karbon lif oranı arttırıldığında ise artış göstermiştir. Bakır cürufu ve karbon lifin aynı anda katıldığı serilerde bakır cürufu oranı sabit tutulup karbon lif oranı arttırıldığında hacimce su emme yüzdesi artış göstermiştir.
- Tüm seriler incelendiğinde, atık bakır cürufu ve karbon lifinin artışıyla serilerdeki eğilimde çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Basınç dayanımı ise sadece bakır cüruf eklenen serilerde artış göstermiştir. Bakır cürufunu dayanımının bu sonuç üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Sadece karbon lif eklenen serilerde basınç dayanımı şahit numuneye kıyasla azalma göstermiştir. Karbon lifin harç

içerinde oluşturduğu boşluğun basınç azalmasına neden olduğu söylenebilir. Karbon lif ve atık bakır cürufu bir arada kullanıldığında bakır cürufu artışı basınç dayanımında artış sağlarken, cüruf oranı sabit tutulup karbon lif oranı arttırıldığında basınç dayanımında düşüşe neden olmuştur.

- Statik elastisite değeri atık bakır cürufu oranının artmasıyla artarken, karbon lif oranının artmasıyla azalmıştır.
- Tüm katkı oranlarında iletim düşüş göstermiş ve şahit numuneye kıyasla kalkanlamaya sağlanmıştır. Bakır cürufu oranının artışı iletim değerini düşürmüş, elektromanyetik kalkanlamaya olumlu katkı sağlamıştır.
- Karbon lif oranının artışı, iletim değerini görünür derecede düşürmüş ve elektromanyetik kalkanlamaya katkı sağlamıştır.
- %25 bakır cürufu eklenen serilerin bakır cüruf oranı sabit tutularak karbon lif eklendiğinde, lifin %0,1 oranında eklenmesi iletimi düşürerek kalkanlama sağlamıştır. Lif oranı %0,5'e çıkarıldığında iletim değerleri, %0,1 oranında karbon lif içeren serilere kıyasla daha fazla düşüş göstererek daha iyi kalkanlama sağlamıştır.
- Bakır cürufu katkı oranı %50'de sabit tutularak karbon lif eklendiğinde; lif oranı %0,1 iken iletim değerleri düşmüş ve elektromanyetik kalkanlama artmıştır. Lif oranı %50'ye çıkarıldığında iletim daha da düşerek tüm katkı oranlarına kıyasla en fazla kalkanlama (-42,01 dB) sağlamıştır.

5.2. ÖNERİLER

- Sürdürülebilirliğe sağlayacağı katkı göz önüne alındığında atık bakır cürufunun, geniş alana sahip inşaat sektöründe değerlendirilmesi çevreye yarar sağlayacaktır.
- Bakır cürufunun yoğun yapısından dolayı ağır kütleli betonlarda katkı malzemesi olarak agrega yerine değerlendirilebilir.
- Karbon lif katkılı harcın elektromanyetik kalkanlama sağlaması ve eğilmeye karşı direnç göstermesi yapıda sıva olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Örneğin yoğun bir şekilde EMA'ya maruz kalınan bir yapıda karbon lif katkılı duvar harcı, izolasyon açısından yarar sağlayabilir.

- Bakır cürufunun elektromanyetik kalkanlama özelliği göz önünde bulundurulduğunda hastanede MR cihazlarının bulunduğu odaların duvar harcındaki agrega yerine bir alternatif olabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] R. Yılmaz, “Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler”, May. 2014. Erişim: 05 Temmuz 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: rana.y@mynet.com
- [2] M. E. Ocaktan ve R. Akdur, “Cep Telefonu Teknolojisi ve Sağlık”, *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, c. 28, sy 1, ss. 58-65, 2008.
- [3] G. Kılıç, H. G. Örtlek, ve Ö. G. Saraçoğlu, “Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri”, *The Journal of Textiles and Engineers*, 2014.
- [4] G. N. Vizi ve G. A. E. Vandenbosch, “Building materials and electromagnetic radiation: The role of material and shape”, *Journal of Building Engineering*, c. 5, ss. 96-103, Mar. 2016, doi: 10.1016/J.JOBE.2015.11.010.
- [5] T. Karadağ, A. R. Özdemir ve T. Abbasov, “Longterm Electromagnetic Field Measurements and Pollution Maps in a University Campus”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, c. 20, sy 8, ss. 314-318, 2014, doi: 10.5505/pajes.2014.78941.
- [6] D. Belpomme, L. Hardell, I. Belyaev, E. Burgio, ve D. O. Carpenter, “Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective”, *Environmental Pollution*, c. 242, ss. 643-658, Kas. 2018, doi: 10.1016/J.ENVPOL.2018.07.019.
- [7] M. Duman ve H. Sak, “Çocuk Oyun Alanları ve Alışveriş Merkezlerindeki Elektromanyetik Radyasyonun Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri”, Düzce, Kas. 2021. Erişim: 05 Temmuz 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/359039765>
- [8] M. Hayat, “Zeolitik Tüf İçerikli Jeopolimer Kaplama Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Karabük, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, 2022
- [9] Yıldız, İ., “Elazığ Ferrookrom Cürufunun Beton Parke Taşı Ve Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora, 2013
- [10] Beycioğlu, A., Başyigit, C. ve Subaşı, S., 2008. Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması. *Çevre*

