

Murat ÖZTÜRK



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOKTORA  
TEZİ**

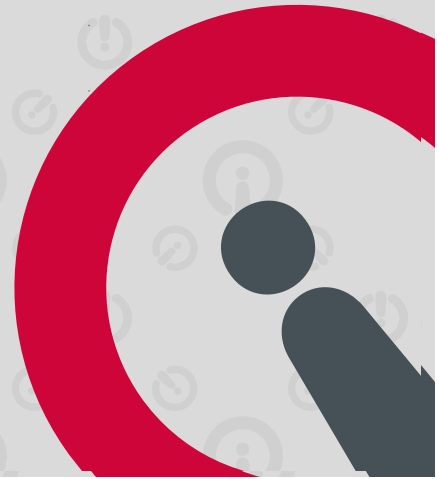
**YENİ NESİL YAPILAR  
İÇİN ELEKTROMANYETİK DALGA  
SOĞURMA ÖZELLİĞİ  
KAZANDIRILMIŞ ÇİMENTO ESASLI  
KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Murat ÖZTÜRK**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

OCAK 2021

OCAK 2021





**YENİ NESİL YAPILAR İÇİN ELEKTROMANYETİK DALGA SOĞURMA  
ÖZELLİĞİ KAZANDIRILMIŞ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Murat ÖZTÜRK**

**DOKTORA TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2021**

Murat ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “YENİ NESİL YAPILAR İÇİN ELEKTROMANYETİK DALGA SOĞURMA ÖZELLİĞİ KAZANDIRILMIŞ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof Dr. Cahit BİLİM

Yapı Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Prof Dr. Fatih ÖZKAN

Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 22/01/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# YENİ NESİL YAPILAR İÇİN ELEKTROMANYETİK DALGA SOĞURMA ÖZELLİĞİ KAZANDIRILMIŞ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Murat ÖZTÜRK

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

## ÖZET

Tez çalışmasında demir-çelik ve alüminyum fabrikaları atıkları-yan ürünleri, atık tekerlek lastiği ve nikel kaplamalı-kaplamasız karbon lifler çimento esaslı kompozitler içerisine katılarak bu kompozitlere elektromanyetik dalga zayıflatma becerileri kazandırılması hedeflenmiştir. Harç numuneler üzerinde mekanik testler yapılırken bütün kompozitlere EM testler uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, elektrik ark ocağı cürufu içeren harçlarda en iyi mekanik özellikler %40 elektrik ark ocağı cürufu içeren numunelerde görülmüştür. Elektromanyetik dalga zayıflatmada ise kompozit içerisinde elektrik ark ocağı cürufu arttıkça artış gözlemlenmiştir. Tufal içeren harçlarda %15 içerikli olanlar en iyi mekanik performansı sağlamıştır. Elektromanyetik dalga zayıflatma ise tufal kullanım oranı arttıkça artmıştır (iki farklı tufal kullanılmıştır, manyetit özelliklere sahip tufalin hematit yapıda olandan elektromanyetik dalga zayıflatmada daha üstün olduğu görülmüştür). Atık tekerlek lastiği içeren harçlarda lastik miktarı arttıkça dayanım değerlerinde azalma gözlenip bu azalma manyetit özellikli tufal kullanarak sınırlandırılmıştır. Ayrıca tufal ile beraber atık tekerlek lastiği kullanıldığında kompozitteki lastik miktarı arttıkça elektromanyetik dalga zayıflatmanın da arttığı tespit edilmiştir. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi puzolanlar içeren harçlarda en iyi mukavemet değeri için gerekli katkılama oranı tespit edilmiştir. Bu katkı malzemelerinin kimyasal yapılarında bulunan demir ve alüminyum iyonlarından dolayı kullanıldıkları kompozitlere elektromanyetik dalga zayıflatma yeteneği kazandırdıkları görülmüştür. Kırmızı çamur içeren harçlarda, kırmızı çamurun dayanımı bir miktar düşürmesine karşın bu değerler tolere edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Kırmızı çamur içerisindeki demir ve alüminyum bileşiklerinden dolayı kullanıldıkları kompozite elektromanyetik dalga zayıflatma yeteneği kazandırdıkları tespit edilmiştir. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içerikli çimento pastalarında nikel kaplamalı karbon liflerin kaplamasız liflere göre elektromanyetik dalga zayıflatmada daha üstün olduğu fakat her iki lifi içeren kompozitlerin elektromanyetik dalga zayıflatmada üstün özellikler sergilediği gözlemlenmiştir.

Bu tez, elektromanyetik dalgaların kontrol altında tutulabilmesi için gerekli malzeme bilgisi açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler : Çimento, atık, elektromanyetik, kalkanlama, soğurma,

Sayfa Adedi : 126

Danışman : Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM



DEVELOPMENT OF CEMENT BASED COMPOSITES WITH ELECTROMAGNETIC  
WAVE ABSORPTION FOR NEW GENERATION STRUCTURES

(Ph. D. Thesis)

Murat ÖZTÜRK

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2021

ABSTRACT

In the thesis study, it is aimed to give cement-based composites electromagnetic wave attenuation capability by adding iron-steel and aluminum factory wastes-by-products, waste tires and nickel-coated-uncoated carbon fibers into these composites. While mechanical tests were carried out on mortar samples, EM tests were applied to all composites. When the results were examined, the best mechanical properties were seen in samples containing 40% electric arc furnace slag. For electromagnetic wave attenuation, an increase was observed as amount of the electric arc furnace slag in the composite increased. In the mortars containing mill scales, those with 15% content provided the best mechanical performance. Electromagnetic wave attenuation increased as the mill scale usage rate increased (two different scales were used, it was observed that scale with magnetite properties was superior to the one with hematite structure in electromagnetic wave attenuation). In mortars containing waste tires, as the amount of tires increased, a decrease in strength values was observed and this decrease was limited by using mill scale with magnetite properties. In addition, when waste tire is used with mill scale in the composites, it had been determined that as the amount of rubber in the composite increases, the electromagnetic wave attenuation increases. In mortars containing pozzolanes such as blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash, the required additive rate for the best strength value had been determined. It had been observed that these additives give the composites they are used electromagnetic wave attenuation capability because of the iron and aluminum ions in their chemical structure. In mortars containing red mud, red mud decreased the strength of the composite slightly. Although this value was found to be tolerable. It had been determined that the iron and aluminum compounds in the red mud give the composite they are used an electromagnetic wave attenuation ability. In mortars containing carbon fiber and nickel coated carbon fiber, it had been observed that nickel-coated carbon fibers in cement pastes are superior in electromagnetic wave attenuation compared to carbon fibers, but composites containing both fibers exhibited superior properties in electromagnetic wave attenuation.

This thesis is important in terms of material knowledge required to keep electromagnetic waves under control.

Key Words : Cement, waste, electromagnetic, shirlding, absorption

Page Number : 126

Supervisor : Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleini benden hiç esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Sayın Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM'e, ilgilerini ve bilgilerini sakınmadan paylaşan Sayın Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN, Prof. Dr. Tolga DEPCİ ve Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmama destek vererek bana Doktora Sırası Yurt Dışı Araştırma Bursu (2214-A) sağlayan TÜBİTAK'a, bana laboratuvarlarını açan çok kıymetli Amerikalı bilim kadını Sayın Prof. Dr. Deborah Duen Ling CHUNG ve Buffalo Üniversitesi'ne, araştırmalarım sırasında malzeme temini için yardımları dokunan kurum ve kişilere, teşekkürlerimi sunarım.

İlkokul, ortaokul, lise, lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerim süresince bilgi, birikim, deneyim ve tecrübeleriyle bana ışık tutan çok kıymetli yol göstericilerim olan eğitimci ve akademisyen hocalarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez yazım sonrası yanımda olup desteklerini ve yardımlarını sakınmayan Sayın Dr.Öğr.Gör. Hasan Hüseyin BİLGİÇ ve Arş.Gör. Bestami Taşar'a, yurtdışı araştırmam sırasında manevi desteğiyle yardımcı olan Sayın Öğr.Gör. İsa KILIÇ'a ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında desteklerini bir an çekmeyen çok kıymetli eşim ve aileme minnetle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3. MATERYAL YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal .....	21
3.1.1. Agregta .....	21
3.1.2. Elektrik ark fırın cürufu.....	22
3.1.3. Tufal .....	25
3.1.4. Atık tekerlek lastiği .....	30
3.1.5. Çimento .....	31
3.1.6. Yüksek fırın cürufu .....	32
3.1.7. Ucucu kül .....	34
3.1.8. Silis dumanı.....	35
3.1.9. Pirinç kabuğu külü.....	36
3.1.10. Kırmızı çamur.....	38
3.1.11. Karbon lif .....	39
3.1.12. Nikel kaplamalı karbon lif.....	40
3.1.13. Su.....	40
3.2. Yöntem.....	40

	<b>Sayfa</b>
3.2.1. Çimento esaslı kompozit tasarımı .....	40
3.2.2. Malzeme karakterizasyonu .....	45
3.2.3. EM testler .....	46
3.2.4. Mekanik testler .....	53
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>56</b>
4.1. Elektrik Ark Ocağı Cürufu İçeren Harçların Mekanik, Elektromanyetik ve Mikrodalga Kalkanlama Etkinliği Özelliklerinin Belirlenmesi .....	56
4.1.1. Mekanik testler .....	57
4.1.2. EM testler .....	60
4.2. Atık Tufal ile Yeni Bir Elektromanyetik Dalga Soğurucu Harç Üretimi .....	64
4.2.1. Mekanik testler .....	65
4.2.2. EM testler .....	67
4.3. Tufal ve Atık Tekerlek Lastiğinin Yeni Nesil Harçlarda Elektromanyetik Dalga Zayıflatıcı Olarak Kullanımı .....	72
4.3.1. Mekanik testler .....	73
4.3.2. EM testler .....	77
4.4. Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Pirinç Kabuğu Külü İçeren Harçların Mekanik ve Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi .....	80
4.4.1. Mekanik testler .....	81
4.4.2. EM testler .....	83
4.5. Kırmızı Çamur İçeren Harçların Mekanik ve Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi .....	91
4.5.1. Mekanik testler .....	92
4.5.2. EM testler .....	93
4.6. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içeren çimentolu kompozitlerin Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi .....	95
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>110</b>

	<b>Sayfa</b>
EKLER.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	122
DİZİN.....	125



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. İnce kırmataş agregaya ait fiziksel özellikler .....	21
Çizelge 3.2. EAOC'ye ait XRF sonuçları .....	24
Çizelge 3.3. Tufallere ait EDX analiz sonuçları .....	29
Çizelge 3.4. Tufallere ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları .....	30
Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal analizi .....	31
Çizelge 3.6. Çimentonun kimyasal analizi (Lafarge Corp., Southfield, Michigan, U.S.A.) .....	32
Çizelge 3.7. Yüksek fırın cürufuna ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.....	32
Çizelge 3.8. Uçucu küle ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.....	34
Çizelge 3.9. Silis dumanına ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları .....	35
Çizelge 3.10. Pirinç kabuğu külüne ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.....	37
Çizelge 3.11. Kırmızı çamura ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.....	38
Çizelge 3.12. Agrega ile hacimce yerdeğiştirilerek oluşturulan karışımların detayları	42
Çizelge 3.13. Çimento ile ağırlıkça yerdeğiştirilerek oluşturulan karışımların detayları	43
Çizelge 3.14. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içeren karışımların detayları	44
Çizelge 4.1. Test edilen numunelerin kalınlıkları (mm).....	96