ve Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, ss.1386-1394.

- [11] Türk, T., 2016. Merkezi kompozit tasarımı kullanılarak bakır cürufundan arsenik liçinin incelenmesi. *Yerbilimleri*, 37(3), ss.193-202.
- [12] Kızıllıgın, B., “Çelik ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi”, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009
- [13] Yaren, H. ve Karayılanoğlu, T., 2005. Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4(4), ss.199-208.
- [14] Özavcı, S., “Farklı Katkılanmış Betonların Radyasyon Zırhlama Üzerine Etkileri”, Amasya, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans 2017
- [15] A. Türkkın ve K. Pala, “Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 14, 2009.
- [16] M. Doğruluk, A. Doğan, N. Kalkan ve M. Korkmaz, “Nükleer Tehlikeler ve Afet Yönetimi: Türkiye’de Durum Değerlendirmesi”, *Journal of Disaster and Risk*, c. 1, sy 2, ss. 137-153, 2018.
- [17] K. H. Mild, R. Lundström, ve J. Wilén, “Non-ionizing radiation in swedish health care—exposure and safety aspects”, *Int J Environ Res Public Health*, c. 16, sy 7, Nis. 2019, doi: 10.3390/ijerph16071186.
- [18] Gökharman, D.F., Aydın, S. ve Koşar, P.N., 2016. Radyasyon güvenliğinde mesleki olarak bilmemiz gerekenler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(2), ss.35-40.
- [19] F. Yağmur, A. Bozbıyık, ve İ. H. Hancı, “Elektromanyetik Dalgaların İnsan Biyokimyası Üzerine Etkileri”, c. 12, sy 8, ss. 296-297, 2003, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.cnn.
- [20] S. Dönmez, “Radiation Detection and Measurement”, *Nuclear Medicine Seminars*, c. 3, sy 3, ss. 172-177, Ara. 2017, doi: 10.4274/nts.2017.018.
- [21] K. H. Mild, R. Lundström, ve J. Wilén, “Non-ionizing radiation in swedish health care—exposure and safety aspects”, *Int J Environ Res Public Health*, c. 16, sy 7, Nis. 2019, doi: 10.3390/ijerph16071186.
- [22] I. Calvente, M. F. Fernandez, J. Villalba, N. Olea, ve M. I. Nuñez, “Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review”, *Science of The Total Environment*, c. 408, sy 16, ss. 3062-3069, Tem. 2010, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2010.03.039.