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Agregalara ait gradasyon eğrisi .....	22
Şekil 3.2. EAO cürufuna ait SEM görüntüsü.....	23
Şekil 3.3. EAO'ya ait XRD patterni.....	24
Şekil 3.4. Eryılmazlar A.Ş.'den alınan tufal .....	25
Şekil 3.5. MMK Metalurji'den alınan tufal .....	26
Şekil 3.6. Tufallere ait XRD analiz sonuçları .....	27
Şekil 3.7. Tufallere ait FTIR analiz sonuçları.....	28
Şekil 3.8. a) Tufal I'e ait SEM görüntüsü, b) Tufal II'ye ait SEM görüntüsü.....	28
Şekil 3.9. Atık tekerlek lastiği depolama alanları .....	30
Şekil 3.10. Granüle tekerlek lastiği.....	31
Şekil 3.11. Granüle yüksek fırın cürufu.....	33
Şekil 3.12. Uçucu kül.....	35
Şekil 3.13. Silis dumanı .....	36
Şekil 3.14. Pirinç kabuğu külü.....	38
Şekil 3.15. Kırmızı çamur atık barajı.....	39
Şekil 3.16. Karbon lif.....	39
Şekil 3.17. Nikel kaplı karbon lif.....	40
Şekil 3.18. EM test düzeneği .....	50
Şekil 3.19. EM parametreleri hesaplama şeması .....	52
Şekil 3.20. EM deney düzeneği (ABD) .....	53

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.21. Eğilmede çekme deneyi düzeneği .....	54
Şekil 3.22. Basınç deneyi düzeneği .....	55
Şekil 4.1. Farklı oranda EAO cürufu içeren harçların eğilme dayanımı sonuçları.....	58
Şekil 4.2. Farklı oranda EAO cürufu içeren harçların basınç dayanımı sonuçları .....	58
Şekil 4.3. %40 EAO cürufu içeren harcın SEM görüntüsü .....	59
Şekil 4.4. %40 EAO cürufu içeren harcın XRD analizi sonucu .....	60
Şekil 4.5. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harçkarın EM dalga yansıma değerleri.....	61
Şekil 4.6. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harçların EM dalga yansım iletim değerleri.....	61
Şekil 4.7. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harcın EM dalga gerçek geçirgenlik değerleri.....	62
Şekil 4.8. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harcın EM dalga sanal geçirgenlik değerleri.....	63
Şekil 4.9. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harcın EM dalga ekranlama etkinliği değerleri.....	64
Şekil 4.10. Tufal içeren ve içermeyen harçlara ait XRD analiz sonuçları.....	65
Şekil 4.11. Tufal içeren ve içermeyen harçlara eğilme dayanımı sonuçları .....	66
Şekil 4.12. Tufal içeren ve içermeyen harçlara basınçdayanımı sonuçları .....	67
Şekil 4.13. Tufallere ve havaya ait EM dalga iletim parametresi değerleri.....	68
Şekil 4.14. Tufallere ve havaya ait gerçek geçirimlilik (dielektrik) parametreleri .....	70
Şekil 4.15. Tufallere ve havaya ait sanal bağlı geçirimlilik (dielektrik) parametreleri	70
Şekil 4.16. Farklı oranlarda tufal içeren harç numunelerinin ve geleneksel harcın elektromanyetik tepkileri (a) İletim, b) Yansıma, c) Absorpsiyon ve d)Kalkanlama etkinliği).....	72



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.17. Harçlara ait a) Eğilme ve b) Basınç dayanımı değerleri.....	74
Şekil 4.18. Üretilen harçlara ait SEM görüntüleri .....	75
Şekil 4.19. Farklı içerikteki harçlara ait XRD analizi sonuçları .....	76
Şekil 4.20. Sabit tufal ve değişken lastik agrega içerikli harçların yansımaya katsayıları	78
Şekil 4.21. Değişken lastik agrega içerikli harçların yansımaya katsayıları .....	79
Şekil 4.22. Değişken içerikli harçların iletim katsayıları.....	79
Şekil 4.23. Farklı içeriklere sahip harçların dielektrik sabitleri.....	80
Şekil 4.24. Farklı içeriklere sahip harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri	83
Şekil 4.25. %10 %20 ve %30 oranlarında yüksek fırın cürufu içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (R) (b) İletim (T) ve (c) Soğurma değerleri (A).....	85
Şekil 4.26. %10 %20 ve %30 oranda uçucu kül içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (R) (b) İletim (T) ve (c) Soğurma değerleri (A) .....	87
Şekil 4.27. %10 %20 ve %30 oranda silis dumanı içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri .....	88
Şekil 4.28. %10 %20 ve %30 pirinç kabuğu külü içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri .....	90
Şekil 4.29. %10 %20 ve %30 kırmızı çamur içeren harçlara ait 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerleri.....	93
Şekil 4.30. %10 %20 ve %30 kırmızı çamur içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (b) Soğurmaya (c) İletim değerleri .....	94
Şekil 4.31. Hacimce %0,5 oranda lif içeren numuneler .....	97
Şekil 4.32. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numuneler .....	97
Şekil 4.33. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numuneler .....	97
Şekil 4.34 Farklı oranda kaplamasız karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı SE/Kalınlık değerleri.....	98

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.35. Farklı oranda nikel kaplamalı karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı SEA/Kalınlık değerleri .....	98
Şekil 4.36. Hacimce %0,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SER değerleri .....	99
Şekil 4.37. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SER değerleri .....	99
Şekil 4.38. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SER değerleri.....	100
Şekil 4.39. Farklı oranda kaplamasız karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı SER değerleri.....	100
Şekil 4.40. Farklı oranda nikel kaplamalı karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı SER değerleri.....	100
Şekil 4.41 Hacimce %0,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SEA/SET değerleri.....	101
Şekil 4.42. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SEA/SET değerleri.....	101
Şekil 4.43. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı SEA/SET değerleri.....	102

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>A</b>	Soğurma-Absorpsiyon
<b>Al</b>	Aluminyum
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Aluminyum Oksit
<b>b</b>	Numune kesitinin kenar uzunluğu (mm)
<b>B</b>	Manyetik indükleme akısı (T veya Wb/m <sup>2</sup> )
<b>C</b>	Karbon
<b>CaO</b>	Kalsiyummonoksit
<b>Cl</b>	Klör
<b>cm</b>	Santimetre
<b>d</b>	Numune kesitinin yüksekliği (mm)
<b>D</b>	Deplasman akısı (C/m <sup>2</sup> )
<b>db</b>	Desibel
<b>E</b>	Elektrik alan şiddeti (V/m)
<b>Fe</b>	Demir
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Hematit
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	Manyetit
<b>FeO</b>	Wüstit
<b>g</b>	Gram
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>H</b>	Manyetik alan şiddeti (A/m)
<b>J</b>	Elektrik akım yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )
<b>kg</b>	Kilogram
<b>L</b>	Destek silindirleri arasındaki mesafe (mm)
<b>m</b>	Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>MgO</b>	Magnezium Oksit

<b>MHz</b>	Megahertz
<b>mm</b>	Milimetre
<b>P</b>	Uygulanan kuvvet (N)
<b>P<sub>0</sub></b>	Girdi güç
<b>P<sub>r</sub></b>	Yansıyan güç
<b>P<sub>t</sub></b>	İletilen güç
<b>R</b>	Yansıma
<b>SE<sub>A</sub></b>	Soğurma kaybı
<b>SE<sub>R</sub></b>	Yansıma kaybı
<b>SE<sub>T</sub></b>	Toplam güç kaybı
<b>Si</b>	Silisyum
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Silisyumdioksit
<b>T</b>	İletim
<b>Z</b>	Empedans
<b>Z<sub>0</sub></b>	Havanın empedansı
<b>ε<sub>0</sub></b>	Havanın elektriksel geçirgenliği
<b>ρ</b>	Elektrik yükü yoğunluğu (C/m <sup>3</sup> )
<b>ω</b>	Açısal frekans
<b>σ</b>	Malzeme iletkenliği (S/m)
<b>ε<sub>r</sub></b>	Kompleks bağıl geçirgenlik
<b>μ<sub>r</sub></b>	Kompleks bağıl geçirimlilik
<b>μ<sub>0</sub></b>	Havanın manyetik geçirimliliği
<b>°C</b>	Santigrad derece

### Kısaltmalar

**ASTM**

**ATL**

**CEM I**

**CNT**

**EAO**

**EAO C**

**EM**

**EMI**

### Açıklamalar

Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu

Atık tekerlek lastiği

Portland çimentosu

Karbon nanotüp

Elektrik ark ocağı

Elektrik ark ocağı cürufu

Elektromanyetik

Elektromanyetik dalga zayıflatma

<b>EPS</b>	Genleşmiş polistiren
<b>FTIR</b>	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi
<b>KÇ</b>	Kırmızı çamur
<b>NRW</b>	Nicolson Ross Weir
<b>PET</b>	Polietilen tereftalat
<b>PK</b>	Pirinç kabuğu külü
<b>RL</b>	Yansıma kaybı
<b>SD</b>	Silis dumanı
<b>SE</b>	Kalkanlama etkinli
<b>SEM</b>	Taramalı elektron mikroskopu
<b>SHF</b>	Süper yüksek frekans bandı
<b>TS</b>	Türk standartları
<b>UK</b>	Uçucu kül
<b>VNA</b>	Vektör ağ analizörü
<b>X-bant</b>	9 GHz – 11.5 GHz frekans aralığı
<b>XRD</b>	X-Işını Kırınım yöntemi
<b>XRF</b>	X-ışını floresans spektrometresi
<b>YFC</b>	Yüksek fırın cürufu

## 1. GİRİŞ

Modern mühendislik yapıların karmaşık hizmet şekillerinden ve hızla gelişen-değişen uygulama tekniklerinden dolayı çimento bazlı malzemelerin sağladığı taşıyıcılık görevi tek başına artık yeterli görülmemektedir. Buna ek olarak güvenlik, dürabilite ve çeşitli fonksiyonlar da istenmektedir. Bu nedenle yapısal taşıma kapasitesinin yeterli olmasının yanı sıra elektriksel iletkenlik, sensor ve elektromanyetik özellikler de çimento katkılı kompozitlerin değerlendirilmesinde önemli parametreler haline gelmişlerdir. Bu tezde çimentolu kompozit malzemelerin elektromanyetik (EM) özelliklerinin (EM dalga soğurma, zayıflatma ve kalkanlama) geliştirilmesi üzerine araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

Modern teknolojinin sağladığı birçok avantajın yansira bu teknolojilerin (kablosuz iletişim ve elektronik aletler) sebep olduğu EM dalga kirliliği son yılların en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Ortamda bulunan kritik seviyedeki EM dalgalar birçok elektronik ve iletişim cihazının normal işlevselliğini etkileyebilecek etki yaratabilir. Bu tür radyasyonlara aşırı maruz kalmak, insan vücudundaki tümörlerin büyüme olasılığını artırabildiğinden, insan sağlığı için de tehlikelidir [1]. Elektromanyetik dalgaların yaratacağı etki maruz kalınacak dalgaların şiddetine ve süresine bağlıdır. Düşük frekanslı (dalga boyu büyük) olan dalgalar yaratacağı ısı sebebiyle hassas sistemlere veya dokulara zarar verebilir. Bu sebepten düşük frekanslı dalgalar yayan televizyon, radyo ve haberleşme aygıtları gibi cihazların kullanım süresi kontrol altında tutulmalıdır. Yüksek frekanslı (dalga boyu küçük) olan dalgalar iyonlaştırıcı ışımaya etkisiyle canlı DNA'sını bozabilir. Bir tek gama ışını fotonu dahi canlı dokusuyla etkileşime girip dokuda bozulmalara sebep olabilir [2].

EM dalgaları engellemek için kalkanlama (ekranlama) teknikleri kullanılır ve sistemin çalışıp çalışmadığı kalkanlama (ekranlama) etkinliği ölçülerek analiz edilir. Kalkanlama etkinliği EM enerji yansıtacak yetenek olarak tanımlanır ve mevcut elektriğin iletilen elektriğe oranlanması ile hesaplanır. Bu kalkanlama etkinliği EM dalganın frekansı ve malzemesinin EM özelliklerine bağlıdır. Geleneksel olarak ferrit ve metalik tozlar EM dalga emilimi için kullanılır [3]. Bu malzeme tiplerinin uygulaması güçlü EM dalga emme ve geniş bant aralığı sağlar, ancak aynı zamanda yüksek yoğunluk ve yüksek sıcaklığa zayıflık gibi dezavantajları da vardır [4]. Dielektrik emici malzeme söz konusu olduğunda, bunların

etkinliği ohmik kayba bağlıdır. Bu kayıp karbon siyahı, grafit, silikon karbit gibi iletken dolgu maddeleri kullanılarak sağlanabilir [5]. Bu malzemeler, nispeten hafif ama yine de EM dalga emilimi için uygun değildir, çünkü dar bant-genişliğinde düşük emme değerleri verirler [6]. Bu nedenlerden, EM dalga emici malzemelerin dayanıklı ve ucuz olmaları için yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Magnetodielektrik malzemeler EM dalga soğurulmasında ve kalkanlamada etkili bir şekilde kullanılan malzemelerdir. Son yıllarda çevrenin korunması, güvenlik ve hassas cihazları telekomünikasyon araç gereçlerinden yayılan dalgalardan koruması için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda tasarlanan malzemelerin dielektrik, EM dalga kalkanlama ve mikrodalga soğurma özellikleri araştırılmıştır. Senkronize edilmiş frekanslardan yayılan radyasyonu soğurabilen EM dalga soğurucular dayanıklı, şekil verilebilir, ucuz ve kolay erişebilir özelliklerde olmalıdır. EM dalga soğurma prensiplerine göre dalga soğurma etkinliği iletkenlik, yansıtma ve empedans uyumu özellikleri belirlenerek tespit edilir [7]. Yakın geçmişte yeni ve etkili EM dalga soğurucu araştırma-geliştirme çalışmaları için oldukça yoğun araştırmalar yapılmıştır. Karbon nanotüp, grafen oksit, karbon karası ve karbon fiber gibi nano ölçekli karbon türevi malzemeler benzersiz fiziksel, elektriksel ve kimyasal yapılarından dolayı EM dalga soğurulmasında ve kalkanlamasında etkili bir şekilde kullanılmışlardır [8]. Ayrıca M tipi ferritler de yüksek frekanslarda (GHz aralılarında) kimyasal stabilite, yüksek manyetik özellik, yüksek manyetik anizotropi, yüksek aşınma direnci, güçlü manyetik kayıp gibi üstün özelliklerinde dolayı bilim dünyasının ilgisini çekmiştir [9]. M tipi ferritler  $Fe^{+3}$  katyonu  $La^{+3}$ ,  $Ce^{+3}$ ,  $Nd^{+3}$ ,  $Ga^{+3}$  vb. iyonlar ile yer değiştirip iletim ve yansıma parametrelerini değiştirerek daha etkili mikrodalga soğurmasına olanak sağlayabilirler [10].

EM parazitleri ortadan kaldırma ve radyasyon yoğunluğu azaltmanın yöntemlerinden biri EM dalgaları soğuran ve/veya kalkanlayabilen yapılar inşa etmek olabilir. Böylelikle baz istasyonu gibi birincil dereceden sinyal yayan kaynakların sebep olduğu EM parazitler savuşturulabilir. Dolayısıyla insan hayatını riske eden zararlı EM dalgaların etkisi azaltılabilir. Bunlara ek olarak EM dalgaların kalkanlaması ve/veya soğurulması ile askeri yapıların izolesi sağlanabilir ve bilgi sızmaları engellenebilir. Ayrıca yapılara radara yakalanmama özelliği de kazandırılabilir. Radar, ses dalgasıyla elektromanyetik enerji darbelerini yayar. Yayılan bu enerji belirli uzaklıktaki nesneye çarptıktan sonra bir kısmı

geri döner. Bu prensip ile nesnenin uzaklığı ve yönü tespit edilir. Anti-radar teknolojisine sahip özel yapılar radarlara yakalanmadan gizli bir alan kurma imkanı sağlar.

Literatürdeki çalışmalar incelediğinde EM kalkanlama sağlamak için malzemeye manyetik ve elektrik iletken özelliği kazandırılması gerektiği göze çarpmaktadır. Bu sebeple sunulan tezde atıl durumda olan, depolama alanı sıkıntısı olan ve çevre için tehlike teşkil etmekte olan demir-çelik fabrikaları atıkları-yan ürünleri, atık tekerlek lastiği ve kırmızı çamur (alüminyum üretim safhasında ortaya çıkan atık) belirli oranlarda harç içerisine ikame edilerek harca EM dalga zayıflatma özelliği kazandırılması hedeflenmiştir. Bu atıkların-yan ürünlerin içerisinde Fe, Al, Si ve C oranının fazla olması tasarlanan harçlara çeşitli elektromanyetik özellikler katmıştır. Böylelikle EM kalkanlamanın büyük ölçüde sağlanması beklenmiştir.

Yukarıda bahsi geçen atık ve yan ürünlerin EM dalga zayıflatmada kullanılmasının yanında yaygın olarak EM dalga zayıflatmada kullanılan karbon liflerle de bir çalışma yapılmıştır. Karbon lif ve nikel kaplamalı karbon lif çimento esaslı kompozit içerisinde belirli oranlarda kullanılarak EM dalga zayıflatıcı olarak kullanılmışlardır.

Çimento yapı sektöründe kullanılan en temel malzemelerden bir tanesidir. Yapısı gereği EM dalga kalkanlamada zayıf bir etkiye sahiptir. Araştırmacılar ve bilim insanları iletken katkılar ile çimento bazlı kompozitlerin EM kalkanlama özelliğini arttırmak için önemli çalışmalar yürütmüşlerdir ve yürütmeye devam etmektedirler. Bu çalışmada, yüksek oranda demir ve alüminyum içermeleri hasebiyle iletken özelliğe sahip olan demir-çelik ve alüminyum fabrikaları atıkları-yan ürünleri çimento bazlı kompozitlerde ikame edilecektir. Geliştirilen kompozitin ferromanyetik özellik kazanmasından dolayı elektromanyetik dalga zayıflatmada kullanılabileceği öngörülmektedir.

Demir-çelik ve alüminyum sektörü, dünyanın her yerinde en önemli endüstriyel sektörlerden biridir ve ürünleri sanayileşme için temel bileşen haline gelmiştir [11]. Demir-çelik ve alüminyum endüstrisi, demir cevheri veya hurdadan çelik üretiminden, kullanılacak alana yönelik işlenmesine kadar olan aşamalarını kapsar. Üretim sırasında bazı yan ürünler ve atıklar da ortaya çıkmaktadır [12,13].



Türkiye, Avrupa'nın ikinci en büyük demir çelik üreticisidir ve üretimin %50'den fazlası Hatay'ın İskenderun ilçesinde yapılmaktadır. Demir-çelik sektörünün en büyük çevresel ve aynı zamanda atık alanı problemlerinden biri cüruf (yüksek fırın cürufu, bazik oksijen fırın cürufu ve elektrik ark fırını cürufu) tufal ve demir talaşlarıdır [14]. Yüksek fırın cürufu yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında oluşan bir yan üründür. Yüksek fırın cürufu demir cevheri, kok ve kirecin yüksek sıcaklıkta (1450- 1550 °C) indirgenmesi işleminde oluşur. Üretim aşamasında bir ton sıcak metalden yaklaşık olarak 200-600 kg cüruf meydana çıkar. Çelikhane cürufları (Bazik oksijen fırın cürufu ve elektrik ark fırını cürufu) hurda demirden çelik üretimi sonucu oluşur. Yüksek fırın cürufundan farklı olarak yükseltgenme işleminde oluşur. Bir ton çelik üretiminde yaklaşık olarak 150- 200 kg kadar çelikhane cürufu oluşur. Bunların yanı sıra ucucu kül, kömür ile çalışan termik santrallerin yan ürünleridir. Kömür içerisindeki inorganik malzemeler yüksek sıcakta erir ve bacalardan atılırken soğuyarak şeklini alır. İnce yapıdaki kül filtreler yardımıyla toplanır. Silis dumanı, silisyum metali ve ferrosilikon alaşımları üreten fabrikaların bir yan ürünüdür. Üretim sırasında salınan silisyum gazının oksijenle tepkimesi sonucu oluşurlar. Pirinç kabuğu külü ise pirinç öğütme sırasında ortaya çıkan kabuğun yakıt olarak kullanılmasının ardından elde edilen tarımsal bir yan üründür. Yanma sırasında amorf silika içerikli kül meydana gelir.

Tufal çelik üretimi sırasında atık-yan ürün olarak oluşur [15]. Tufal yapısında karışık demir oksitler bulunduran demir ( $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  ve  $Fe_3O_4$ ) sıcak haddelenmiş çeliğin pul pul yüzeyidir. Haddehanelerde çeliğin işlenmesi aşamasında yüzeydeki soğumalar sonucu oluşan tufal siyah ve kırmızı renklere olabilmektedir. Ürün olarak çıkacak çeliğin üzerindeki pul pul yapı çelik üzerinde yapılacak herhangi bir uygulamayı olumsuz etkileyebilmektedir. Pullu yapının dökülmesiyle yüzeyde yapılacak herhangi bir çalışma boşa gidebilir. Bu sebeple çelik yüzeyde soğuma sebebiyle oluşan pullu yapı (tufal) zahmetli işlemler olan alevle temizleme, asitle temizleme veya aşındırıcı püskürtme ile çelik yüzeylerden çıkarılabilir. Literatür, bir ton çelik üretim aşamasında yaklaşık 10-20 kg tufal oluştuğunu göstermektedir [16]. Bu miktar çelik üretiminin yaklaşık %2'sidir [17].

Kırmızı çamur boksit cevherinden bayer prosesi ile alumina üretimi safhasında ortaya çıkan bir maddedir. Üretim safhasında sıvı ve katı faz olmak üzere iki ürün oluşur. Sıvı fazda çözüldüğü alumina elde edilirken katı fazda kırmızı çamur atığı meydana gelir. Atığın içerisindeki yüksek demirden dolayı rengi kırmızıdır ve cevherin içeriğine göre minerolojik yapısı değişiklik gösterebilmektedir. Bir ton alüminyum üretmek için 1-1,5 ton kırmızı

çamur atığı oluşabilmektedir. Oluşan bu atıklar malesef dünya genelinde özellikle de gelişmemiş ülkelerde çevreye salınmaktadır. [18].