- [23] B. Bisht *vd.*, “Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables– a review”, *Trends in Food Science and Technology*, c. 114. Elsevier Ltd, ss. 372-385, 01 Ağustos 2021. doi: 10.1016/j.tifs.2021.06.002.
- [24] S. Özen Akbulut, *Fizik-II Deneyleri Deney Kılavuzu (Elektrik ve Manyetizma), Ders Notlar*, Bursa, 2019.
- [25] S. Geetha, K. K. S. Kumar, C. R. K. Rao, M. Vijayan, ve D. C. Trivedi, “EMI shielding: Methods and materials- A review”, *J Appl Polym Sci*, c. 112, sy 4, ss. 2073-2086, May. 2009, doi: 10.1002/app.29812
- [26] Şensever, Y., “Lifle Güçlendirilmiş Alkalilerle Aktive Edilen Yüksek Fırın Cürüflu Harçların Elektromanyetik Özelliklerinin ve Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Davranışının Belirlenmesi”, Eskişehir, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Yüksek Lisans, 2021
- [27] R. M. Novais *vd.*, “Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material”, *Constr Build Mater*, c. 229, Ara. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116930.
- [28] S. Banik, S. Bandyopadhyay, ve S. Ganguly, “Bioeffects of microwave—a brief review”, *Bioresour Technol*, c. 87, sy 2, ss. 155-159, Nis. 2003, doi: 10.1016/S0960-8524(02)00169-4.
- [29] J.-H. Oh, K.-S. Oh, C.-G. Kim ve C.-S. Hong, “Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges”, *Compos B Eng*, c. 35, sy 1, ss. 49-56, Oca. 2004, doi: 10.1016/j.compositesb.2003.08.011.
- [30] Dursun, B., “Çeşitli Malzemelerin Yüksek Frekans Soğurma, Geçirgenlik ve Yansıtma Özelliklerinin İncelenmesi”, Bursa, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020
- [31] T. T. Liu, M. Q. Cao, Y. S. Fang, Y. H. Zhu ve M. S. Cao, “Green building materials lit up by electromagnetic absorption function: A review”, *J Mater Sci Technol*, c. 112, ss. 329-344, Haz. 2022, doi: 10.1016/j.jmst.2021.10.022.
- [32] H. Guan, S. Liu, Y. Duan ve J. Cheng, “Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials”, *Cem Concr Compos*, c. 28, sy 5, ss. 468-474, May. 2006, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2005.12.004.
- [33] Y. Dai, M. Sun, C. Liu, ve Z. Li, “Electromagnetic wave absorbing characteristics of carbon black cement-based composites”, *Cem Concr Compos*, c. 32, sy 7, ss.

- 508-513, Ağu. 2010, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.03.009.
- [34] A. K. Singh, A. Shishkin, T. Koppel, ve N. Gupta, “A review of porous lightweight composite materials for electromagnetic interference shielding”, 2018. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- [35] A. Palomo, M. T. Blanco-Varela, S. Martinez-Ramirez, F. Puertas, ve C. Fortes, “Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research”.
- [36] Aktürk, B., “Yapı Harçlarında Genleştirilmiş Cam Agregası Kullanımının Araştırılması”, Düzce, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019
- [37] Y., Babadağ, “Kimyasal Katkıların Sıva Harçları Üzerindeki Etkileri”, İstanbul, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009
- [38] Teknik Notlar, “Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi: Beton”, 2019.
- [39] TC. Millî Eğitim Bakanlığı, “İnşaat Teknolojisi Alanı: Tesviye Betonu ve Şap”, Ankara, 2012.
- [40] İ. KILIÇ, “Horasan Harcında Yumurta Akı Kullanımının İncelenmesi”, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, sy 1, ss. 122-134, Haz. 2021, doi: 10.34186/klujes.882789.
- [41] Gökçen, G., “Horasan harcında farklı tür ve oranlarda agrega kullanımının harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, Kırklareli, Kırıkkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2021
- [42] Mavioğlu, Ü. A., “Farklı Puzolanik Katkılar ile Hazırlanan Horasan Harçlarının Değişen Parametrelerinin İncelenmesi”, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [43] S. Aktan ve B. Doran, “Hava Kireci Harcı Kullanılarak Üretilen Tarihi Yığma Duvarlarda Bünyesel Modelleme”, *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, c. 19, sy 56, ss. 314-329, Oca. 2017, doi: 10.21205/deufmd.2017195635.
- [44] T. Uğur ve A. Güleç, “Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri”, *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, c. 14, ss. 77-91, 2014.
- [45] F. F. Uysal ve S. Bahar, “Cüruf Çeşitleri ve Kullanım Alanları”, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, c. 19, sy 1, ss. 37-52, 2018, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/tujes>