Bu atık ve yan ürünler her yıl artacak ve çevre sorunlarına neden olacaktır [13]. Bu nedenle demir-çelik fabrikaları atıkları çevresel ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi açısından dikkate alınmalıdır. Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne girme sürecinde belirli koşullara uyması gerekmektedir ve bunlardan biri demir, çelik ve alüminyum hurdası ile ilgili atık sorunu kriterleridir. Bu sebeple demir- çelik ve alüminyum fabrikaları atıklarının değerlendirilmesi ve incelenmesi Türkiye için daha da önem kazanmaktadır.

Mevcut bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile demir-çelik fabrikaları atıkları yapı malzemelerinde dolgu malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Cüruflar tek başlarına kullanıldığında zayıf bağlayıcılık özelliği gösterse de çimento ile birlikte harç ve beton içerisinde kullanıldığında içerisinde bulunduğu malzemenin dayanım ve dayanıklılığını belirli bir seviyeye kadar artırır [19]. Cürufların bitümlü kompozitlerde kullanıldığı uygulamalara rastlamak da mümkündür [20]. Bağlayıcılık özelliği olan yan ürünlerin/atıkların çimento katkısı olarak kullanıldığı, bağlayıcılık özelliği göstermeyenlerin ise harç, beton ve asfalt gibi uygulamalarda dolgu malzemesi olarak kullanıldığı da literatürde görülmektedir. Bunlara ek olarak demir-çelik fabrikaları atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanıldığı uygulamalara literatürde rastlamak mümkündür [21]. Kırmızı çamur ise çimento esaslı kompozitlerde çimento yerine veya çimento ile beraber bir miktar kullanılmaktadır [22-24]. Demir-çelik ve alüminyum fabrikaları atıkları yapı malzemelerinde katkı malzemesi olarak ve zemin uygulamalarında ise stabilizasyon malzemesi olarak yerini almış olsa da bu malzemelerin elektromanyetik dalga zayıflatmada kullanımı oldukça kısıtlıdır.

Atık tekerlek lastikleri ise otomotiv sektöründeki hızlı gelişmelerin bir sonucu olarak başedilmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Belli bir kullanım ömrüne sahip tekerlek lastikleri bir süre sonra atıl duruma düşerler. Depolama alanlarında yangına sebep olmaları veya yangını alevlendirme potansiyeli olduklarından depolama sıkıntısı yaşanmaktadır. Atıl durumdaki tekerlek lastikleri yapısında bulunan teller çekildikten sonra kırılıp öğütülerek çeşitli alanlarda değerlendirilirler. Atık tekerlek lastiği park yerdöşemelerinde, oyun alanı yer döşemelerinde ve hafif beton üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Fakat bu değerlendirme yöntemi çok büyük miktarda olan atık tekerlek lastiği sorunu ile başetmeye

yeterli değildir. Tekerlek lastiğinin içerisindeki olan karbon göz önüne alınarak bu malzemenin kullanımı için yeni bir alan bu tez kapsamında düşünülmüştür. Bu malzemenin EM salga soğurma işleminde kullanılabileceği öngörülmüştür.

Bilimsel çalışmaları temel alarak üretilen malzemeler ile elektromanyetik dalgalar kontrol altında tutulabilmektedir. Bu malzemeler savunma sanayinde, tıp sektöründe ve laboratuvarlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Tezde atıl durumda veya yan ürün olan olan demir-çelik ve alüminyum fabrikaları ürünleri ve atık tekerlek lastikleri harç içerisinde çimento ve/veya agrega katkı maddesi olarak ikame edilecektir. Atık malzemelerin yanı sıra EM dalga soğurmada geniş kullanım alanı olan karbon lifler de ayrıca incelenecektir. Atıkların EM özelliklerinden faydalanarak geliştirilen kompozite EM dalga zayıflatma özellikleri kazandırılacaktır. Böylece hem depolama sıkıntısı yaşanan fabrika atıkları bertaraf edilecek hem de bu atıklara katma değer kazandırılacaktır. Bu bağlamda, önerilen tezin bilim ve teknolojiye katkısı üç ana başlık altında özetlenebilir.

I. Elektromanyetik dalga zayıflatıcı yapı malzemelerinin geliştirilmesi: Tezde elektromanyetik dalgaları zayıflatma yeteneği olan çimento bazlı yapı malzemeleri geliştirilmiştir. Geliştirilen malzemelerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinden taviz verilmemiştir. Bu malzemenin, gelen elektromanyetik dalgaları soğurarak veya yansıtarak etrafını sardığı alana dalga girişini engellemesi hedeflenmektedir. Literatürde demir-çelik ve alüminyum fabrikaları atıkları-yan ürünleri, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve atık tekerlek lastiği gibi malzemelerin çimento bazlı kompozitlerde çimento ya da agrega yerine kullanımı ile alakalı birçok yayın [25-27] olmasına rağmen bu atıkların elektromanyetik zayıflatıcı olarak kullanımı ile alakalı bilgi oldukça kısıtlıdır. Önerilen tez literatürdeki bu eksikliği gidermesi yönünden önem arz etmektedir.

II. Demir çelik-alüminyum fabrikaları atıklarının ve atık tekerlek lastiklerinin değerlendirilmesi: Demir-çelik ve alüminyum sektörü Türkiye için önemli bir sanayi sektörüdür. Bu tezde Demir-çelik fabrikalarının yoğunlukla bulunduğu Hatay/İskenderun bölgesindeki demir-çelik fabrikalarının ve Etibank Seydişehir Alüminyum Fabrikası atıkları kullanılmıştır. Demir-çelik ve alüminyum üretiminden sonra ortaya çıkan atıklar depolama problemi oluşturmakta ve çevresel sorunlara sebep olmaktadır. Bu atıkların bir kısmı çimento ve beton sektöründe kullanılsa da büyük bir çoğunluğu atıl durumdadır (Çevre ve Şehircilik bakanlığı, 2015). Ayrıca atık tekerlek lastiği de gelişen Türkiye için gözardı

edilemeyecek bir problem haline almıştır. Bu malzemelerin çimento bazlı malzemelerde elektromanyetik dalga zayıflatıcı olarak kullanılması bu atıklara katma değer kazandırmıştır. Bunun yansira hem çevresel bir problem çözülmüş hem çimento bazlı kompozitte çimento ve agrega yerine alternatif malzemeler kullanıldığı için tasarruf sağlanmıştır.

III. Bu çalışma, nikel kaplamalı karbon lif içeren çimento esaslı kompozitlerde kalkanlama etkinliği üzerine yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Nikel kaplamanın sağladığı iletkenlik ve manyetik geçirgenlik nedeniyle kullanıldığı kompozite üstün elektriksel özellikler sağlamıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Teknolojinin gelişimiyle yüzleştiğimiz problemlerden olan EM dalga yayılımı araştırmacıların en önemli gündem maddelerinden olmuştur. Bu bağlamda literatürde çalışmalar mevcut olup yapı malzemeleri ile alakalı olan çalışmaların bir kısmı bu bölümde sunulmuştur. *İlerleyen bölümlerde EM dalga “kalkanlama” ve “ekranlama” aynı anlamlarda kullanılmıştır.*

Prasad ve ark. (2019) çalışmalarında hidratasyon süresinin beyaz Portland çimentosunun dielektrik, EM dalga kalkanlama ve pizoelektrik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çimentonun mikro yapısı XRD ile analiz edilmiştir. Numunelerin dielektrik ve iletkenlik ölçümleri X-bant aralığında (9–11.5 GHz) yapılmıştır. Dielektrik sabitinin hidratasyon süresinin artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi zamanla gelişen mekanik yapı ile açıklanmıştır.  $S_{12}$  parametresinin yani EM dalga iletiminin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise zamanla birlikte numunede boşluk yapısının azalması olduğu söylenmiştir. Malzemedeki EM dalga kalkanlama özelliği zamanın geçmesiyle artış göstermiştir [28].

Li ve ark. (2019) çalışmalarında çimento bazlı EM dalga emici malzemelerde gözenekli cam parçacıklarını kullanmışlar ve parçacık boyutunun, agregaların dolun oranının ve kalınlığın EM dalga emilim özelliklerine etkisi incelenmişlerdir. Sonuçlara dayanarak; cam parçacıklarının çapı arttıkça, EM dalga emme özellikleri önce artmış, daha sonra düşmüştür; empedans azalmıştır. 0,25-1,0 mm büyüklüğündeki parçacıklar EM dalga emme özelliklerine katkıda bulunmuştur. 0,25 mm’lik cam parçacıklarında kompozit, - 9,67 dB’de en düşük ortalama yansımaya oranına ulaşmış ve doldurma oranı %50 hacimde ve karbon karası içeriği 1,5 g/L olduğunda, - 10 dB’nin altındaki bant genişliği 7,47 GHz’dir. Gözenekli cam parçacıklar güçlü mekanik dayanım sağlamışlardır. Farklı boyutlardaki parçacıkların elektromanyetik dalga emme özelliklerinin arttırılması üzerindeki sinerjik etkisi açık değildir. Cam peletlerin optimum dolun oranı %50’dir ve cam peletleri 0,5 mm olan kompozitler için optimal kalınlık 20-30 mm’dir. [29].

Long ve ark. (2019) çalışmalarında öğütülmüş katot ışını tüpü camları (%30 ve %60 oranlarında çimento bazlı kompozelerde ince agrega olarak kullanılmasıyla) ile grafen oksitin ikili etkileşimleri sonucu EM dalganın zayıflatılmasını incelemişlerdir. Elektrik

alanda elektrik enerjisi depolama becerisinin bu iki malzemenin sinerjik etkisiyle üretilen çimento esaslı malzemelerde önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. Yüksek seviyede elektrik enerjisi depolama yeteneği olan malzemelerin EM dalgaları zayıflatmada etkin kullanılabileceğini savunmuşlardır. Ayrıca, bu sayede bu iki malzemenin hem EM dalga zayıflatıcı olarak kullanılabileceği hem de atık bir malzemenin geri dönüşümünün mümkün olabileceğine değinmişlerdir [30].

Velciu ve ark. (2018) harçlarda uçucu kül kullanımının harç karakteri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. XRD, XRF, SEM ve FTIR analizleri sonucunda içi boş küre şekline sahip uçucu külün yapısında %88,63 oranda  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve %8,55 oranda  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  olduğu tespit edilmiştir. %40 oranlarına kadar katkılanan uçucu külün %20 katkılanma oranında en yüksek mekanik dayanım sonuçlarını verdiği, katkılanma oranının artırılmasıyla harcın yoğunluğunun ve termal iletkenliğinin azaldığı ayrıca dielektrik kayıpların arttığı tespit edilmiştir. EM dalgaların zayıflatılmasının uçucu kül içeriği arttıkça önemli ölçüde arttığı belirtilmiş bunun sebebinin ise harçtaki toplam  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oranının artmasının olduğu belirtilmiştir [31].

He ve ark. (2018) içi boş küresel şekle sahip uçucu külün üzerini kimyasal çöktürme yöntemi ile kapladıkları nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ile EM soğurucu bir kompozit üretmişlerdir. Ardından bu kompoziti çimentoya ekleyerek mikrodalga soğurucu çimento esaslı bir malzeme elde etmişlerdir. Manyetik içi boş uçucu kül küreciklerinin mineral yapısı, mikromorfolojisi ve EM özellikleri incelenmiştir. Üretilen çimento esaslı kompozitin ise yansıma kayıpları test edilmiştir. Test sonuçlarında elde edilen kompozitin süpermanyetizme sahip olduğu, doygunluk mıknatıslanmanın 32,67 emu/g ve artık mıknatıslanmanın yaklaşık sıfır olduğu görülmüştür. Çimento esaslı malzemenin en iyi mikro dalga Emilimi, ağırlıkça %3  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -uçucu kül içeren kompozitten elde edilmiştir; bu karışım, 10 dB'den düşük yansıma kaybına sahip bant genişliği 8 GHz'e yaklaşırken mükemmel bir mikro dalga Emilimi göstermiştir [32].

Lv ve ark. (2018) çalışmalarında grafen nano parçacık ve içi boş cam mikro kürecik içeren çimento esaslı kompozitler hazırlayıp bunların EM dalga soğurma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda grafen nano parçacık ve içi boş cam mikro kürecik aynı karışımda bulunduğu EM dalga soğurma özelliğinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Cam küreciklerinin karışım içerisindeki oranının artmasıyla -5 dB altında soğurma ilk

aşamada artmış daha sonra azalmıştır. Yüksek frekanslarda yüksek soğurma değerleri görülmüştür. 2-18 GHz frekans aralığında %0,2 grafen ve %40 hacimce cam parçacık içeren numunelerin kalınlığı 20 mm olduğunda ortalama EM dalga soğurma değerinin -8,2 dB civarında olduğu görülmüştür. Numune kalınlığının soğurma üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ve optimum değer bu çalışma için 20-30 mm olduğu vurgulanmıştır [33].

Danna ve ark. (2019), 2-18 GHz frekans aralığında çimentolu kompozitlere eklenen çok katmanlı grafenlerin elektromanyetik koruma ve emici özelliklerini incelemek için ayrı olarak çimento pastalarına ve çimento harçlarına grafenleri dahil etmişlerdir. Elektromanyetik koruma ve soğurma özelliklerini hesaplamak için teorik elektromanyetik parametreleri ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çok katmanlı grafenlerin çimentolu kompozitlerin elektromanyetik özellikleri üzerindeki etki mekanizmaları da incelenmiştir. Sonuçlar, %10 çok katmanlı grafenli çimento pastalarının elektromanyetik koruyucu etkililiğinin ve mutlak yansıtma değerinin sırasıyla en fazla 10,35 dB ve 33 dB olduğunu göstermiştir. Ayrıca, %15 oranında çok katmanlı grafen içeren çimento harçları, elektromanyetik koruma etkinliğinde en fazla %95 artış göstermiş ve mutlak yansıtma değeri, çok katmanlı grafikler içermeyen çimento harçlarının 9 katı kadar yüksek olan 18 dB'ye ulaşmıştır. Genel olarak, çok katmanlı grafen dolgulu çimento pastaları, elektromanyetik özelliklerde çok katmanlı grafen dolgulu çimento harçlarına göre daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde Çok katmanlı grafen dolgulu çimentolu kompozitlerin elektromanyetik dalga absorpsiyon kaybının dielektrik kaybına tabi olduğu ve temelde manyetik bir kayıp olmadığı görülmüştür [34].

Narong ve ark. (2018) palmye yağı fabrikalarından topladıkları yakıt külünü (POFA) harç yapımında çimento yerine EM dalga zayıflatma amacıyla kullanmışlardır. Taguchi-Grey metodunu kullanarak harçlardan optimum faydayı almayı amaçlamışlardır. EM dalga zayıflatma, 28 günlük basınç ve çekme dayanımları, büzülme, yayılma, priz alma, su ve hava içeriği optimum tutulması gereken parametreler olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, optimal karışımın %20 oranında POFA katkı maddesi, %0 oranında üst kaplama toz-bağlayıcı oranı, 0,6 su / bağlayıcı oranı, %10 oranında lateks madde içeriği, 140 um POFA partikül büyüklüğü ve suya daldırma kür durumu ile en uygun karışım olduğu görülmüştür [35].

Wang ve ark. (2016) iyi derecede manyetik özelliklere sahip olan bakırın işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürün bakır cürufunu harç içerisinde kullanmışlardır. Üretilen arçların EM özellikleri network analizör cihazı kullanılarak 8,12-12,4 GHz bant aralığında incelenmiştir. Sonuçlar cüruf içeren harçların sanal ve gerçek iletim parametrelerinin cüruf oranının artmasıyla arttığı; yansıma parametrelerinin ise cüruf oranının artırılmasıyla azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Minimum yansımanın 8,2-8,4 GHz bant aralığında -13,4 dB olduğu rapor edilmiştir. %50 oranından fazla cüruf içeren harçların EM dalgaları daha fazla soğurmadığı fakat yansıttığı tespit edilmiştir. Numune kalınlığının mikrodalga frekansının ve cüruf oranının artmasıyla aynı EM davranış için azaltılabileceği vurgulanmıştır. %50 bakır cürufu içeren harçların daha yüksek basınç dayanımı ve daha iyi mikrodalga soğurma becerisinin olduğu tespit edilmiştir [36].

Mazzoli ve ark. (2018) çalışmalarında grafen oksit ve metalik tozları çimento esaslı kompozitlerde kullanarak EM dalga zayıflatıcı yapı malzemesi üretmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarının yenilikçi kısmı olarak grafen oksit mikro parçacıklarının ve kısa çelik liflerin birlikte sinerjik bir etki yaratarak hem mekanik özelliklerde iyileştirmede hem de EM dalga zayıflatmada etkili bir yol olduğunu savunmuşlardır [37].

Cao ve ark. (2010) 8,2-12,4 GHz frekans aralığında 30 ile 600 °C sıcaklık arasında kısa karbon lif ve silika içeren kompozitlerin dielektrik ölçümlerini yapmışlardır. Kompozit geleneksel seramik yapım teknikleriyle elde edilmiştir. Geçirgenliğin gerçek ve sanal kısmı, sıcaklığın artmasıyla artmıştır. Bunun sebebinin elektron polarizasyonunun kısalan gevşeme süresine ve karbon fiberlerin artan elektrik iletkenliği olduğunu belirtmişlerdir. Frekansın etkisi yansıma ve soğurma katsayılarında görülmüştür. Test sonuçları ürettikleri kompozitin iyi bir EM dalga zayıflatma özelliği olduğunu ayrıca ortaya çıkarmıştır [38].

Zukowski ve ark. (2020) çalışmalarında doğası gereği iletken olmayan çimento esaslı kompozitleri iletken dolgu malzemeleri kullanarak iletken hale getirilebileceğini savunmuşlardır. Bu amaçla çimento esaslı kompozitlere iletken polimerler, karbon esaslı malzemeler, metal tozları, lifler veya plakalar katılarak istenilen özelliğe sahip malzemelerin tasarlanabileceğinden bahsetmişlerdir. Yazdıkları kitapta çimento esaslı kompozitlerin EM kalkanlamada kullanımı konusunu geniş bir bakış açısı ile ele almışlardır [39].



Yao ve ark. (2017) silis dumanı ve kolloidal grafit ve nikel lif içeren çimento esaslı kompozitlerin içerisindeki nikel liflerin daha iyi dağılması ve EM dalga zayıflatmada kullanılması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarını 1–1500 MHz bant aralığında koaksiyel kablo yöntemiyle deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kompozitlerin elektrik iletkenliğini dört noktalı prob ölçer ile nikel lif, silis dumanı ve koloidal grafit dağılımının homojen dağılıp dağılmadığını ise SEM ile incelemişlerdir. Sonuçlara göre nikel liflerin kullanıldıkları çimento esaslı kompozitin EM dalga zayıflatmasında çok etkili olduğu vurgulanmıştır. Nikel lif oranının kompozitte artırılmasıyla EM dalga zayıflatma kabiliyeti de artmıştır. En iyi EM dalga soğuran çimento esaslı kompozitin %20 kolloidal grafit ve %5 oranda nikel lif içeren numuneler olduğu gözlemlenmiştir. En etkili bant frekansı ise 1170 MHz olarak rapor edilmiştir. Çalışmanın sonunda ise kolloidal grafit ve nikel liflerin beraber çimentolu karışımlarda kullanımının EM dalga zayıflatmada etkili olabileceğinin altı çizilmiştir [40].

Nam ve ark. (2012) çalışmalarının başında karbon nanotüplerin üstün fiziksel yapıda olduklarını fakat nano parçacıkların kullanıldıkları yapı içerisinde homojen dağılmadıklarından dolayı gereken performansı gösteremediğini vurgulamışlardır. Bu çıkış noktası ile çimento matrisindeki liflerin homojen dağıtılması için kullanılan silis dumanını karbon nanotüplerin de homojen dağıtabileceğini savunmuşlardır. Çalışmanın frekans aralığını 45 MHz–18 GHz olarak ayarlamışlardır. Çimento esaslı kompozitlerde ağırlıkça %0,6 oranında karbon nanotüp ve ağırlıkça %20 oranında silis dumanı kullanıldığında en iyi EM dalga zayıflatma yeteneği gözlemlenmiştir [41].

Nam ve Lee (2016) çalışmalarında çok duvarlı karbon nanotüp ile uçucu külün sinerjik davranışıyla gelişmiş EM dalga soğurma özelliği bulunan malzeme geliştirmeyi amaçlamışlardır. Karışımlara değişik miktarlarda uçucu kül ve silis dumanı eklenmiştir. Silis dumanı kompozitte çok duvarlı karbon nanotüplerin homojen dağılmasını sağlamak için kullanılmıştır. EM dalga kalkanlama etkinliği en fazla 1-18 GHz frekans aralığında %0,6 nanotüp, %20 silis dumanı ve %75 oranda uçucu kül içeren kompozitte  $-8,0 \sim -57,1$  dB olarak ölçülmüştür [42].

Cao ve Chung (2004) uçucu külün katkı malzemesi olarak kullanılmasıyla EM dalga kalkanlama etkinliği 1 GHz frekansta 4 dB den 8 dB'ye çıkarken silis dumanının tek başına kullanılması ile EM dalga kalkanlama etkinliğini çok değiştirmedeğini savunmuşlardır. Elektrik direncinin silis dumanının arttırılmasıyla azaldığı fakat uçucu kül kullanılmasıyla

değişmediği gözlemlenmiştir. Uçucu kül ve silis dumanının beraber kullanılmasıyla yansıtma değerlerinde artış görülmüştür. Uçucu külün etkinliği muhteva ettiği  $Fe_2O_3$ 'e ithaf edilmiştir [43].

Liu ve ark. (2017) ferriter oksit ( $Fe_3O_4$ ) nano partüküllerini karbon lif içeren çimentolu kompozitler içerisinde EM dalga zayıflatma becerisini arttırmak için kullanmışlardır. Ölçümleri X-bantta (8,2–12,4 GHz) almışlardır. 30-50 nm çapında olan küresel  $Fe_3O_4$  nano partükülleri solvotermal yöntemi ile sentezlemişlerdir. %5 oranında  $Fe_3O_4$  nano partükül ve %0,4 oranında karbon lif içeren kompozitlerin 29,8 dB kalkanlama etkinliğine sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu yapıdaki EM dalga kalkanlama etkinliği sadece karbon lif içeren kompozitlerden %34,4 daha fazladır. Yapıdaki üstün EM dalga zayıflatma becerisi  $Fe_3O_4$  nano partükülleri ve karbon liflerin sinerjik etkisiyle açıklanmıştır [44].

Wen ve Chung (2004) çapı 8  $\mu$ m uzunluğu 6 mm olan paslanmaz çelik lifleri hacimce %0,72 oranında çimento hamurunda kullanarak 1,5 GHz frekansta EM dalga kalkanlama etkinliğini 70 dB olarak ölçmüşlerdir. Kalkanlamanın ana sebebinin kompozitin yansıtma özelliğinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Üretilen malzemenin elektrik direnci 16  $\Omega$  cm olarak ölçülmüştür. Kullanılan kumun kalkanlama etkinliğinde çok etkili olmadığı rapor edilmiştir. Çelik liflerin yarattığı etkinin donatı varlığında da devam ettiği çalışmada dikkatleri çekmiştir [45].