- [46] A. Demir Delil, D. Yıldırım ve N. Köleli, “Çelikhane Cürufundan ve Tufalından Bitki Besin Elementlerinin Geri Kazanımı ve Bu Elementlerin Bitki Büyümesine Etkisi”, *Akademik Platform*, ss. 01-07, Oca. 2017, doi: 10.21541/apjes.283725.
- [47] L. Bostancı, “Atık Cam Tozu İçeren Alkali – Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Mekanik, Por Yapısı, Termal Yalıtkanlık ve Mikro Yapı Özellikleri”, *Journal of Polytechnic*, Mar. 2020, doi: 10.2339/politeknik.714390.
- [48] A. V. Beşe, “Bakır Cüruflarından Metallerin Kazanılması”, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, sy 1, ss. 140-149, 2017.
- [49] B. Mesci, “Bakır Endüstrisi Flotasyon Atıkları ve Zeolitlerin Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Samsun, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora, 2007.
- [50] B. Gorai, R. K. Jana, ve Premchand, “Characteristics and utilisation of copper slag—a review”, *Resour Conserv Recycl*, c. 39, sy 4, ss. 299-313, Kas. 2003, doi: 10.1016/S0921-3449(02)00171-4.
- [51] C. Shi, C. Meyer ve A. Behnood, “Utilization of copper slag in cement and concrete”, *Resour Conserv Recycl*, c. 52, sy 10, ss. 1115-1120, Ağu. 2008, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2008.06.008.
- [52] Mohammed Najı Ahmed Abu Aeshah, “Bakır endüstrisi atıkları ve bazalt lifinin çimento esaslı kompozitlerde kullanımının araştırılması”, Kastamonu, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [53] Y. Liu ve S. Kumar, “Recent progress in fabrication, structure, and properties of carbon fibers”, *Polymer Reviews*, c. 52, sy 3-4. *Polymer Reviews*, ss. 234-258, 01 Temmuz 2012. doi: 10.1080/15583724.2012.705410.
- [54] B. A. Newcomb, “Processing, structure, and properties of carbon fibers”, *Compos Part A Appl Sci Manuf*, c. 91, ss. 262-282, Ara. 2016, doi: 10.1016/J.COMPOSITESA.2016.10.018.
- [55] A. Gül, “Selüloz Esaslı Karbon Lif Üretiminde Isıl Kararlılık ve Karbonizasyon Aşamalarının Yerine Getirilmesi”, Kayseri, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [56] N. Yaman, T. Öktem ve N. Seventekin, “Karbon Liflerinin Üretimi”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, ss. 164-173, Mar. 2006.
- [57] X. Huang, “Fabrication and properties of carbon fibers”, *Materials*, c. 2, sy 4. ss. 2369-2403, 2009. doi: 10.3390/ma2042369.
- [58] MINUS, M., & Kumar, S. The processing, properties, and structure of carbon

- fibers.*Jom*,57, 52-58, 2005.
- [59] K. Fares, “Karbon Lif Takviyeli Polimer (Cfrp) Levhalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Kesme Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi”, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [60] K. S. Al-Jabri, A. H. Al-Saidy, ve R. Taha, “Effect of copper slag as a fine aggregate on the properties of cement mortars and concrete”, *Constr Build Mater*, c. 25, sy 2, ss. 933-938, Şub. 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.090.
- [61] W. Wu, W. Zhang ve G. Ma, “Optimum content of copper slag as a fine aggregate in high strength concrete”, *Mater Des*, c. 31, sy 6, ss. 2878-2883, Haz. 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2009.12.037.
- [62] R. Wang, Q. Shi, Y. Li, Z. Cao, ve Z. Si, “A critical review on the use of copper slag (CS) as a substitute constituent in concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 292. Elsevier Ltd, 19 Temmuz 2021. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123371.
- [63] N. Gupta ve R. Siddique, “Strength and micro-structural properties of self-compacting concrete incorporating copper slag”, *Constr Build Mater*, c. 224, ss. 894-908, Kas. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.105.
- [64] K. S. Al-Jabri, R. A. Taha, A. Al-Hashmi, ve A. S. Al-Harthy, “Effect of copper slag and cement by-pass dust addition on mechanical properties of concrete”, *Constr Build Mater*, c. 20, sy 5, ss. 322-331, Haz. 2006, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.01.020.
- [65] W. A. Moura, J. P. Gonçalves, ve M. B. L. Lima, “Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete”, *J Mater Sci*, c. 42, sy 7, ss. 2226-2230, Nis. 2007, doi: 10.1007/s10853-006-0997-4.
- [66] A. M. Arino ve B. Mobasher, “Effect of Ground Copper Slag on Strength and Toughness of Cementitious Mixes”, *ACI Mater J*, Oca. 1999.
- [67] A. Salvador Nazer, O. Pavez, ve F. Rojas, “Use of copper slag in cement mortar: Uso de escória de cobre na fabricação de argamassas de cimento”, *Metallurgy And Materials*, c. 65, sy 1, ss. 87-91, Oca. 2012.
- [68] A. R. Boğa, “Effect of Using Carbon Fiber and Steel Slag on Mechanical and Electrical Conductivity Properties of Mortars”, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, c. 17, sy 3, ss. 1066-1075, Ara. 2017, doi: 10.5578/fmbd.66301.
- [69] B. Dündar, E. Çınar ve S. Peşin, “Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların

- Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Eyl. 2020, doi: 10.17714/gumusfenbil.700956.
- [70] W. Song ve J. Yin, “Hybrid effect evaluation of steel fiber and carbon fiber on the performance of the fiber reinforced concrete”, *Materials*, c. 9, sy 8, Ağu. 2016, doi: 10.3390/ma9080704.
- [71] M. Öztürk, “Yeni Nesil Yapılar İçin Elektromanyetik Dalga Soğurma Özelliği Kazandırılmış Çimento Esaslı Kompozitlerin Geliştirilmesi”, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2021.
- [72] Demirel, B., ve Yazıcıoğlu, S., Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 103-109. 2007.
- [73] A. Topsakal ve C. Özel, “Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, c. 5, sy 1, ss. 107-116, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.dergipark.gov.tr
- [74] DEMİREL, B., & GÖNEN, T., Karbon fiber takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapillariteye etkisi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 12-15. 2007.
- [75] S. Lee vd., “Electromagnetic wave shielding properties of amorphous metallic fiber-reinforced high-strength concrete using waveguides”, *Materials*, c. 14, sy 22, Kas. 2021, doi: 10.3390/ma14227052.
- [76] Z. Wang, T. Zhang ve L. Zhou, “Investigation on electromagnetic and microwave absorption properties of copper slag-filled cement mortar”, *Cem Concr Compos*, c. 74, ss. 174-181, Kas. 2016, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.10.003.
- [77] B. Li, Z. Ji, S. Xie, J. Wang, J. Zhou ve L. Zhu, “Electromagnetic wave absorption properties of carbon black/cement-based composites filled with porous glass pellets”, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, c. 30, sy 13, ss. 12416-12425, Tem. 2019, doi: 10.1007/s10854-019-01600-w.
- [78] X. Lv, Y. Duan ve G. Chen, “Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with graphene nano-platelets and hollow glass microspheres”, *Constr Build Mater*, c. 162, ss. 280-285, Şub. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.047.
- [79] D. Wang, S. Ding, L. Li, ve B. Han, “Electromagnetic properties of multi-layer graphenes filled cementitious composites”, *Mater Res Express*, c. 6, sy 4, s. 045046, Oca. 2019, doi: 10.1088/2053-1591/aafc3d.

- [80] M. S. Cao, W. L. Song, Z. L. Hou, B. Wen ve J. Yuan, “The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites”, *Carbon N Y*, c. 48, sy 3, ss. 788-796, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.carbon.2009.10.028.
- [81] I. W. Nam, H. K. Kim ve H. K. Lee, “Influence of silica fume additions on electromagnetic interference shielding effectiveness of multi-walled carbon nanotube/cement composites”, *Constr Build Mater*, c. 30, ss. 480-487, May. 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.025.
- [82] Z. Liu, H. Ge, J. Wu, ve J. Chen, “Enhanced electromagnetic interference shielding of carbon fiber/cement composites by adding ferroferric oxide nanoparticles”, *Constr Build Mater*, c. 151, ss. 575-581, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.017.
- [83] G. Ma, J. Sun, L. Wang, F. Aslani, ve M. Liu, “Electromagnetic and microwave absorbing properties of cementitious composite for 3D printing containing waste copper solids”, *Cem Concr Compos*, c. 94, ss. 215-225, Kas. 2018, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.09.005.
- [84] Y. Fan, B. Zhang, J. Song, V. Volski, G. A. E. Vandebosch, ve M. Guo, “An Innovated Application of Reutilize Copper Smelter Slag for Cement-based Electromagnetic Interference Composites”, *Sci Rep*, c. 8, sy 1, Ara. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-34680-5.
- [85] S. A. Rahmani, “Kırma Cam ve Boraks Bileşenlerinin Alkali Aktive Edilmiş Lifli Kompozitlerde Elektromanyetik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, Karabük, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2022.
- [86] S. Receptoğlu, B. Dursun, İ. Tekin ve M. B. Tabakçioğlu, “Çeşitli Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Verimlilikleri”, URSI-TÜRKİYE X. Bilimsel Kongresi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli 2021.
- [87] M. Altun, İ. Karteri, M. Güneş ve M. H. Alma, “Grafen Katkılı Odun-Plastik Nanokompozitlerinin Elektromanyetik Özellikleri ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Karşılaştırmalı Çalışması”, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, sy 1, ss. 38-47, 2017.
- [88] Dost Kimya, “Kırılmış Karbon Elyaf”, *DOSTFİBER-C*, 01 Ocak 2020. www.dostkimya.com (erişim 06 Temmuz 2023).
- [89] M. Doğan, A. Bideci, B. Çomak, Ö. Salli Bideci ve E. Besli, “Stiren-Bütadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve*