Fan ve ark. (2017) çimentolu kompozitlere paslanmaz çelik tozu katarak EM dalga zayıflatıcı malzeme elde etmeye çalışmışlardır. Özellikle 5 mm kalınlığında ve %45 katkı oranı sonucunda çimento esaslı kompozitler ciddi EM dalga zayıflatma özelliği sergilemişlerdir. Bu etkili ölçümler 500 MHz–1,5 GHz bant aralığında 6–9 dB civarında EM dalga kalkanlama etkinliği olarak görülmüştür. Bu özellik numuneye gömülmüş olan paslanmaz çelik tozda bulunan metal damlacıklarına ve ferrite atfedilmiştir, sonuç olarak radyasyon emilimi güçlendirilmiştir. Ayrıca sonuç kısmında, numune kalınlığının artmasıyla, EM dalga kalkanlama etkinliğinin de arttığı belirtilmiştir [46].

Micheli ve ark. (2014) çalışmalarını telefonların çalıştığı 0,75-1,12 GHz frekans aralığında yapmışlardır. Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş betonların EM özelliklerini nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Dalga kılavuzu ile betonların dielektrik özellikleri tespit edilmiştir. Çıktılara göre büyük ölçekli betonların EM dalga kalkanlama özellikleri

hesaplanmıştır. 15 cm kalınlığa sahip ağırlıkça %3 karbon nanotüp içeren numunelerde 50 dB'e kadar EM dalga kalkanlama gözlemlenmiştir [47].

Zhang ve ark. (2014) karbon siyahını dielektrik kayıp özelliklerinden dolayı çimento içerisinde kullanmışlardır. Yansıma kayıpları 2-18 GHz bant aralığında ölçülmüştür. Deney sonuçları yüksek frekanslarda soğurma özelliklerinde artış olduğunu göstermiştir. Karbon siyahı katkılama oranı ve numune kalınlığının soğurma özellikleri üstündeki etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. %5 oranında karbon içeren 20 mm kalınlığındaki numunelerin 18 GHz frekansta en az yansıma kaybı -10,6 dB olarak gözlemlenmiştir [48].

Sun ve ark. (2014) çalışmalarında çimento içerisinde karbon siyahı ve taş yünü kullanarak EM radyasyonu azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda bu iki malzemenin birlikte kullanımının EM dalga soğurmada, çimento içerisinde tek başlarına eklenmelerinden daha etkili olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %5 karbon siyahı ve %9 taş yünü içeren 20 mm kalınlığındaki numunelerin 18 GHz frekansta -11,3 dB yansıma kaybı sonucu verdiği tespit edilmiştir. Kalınlığın tek başına artırılmasının soğurma özelliklerini arttırmaya yeterli olmadığı ayrıca rapor edilmiştir [49].

Guan ve ark. (2007) 8-18 GHz frekans aralığında genişmiş polistiren (EPS) içeren çimento esaslı poroz kompozitler üretmiş ve bu malzemelerin EM özelliklerini incelemişlerdir. EPS içeren numunelerde yansıma kayıplarının iyileştiği, EPS boyutunun ve numune kalınlığının bu gözenekli kompozit malzemenin elektromanyetik dalga yansıma kaybı üzerinde dikkate değer bir etkisi olduğu görülmüştür. %60 EPS konsantrasyonu ve 1 mm'lik EPS boyutu ile, yansıma kaybının 8-18 GHz'de -8 dB'den daha yüksek ve -10 dB için bant genişliği 20 mm kalınlığa sahip bir numune için 6,2 GHz'e ulaştığı vurgulanmıştır [50].

Baoyi ve ark. (2011) çalışmalarında boşluklu malzemeleri (genleşmiş polistiren (EPS), genleşmiş perlit ve gözenekli şist) çimento esaslı kompozitlerde kullanarak EM dalga radyasyonunu engellemeye çalışmışlardır. Çalışmalarını 1,7-18 GHz frekans aralığında yansıma kayıplarını ölçerek yapmışlardır. Çalışmalarında EM dalga soğurmanın boşluklu malzeme kullanıldığında arttığını gözlemlemişlerdir. Gelen dalgaların boşluklu malzemeler içerisinde çoklu saçılmaların EM dalga soğurulmasında etkili olduğu vurgulanmıştır. Boşluklu malzemenin miktarının ve geometrisinin ölçüm sonuçlarına büyük bir etkisi olduğu görülmüştür. En düşük yansıma -22 dB, numune hacimce %50 genişletilmiş

polistiren ile doldurulduğunda 5,6 GHz'de elde edilmiş ve numune hacimce %50 geliştirilmiş polistiren ve %2 karbon siyahı ile doldurulduğunda etkili emme bant genişliği (-10 dB'den az) 10,6 GHz'e ulaşmıştır [51].

Xie ve ark. (2016) geliştirilmiş perlit kullanarak EM dalga soğurucu karbon siyahı/alçı esaslı kompozitlerin etkili frekans aralığını ve EM dalga soğurma kabiliyetini arttırmayı hedeflemişlerdir. Karbon siyahı miktarı, geliştirilmiş perlit oranı, perlit boyutu ve kalınlık gibi parametrelerin EM dalga soğurmadaki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, empedans eşleşmesinin yanı sıra geliştirilmiş perlit parçacıklarının neden olduğu tekli ve çoklu saçılma ve kırılmalar nedeniyle üretilen kompozitlerin EM dalga soğurulmasının belirgin şekilde arttırılabileceğini göstermiştir. Çapı, hacimce perlit konsantrasyonu ve numune kalınlığı sırasıyla 1mm, %40 ve 20 mm olduğunda, %3 karbon siyahı içeriğine sahip numuneler için 2–3, 5–6,5 ve 8–18 GHz frekans aralıklarında yansıtmanın -10 dB'den düşük olduğu görülmüştür [52].

Bentis ve ark. (2012) X-bant frekans aralığında tekerlek lastiği ve metalürjik cürufur içeren harçları üreterek ucuz maliyetli EM dalga zayıflatıcı kompozitler elde etmek için çalışmışlardır. Çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özelliklerini de detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Sonuçlara göre cürufur içeren numunelerin tekerlek lastiği içeren numunelere göre daha iyi EM dalga zayıflattığı görülmektedir. Cürufur kullanımının kompozitin mekanik yapısında zayıflıklara sebep olmadığını fakat lastik kullanımının dayanımda zayıflıklara sebep olduğuna değinilmiştir [53].

Fan (2019) çalışmasında çimento bazlı malzemelerin manyetik ve elektrik iletkenliği sağlayacak malzemeleri barındırması açısından zayıf olduğunu düşünerek harç içerisinde manyetik ve elektrik iletkenliği arttırmak için metalürjik atıkları kullanmıştır. Bu atıkların kimyasal yapısındaki yüksek demir oranı ve ferrit özelliklerinden dolayı çimento esaslı kompozitlerde kullanılarak katma değer sağlayabileceğini yazmışlardır [54].

Dai ve ark. (2019) çelikhane cürufunun EM dalga koruyucu malzeme olarak yapı malzemelerinde kullanımını araştırmışlardır. Çelikhane cürufunun kimyasal kompozisyonu ve mineralojik fazı tespit edilmiştir. EM davranış 1-18 GHz bant aralığında incelenmiştir. Çelikhane cürufunun elektrik bileşenler (FeO ve karbon) ve manyetik bileşenler (manyetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dolayısıyla EM dalga soğurma özelliğine sahip olduğunu

savunmuşlardır. Çelikhane cürufunda Elektrik kaybın manyetik kayıptan çok daha fazla olduğu da ayrıca anlaşılmıştır. Cürufun öğütülme süresinin armasıyla elektrik ve manyetik özelliklerin arttığı görülmüştür. Yüksek frekanslarda daha fazla soğurma özellikleri ile karşılaşmıştır. En düşük yansıma 13 GHz frekansta -21 dB olarak ölçülmüştür. Çelikhane cürufu içeren çimento esaslı kompozit 10-18 GHz frekans aralığında EM dalga soğurucu özelliği göstermiştir. 25 mm kalınlığa sahip numune 11,5 dB'lik soğurma ile en yüksek değeri göstermiştir [55].

He ve ark. (2018) çalışmalarında nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik akışkan kullanarak çimento esaslı kompozitlere EM dalga zayıflatma yeteneği kazandırmayı amaçlamışlardır. Süpermanyetizm özelliklere sahip nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik akışkan birlikte çöktürme yöntemiyle (co-precipitation method) sentezlenmiştir. Çimento içerisine %5 oranda nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik akışkan eklendiğinde çimento esaslı kompozitin mükemmel EM dalga soğurma özelliği kazandığı görülmüştür. 9,5 GHz ve 6,3 GHz frekanslarda yansıma kayıpları ile birlikte soğurmanın -10 dB ve -15 dB olduğu görülmüştür. Bu sonuçların nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik toz ve nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik çamur içeren kompozitlerden daha iyi olduğu vurgulanmıştır. Bunlara ek olarak nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik akışkanın erken yaştaki hidrasyonu hızlandırdığı dolayısıyla erken yaştaki dayanımları da arttırdığı vurgulanmıştır. Kolay işlenebilirlik, ucuz, toksik olmama ve yüksek EM dalga soğurma özelliklerinden dolayı nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik akışkanın EM dalga soğurucu binalarda kullanılmasının mümkün olabileceği söylenmişlerdir [56].

Lesbayev ve ark. (2017) manyetit nano parçacıklar içeren betonların EM dalga kalkanlama özelliklerini araştırmışlardır. Nano parçacık içeren ve içermeyen betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların su çimento oranı 0,45 olarak sabit tutulmuştur. Nano partiküller Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kimyasal yoğunlaştırma yöntemiyle sentezlenmiştir. XRD sonuçları partiküllerin kübik kristal yapıda olduğunu göstermiştir. Manyetik nano parçacıkların süper manyetik özelliklere sahip olmasından dolayı EM dalga soğurmada kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Ağırılıkça %0,5 yoğunlukta nano parçacık içeren numunelerde eğilme dayanımında negatif etki gözlemlenmemiştir. Çalışmada ayrıca nano parçacık içeren betonların 0,7- 13 GHz frekans aralığında EM dalga kalkanlamada etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır [57].

Wang ve ark. (2017) çalışmalarında EM dalga soğurucu tabaka oluşturmak için manyetik alanda üretilen çimento esaslı malzemelerin yüzey kaplamasında kullanılmak üzere Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

/SiO<sub>2</sub> nano parçacıkları tanıtmışlardır. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> nano parçacıklar ile iyileştirilen çimento esaslı malzemelerin saf Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile iyileştirilen malzemelerle kıyaslandığında daha iyi EM dalga soğurma özelliğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano partükülleri üzerine kaplanan SiO<sub>2</sub> nin çimento hidrasyonu için gereken suyu %45,3 oranda azalttığı ayrıca kaplanan SiO<sub>2</sub> nin çimento esaslı kompozit üzerinde SiO<sub>2</sub> kütlesi ve kalsiyum silikat hidrat jelleri oluşturarak dalga soğurucu malzemeleri bağlaması ile açıklanmıştır [58].

Guan ve ark. (2017) doğal manyetiti çimento matrisi içerisinde değerlendirerek ucuz EM dalga zayıflatıcı çimento esaslı kompozit malzemeler geliştirmeyi çalışmalarında hedeflemişlerdir. Malzemenin dielektrik, manyetik ve EM dalga soğurma özelliklerini 2,6–3,95 GHz (S band) frekans aralığında incelemişlerdir. Çalışma sonucunda doğal manyetit kullanımının dielektrik ve manyetik kayıplarını arttırdığı ve EM dalga soğurma yetisinin arttığı ortaya çıkmıştır. Çimento esaslı kompozit içerisinde ağırlıkça %15 doğal manyetit kullanımında optimum EM dalga soğurma özelliği not edilmiştir. 3,7 GHz’de –28 dB yansıma kaybıyla en güçlü soğurma tepe noktası gözlemlenmiştir [59].

Khushnood ve ark. (2016) yerfıstığı ve fındık kabuklarından elde ettikleri karbon nano/mikro parçacıkları içeren çimento esaslı kompozitler üretmişlerdir. Ağırlıkça %1 oranında çimento hamuruna eklendiğinde çimento matrisinde eğilme dayanımı ve basınç dayanımında iyileşmelere neden olmuştur. Kıyaslama yapıldığında ağırlıkça %0,5 fındık ya da fıstık parçacıkları içeren çimento esaslı kompozitlerin literatürde sunulan aynı oranda karbon nanotüp içeren kompozitlere göre daha yüksek EM dalga kalkanlama özellikleri sergilediği vurgulanmıştır [60].

Lu ve ark. (2017) çalışmalarında EM dalgaları soğurma fonksiyonu olan yapay agregalar geliştirmişlerdir. Toz TiO<sub>2</sub>’yi kil ile karıştırarak oluşturdukları topakların kalsinasyonu sonucu yapay agregalar elde etmişlerdir. EM testler 8-18 GHz bant aralığında yapılmıştır. Ürettikleri agregalarla yapılan betonların standart betonlara göre EM dalga soğurma özelliğinde ciddi artışlar tespit etmişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri yapay agregalarla mangan çinko ferrit kullanımının daha ileri seviyelerde EM dalga soğurduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak yapay agregalarla üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarının standart betona göre daha yüksek basınç dayanıma sahip olduğu da vurgulanmıştır [61].

Ma ve ark. (2018) çalışmalarında bakır cürufu ve tozu içeren 3 boyutlu yazıcılarda kullanılmak üzere geliştirilen EM dalga soğurabilen çimento esaslı kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitin kimyasal yapısı ve morfolojisi detaylı bir şekilde açıklanıp EM ölçümler 1-18 GHz frekans aralığında yapılmıştır. İlk aşamada ağırlıkça %0 ile %30 arasında bakır cürufu içeren kompozitler üretilmiştir. Yazılabilirliği en iyi olan karışım belirlendikten sonra EM dalga soğurma özelliğini daha da arttırmak için toz bakır ağırlıkça %2 ile %10 arasında kompozite eklenerek optimum karışım aranmıştır. Yapılan testlerin sonucunda 3,48 GHz frekansta %25 bakır cürufu ve %6 bakır tozu bulunduran çimento esaslı kompozitin en iyi soğurma değeri olan 10,2 dB'e ulaştığı görülmüştür [62].

Fan ve ark. (2018) çalışmalarında bakırın eritilmesi sonucu çıkan cürufların EM dalga soğurucu olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda çimento matrisine %45 oranında katılan cürufun 500 MHz–1,5 GHz frekans aralığında EM dalga kalkanlama etkinliğini 7–8 dB aralığında ölmüşlerdir. Bu değer gelen dalgaların %60 oranında zayıflatıldığını göstermiştir. Bu özellik bakır cürufu içerisindeki demir silikon, fayalit ve manyetite atfedilmiştir [63].

Lunak ve ark. (2016) grafit tozunun alkali aktive edilmiş cüruf harcının elektriksel özelliklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %1 ila 10 arasında değişen miktarda grafit tozu harç içerisinde eklenmiştir. Hazırlanan prizmatik numunelerin elektrik direnç spektrumları, geçirgenlik ve kayıp faktörü ölçülmüştür. Alkali ile aktive olan cüruf harcı içine karbon tozu ilavesi, numunelerin elektriksel özelliklerini değiştirmiştir. Karbon partikülleri malzemenin daha yüksek iletkenliğine neden olup, ayrıca numunenin elektrik kapasitesini de arttırmıştır [64].

Liu ve ark. (2015) havada külleştirilmiş ve farklı sıcaklıklarda manyesitermik indirgenmiş pirinç kabuğu ve nitrojende külleştirilmiş ve farklı sıcaklıklarda manyesitermik indirgenmiş pirinç kabuğunun EM dalga soğurma özelliklerini incelemişlerdir. Havada külleştirilen pirinç kabukları düşük dielektrik özelliklere sahipken, yüksek miktarda karbon ve silikon karbid içeren nitrojende külleştirilen pirinç kabuklarının yüksek dielektrik kayıplara sahip olduğu görülmüştür. Karbon miktarı arttıkça maksimum bant genişliği daralırken, silikon karbid miktarının artmasıyla da optimum numune kalınlığı düşmüştür [65].

Jia ve ark. (2017) çalışmalarında üç boyutlu çapraz bağlı yapısını tamamen kullanarak, endüstriyel atık olan tekerlek lastiğini değerli ve yüksek performanslı bir elektromanyetik girişim koruyucu malzemeye dönüştürmüşlerdir. Lastiğe karbon nanotüp (CNT) eklemesi yapılmıştır. Sadece ağırlıkça %5 CNT içeren kompozit, 109,3 S/m elektrik iletkenliği ve bildirilen CNT/polimer kompozitlerinin çoğundan daha üstün olan 66,9 dB EMI koruma etkinliği (SE) sağlediği çalışmanın sonucunda ortaya çıkmıştır [66].

Bantsis ve diğerleri, (2011) seramik tuğlaların elektromanyetik dalga soğurma özelliklerini araştırmak amacıyla, tufali dolgu maddesi olarak %50'ye kadar seramik tuğlalarda ve %80 oranına kadar seramik sandviç yapılarda kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar tuğlaların tufalin miktarına bağlı olarak elektromanyetik soğurma özellikleri kazandığını göstermektedir [67].

Seramiklerin ve demir oksit içeren yapı malzemelerinin EM dalga soğurma özellikleri bazı araştırmacılar tarafından araştırılmaktadır. EM dalga koruması için gözenekli yapıya sahip düşük maliyetli demir oksit içeren hafif seramiklerin sentezi ve uygulamaları, Tufal kullanılarak Yunan ahşap şablonlarında uygulanmıştır [68].

He ve ark. (2018) çalışmalarında EM dalga soğuran çimento esaslı malzemeleri demir oksit ( $Fe_3O_4$ ) içeren ceramsite kullanılarak hazırlanmıştır. Ceramsite fonksiyonel agrega olarak kullanılmış, mükemmel EM emme özellikleri göstermiş ve kullanıldığı numunelerde maksimum yansıma kaybı (RL) değeri %90 EM enerjisinin emilimine karşılık gelen -10,2 ile -10,7 dB arasında bulunmuştur. Demir oksit içeren ceramsite ile hazırlanmış betonun, 28 günlük 46 MPa basınç dayanımına sahip olduğu rapor edilmiştir [69].

Zhang ve Sun (2010) empedans eşleştirme teorisi EM dalga yayılım yasaları esas alınarak Mn-Zn ferrit doldurulmuş iki katmanlı mikrodalga soğurucu çimento esaslı kompozitler tasarlamışlardır. Çalışma sonucu silis dumanının kompozit içerisinde kullanılmasının çimentolu kompozit ve boşluk arasındaki empedans eşleştirmesini iyileştirdiğini göstermiştir. Tek katmanlı yapı ile karşılaştırıldığında, çift katmanlı çimento esaslı levhaların yansıtıcılığı 6-8 dB arasında azaltılabilir ve ağırlıkça %30 ferrit eklenmesi ile maksimum 15 dB değerleri görülebilir sonuçlarına varılmıştır. Ek olarak, elektromanyetik dalganın yansıtıcılığı, 11,4-18 GHz frekans aralığında 10 dB'den düşük olduğu da vurgulanmıştır [70].



Zhang ve ark. (2017) çalışmalarında atık polietilen tereftalat (PET) ve uçucu külü iki tabakalı çimento esaslı kompozitte hem karşılayıcı hem de soğurucu tabakada kullanarak yeni bir EM dalga soğurucu elde etmeyi amaçlamışlardır. Karbon siyahı ve Ni-Zn ferrit dalga soğurucu ana malzemeler olarak kullanılmıştır. Çalışmalarında uçucu külün karşılayıcı ve soğurucu tabakadaki optimum değerlerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda uçucu külün soğurucu tabakada %50, karşılayan tabakada ise %30 oranda kullanıldığında en az yansıma kaybı olan -22,3 dB değere 13,2 GHz frekansta ulaştığı görülmüştür. Ayrıca, etkili olan (< 8 dB) EM dalga emme bant genişliğinin değeri 6,4 GHz olarak ölçülmüştür [71].

Pande ve ark. (2017) çalışmalarında Polianilin/kırmızı çamur kompozitleri kimyasal oksidatif polimerizasyon ile hazırlanmışlardır. Kompozitin menerojik yapısını detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırma grubunun sonuçlarına göre kompozitler, emilimin baskın olduğu 3 mm kalınlıkta 8,2-12,4 GHz frekans aralığında (X-bandı) 33-41 dB (>%99,99 zayıflama) EM ekranlama etkinliği göstermiştir [72].

Gairola ve ark. (2017) çalışmalarında Poli (o-toluidin)/kırmızı çamur kompozitleri kimyasal oksidatif polimerizasyon ile hazırlanmışlardır. Kompozitin menerojik yapısını detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırma grubunun sonuçlarına göre kompozitlere ağırlıkça %50 kırmızı çamurun dahil edilmesi, 8,2-12,4 GHz frekans aralığında (X bandı) 8,9 dB'lik bir ekranlama etkinliği ile sonuçlanmıştır [73].

### 3. MATERYAL YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

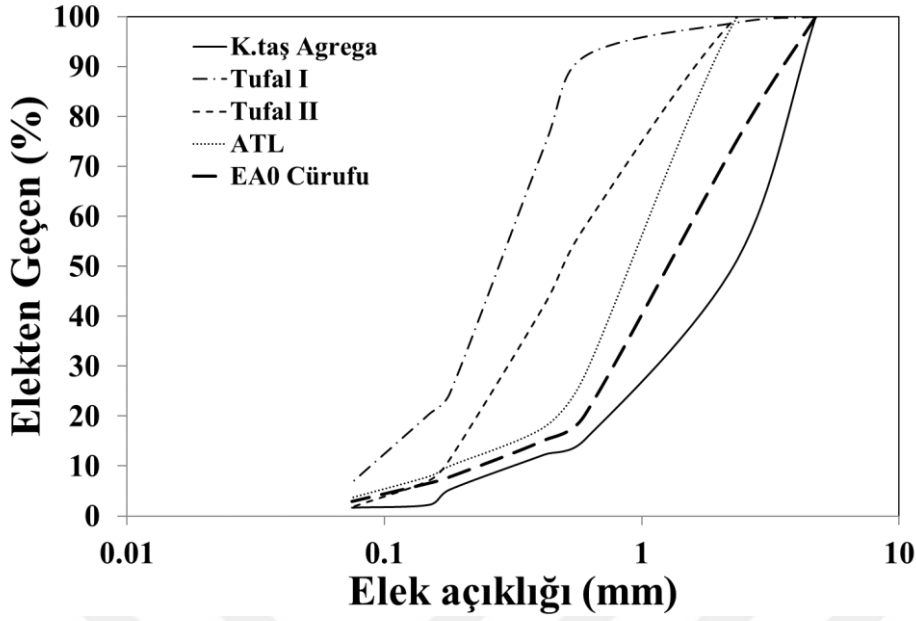
Tez çalışmasında standart Portland CEM I 42,5 R çimento, maksimum dane çapı 4 mm olan kırma taş dolomitik kireçtaşı agrega ve şebeke suyu 3 ana malzeme olarak Kontrol numune hazırlamada kullanılmıştır. Karışımlarda ince katkı malzemeleri çimento ile ağırlıkça kaba katkı malzemeler ise agrega ile hacimce yer değiştirilerek farklı özelliklere sahip çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. Bunlardan farklı olarak kum bulundurmayan farklı oranlarda karbon lif ve nikel kaplamalı karbon lif içeren çimento pastaları da üretilmiştir.