- Teknoloji Dergisi*, c. 4, sy 1, ss. 67-76, 2016.
- [90] CEM II/A-M (S-L) 42.5R, “Ürün Analiz Raporu”, Bolu, Ara. 2022.
- [91] TC. Düzce Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü, “Düzce Su Kalitesi Raporu”, *Düzce Belediyesi Website*, Temmuz 2019. <https://duzce.bel.tr/61-su-analiz-raporlari> (erişim 06 Temmuz 2023).
- [92] Beton- Taze beton deneyleri, “Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12350-5*, 2001.
- [93] Kagir Harcı- Deney Metodları, “Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1015-10*, 2001.
- [94] “Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri”, *Türk Standartları Enstitüsü, TS 699*, 26 Mart 2009.
- [95] Çimento Deney Metodları, “Bölüm 1: Dayanım tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 196-1*, 2016.
- [96] M. Emiroğlu, S. Yıldız ve E. Özgan, “Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, sy 3, ss. 469-476, Tem. 2009.
- [97] A. V. Özden, “Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma”, Tekirdağ, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [98] B. Aydemir, “Çekme Deneyinde Elastisite Modülü Hesap Yöntemleri ve Hata Kaynakları”, Nis. 2019. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/335082798>
- [99] V. Chakrawarthy vd., “Destructive and Non-Destructive Testing of the Performance of Copper Slag Fiber-Reinforced Concrete”, *Materials*, c. 15, sy 13, Tem. 2022, doi: 10.3390/ma15134536.
- [100] D. Wanasinghe, F. Aslani, ve G. Ma, “Electromagnetic shielding properties of carbon fibre reinforced cementitious composites”, *Constr Build Mater*, c. 260, Kas. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120439.
- [101] S. Yıldız, “Dökme Demir Cürufunun Harç İçinde Mineral Katkı Olarak Kullanımının Araştırılması”, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [102] D. D. L. Chung, “Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials”, *Carbon N Y*, c. 39, ss. 279-285, 2001.
- [103] X. Fu ve D. D. L. Chung, “Submicron-diameter-carbon-filament cement-matrix

composites”, *Carbon N Y*, c. 36, sy 4, ss. 459-462, Oca. 1998, doi: 10.1016/S0008-6223(98)90017-3.

- [104] J. M. Chiou, Q. Zheng ve D. D. L. Chung, “Electromagnetic interference shielding by carbon fibre reinforced cement”, *Composites*, c. 20, sy 4, ss. 379-381, Tem. 1989, doi: 10.1016/0010-4361(89)90663-0.
- [105] X. Zhang ve W. Sun, “Electromagnetic shielding and absorption properties of fiber reinforced cementitious composites”, *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, c. 27, sy 1, ss. 172-176, Şub. 2012, doi: 10.1007/s11595-012-0430-6.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hilal Demirtaş

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Müh.	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	İnşaat Müh.	Adıyaman Üniversitesi	2020
Lise		Muş Fen Lisesi	2014

YAYINLAR

Demirtaş H., Dayı M., (2023). Yapı Malzemelerinde Elektromanyetik Kalkanlamann İncelenmesi, The 4 th International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2023 (IEACES2023).