##### 3.1.1. Agrega

Hazırlanan tüm harç karışımlarında İskenderun bölgesinde elde edilen dolomatik kireçtaşı kırmataş agrega kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de fiziksel özellikleri verilen ince agrega (kum) İskenderun’da faaliyet gösteren hazır beton üretim tesislerinde de kullanılmaktadır. Kullanılan bütün agregalara ait gradasyon eğrisi grafiği Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. İnce kırmataş agregaya ait fiziksel özellikler

Özellikler	Analiz sonuçları
Parçacık boyutu (mm)	0–4
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,5
Su emme kapasitesi (%)	3,1
Cl <sup>-</sup> içeriği (%)	0,0043
Alkali silika aktivitesi (%)	–
Petrografik tanımlama	Kireçtaşı agrega



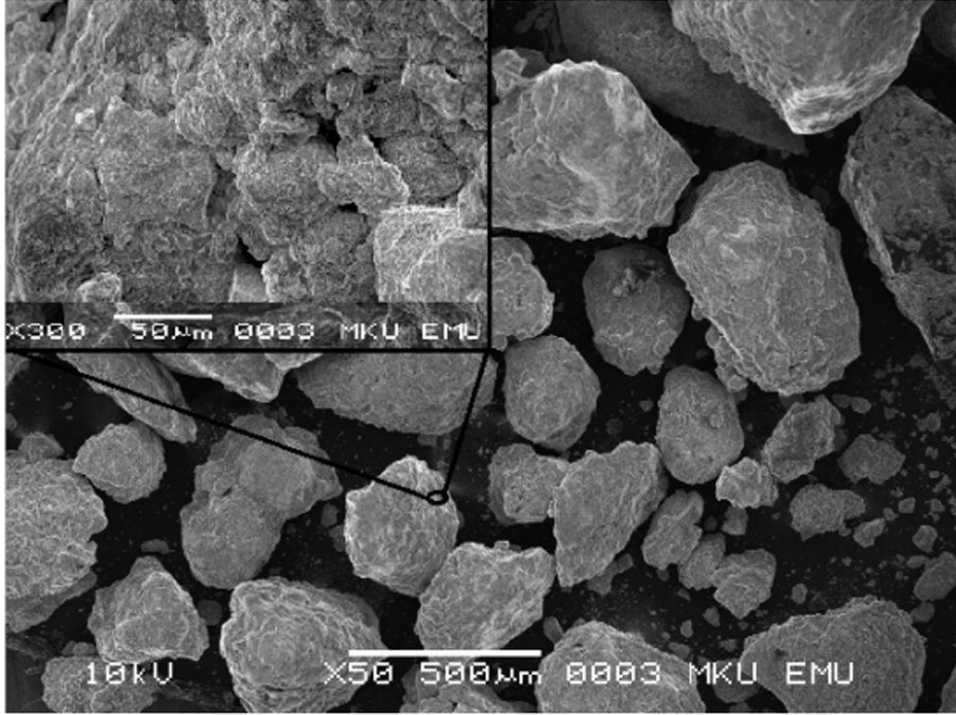
Şekil 3.1. Agregalara ait gradasyon eğrisi

### 3.1.2. Elektrik ark ocağı cürufu

Elektrik ark fırını içerisindeki hurda, pik demir, cüruf yapıcılar, kok tozu, sıvı oksijen elektrotlar kullanılarak eriyik hale getirilir. Bu işlem sonucunda sıvı çelik, cüruf ve baca gazı ortaya çıkar. Cüruf metal eriyiğın rafine edilmesi ve oksitlenmesi sonucu yüzeyde oluşur. Oluşan cüruf yoğunluğunun eriyik metalden düşük olması sebebiyle yüzeyde birikir ve bu birikinti potadan toplanır. Fırının çalışma mekanizması şu şekilde özetlenebilir:

Üst elektrot, katot görevi gören tungsten kafa işlemeli su soğutmalı bakır bir kutuptur. Alt elektrot (anot) ise eritilecek metaldir. Su soğutmalı bakır platform sadece erimiş alaşım için değil, aynı zamanda pozitif elektrodun bir parçasıdır. İnert gaz (yani Ar) vakumu altında, elektrik arkı bir iyon plazması oluşturur. Elektrottan geçen elektrik akımı, anot metallerini eriterek birkaç yüz ampere ulaşabilir. Metal banyoya sağlanan güç, akım yoğunluğu izlenerek ayarlanabilir.

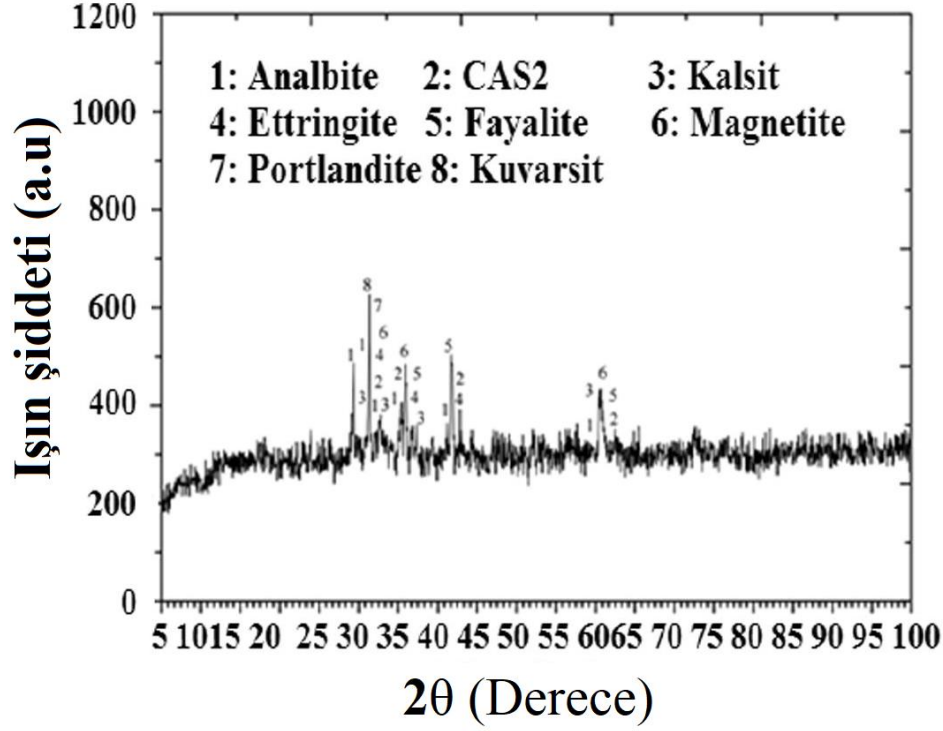
Bu çalışmada kullanılan elektrik ark ocağı cürufu (EAOC) İskenderun-Tosçelik tesislerinden alınmıştır. Cürufa ait SEM görüntüsü, XRD deseni ve XRF sonuçları sırasıyla Şekil 3.2- Şekil 3.3 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. EAO cürafuna ait SEM görüntüsü

Şekil 3.2’de EAO’ye ait SEM görüntüsünden anlaşılacağı üzere cüraf granüle haldedir ve şekli düzgün olmayan bir geometriye sahiptir. Cürafun yoğunluğu  $3,2 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Cüraf tanesi daha da yakından incelendiğinde yüzeyin girintili çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu girinti ve çıkıntılar sayesinde çimento matrisinde bu malzemenin kullanılabilmesi düşünülmüştür. Girinti ve çıkıntılara sızacak çimento pastasının iyi bir kenetlenme sağlayacağı dolayısıyla çimentolu kompozitte cürafun belirli miktarda kullanılması sonucu kompozitin dayanımında artışların olabileceği öngörülmüştür.

Şekil 3.3 X ışınımı kırınımı ile test edilmiş EAO’nin ana mineralojik bileşimini göstermektedir. Analiz sonucunda cürafaya ait ana fazların Portlandit, Kuvarsit ve Manyetit olduğu anlaşılmaktadır. Ana fazlar kimyasal bileşimi gösteren Çizelge 3.2’deki verilerle uyumludur. EAO’ye ait XRD deseninde az miktarda camsı fazın varlığı görülür. Bunun nedeni kısmen de olsa tesiste kullanılan soğutma işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir [74].



Şekil 3.3. EAOC'ye ait XRD patterni

Çizelge 3.2. EAOC'ye ait XRF sonuçları

Kimyasal Kompozisyon	Analiz sonuçları (%)
CaO	34,88
SiO <sub>2</sub>	18,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,67
FeO	15.,02
MgO	6,70
MnO	2,64
SO <sub>3</sub>	0,74
K <sub>2</sub> O	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90

Çizelge 3.2'den anlaşılacağı üzere EAOÇ'nin kimyasal kompozisyonunu oluşturan ana bileşikleri CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO ve MgO'dur. Test edilen numune içerisindeki bileşiklerin oranları sırasıyla %34,88, %18,73, %11,57, %16,67, %15,02 ve %6,70 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde göze ilk çarpan cüruf içerisinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve FeO bileşikleri oranlarının oldukça yüksek olmasıdır. Cürufun bu kimyasal özelliğinden faydalanarak bu malzemenin elektromanyetik dalga zayıflatmada kullanılabileceği öngörülmüştür.

### 3.1.3. Tufal

Sürekli döküm işleminde yüksek sıcaklık (1100 - 1300 °C) ve oksitleyici ortam nedeniyle, sıcak levha ve kütük yüzeyinin soğutulması sırasında tufal olarak adlandırılan oksitlenmiş bir tabaka oluşur [75]. Tufali levha ve kütük yüzeyinden ayırmak için yüksek basınçlı su püskürtülür. Çelik üretim hattında ve işleminde sıcaklık, zaman ve oksijen oranı, tufal oluşumunu etkiler. Tufalin ana bileşimi demir oksittir. Enerjiye ve sürece bağlı olarak, wustite (FeO) manyetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ve manyetit hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dönüşür. Wustit'i magnetite ve magnetiti hematite dönüştürmek için sırasıyla 32 kcal ve 42,5 kcal enerji gerekir [76]. Bu tezde iki çeşit tufal kullanılmıştır. Tufallere ait resimler Şekil 3.4 ve 3.5'te verilmiştir. Tufallerin farklı renklerde olmalarının sebebi farklı sıcaklıklarda, farklı işlemler sonucu oluşmalarıdır.



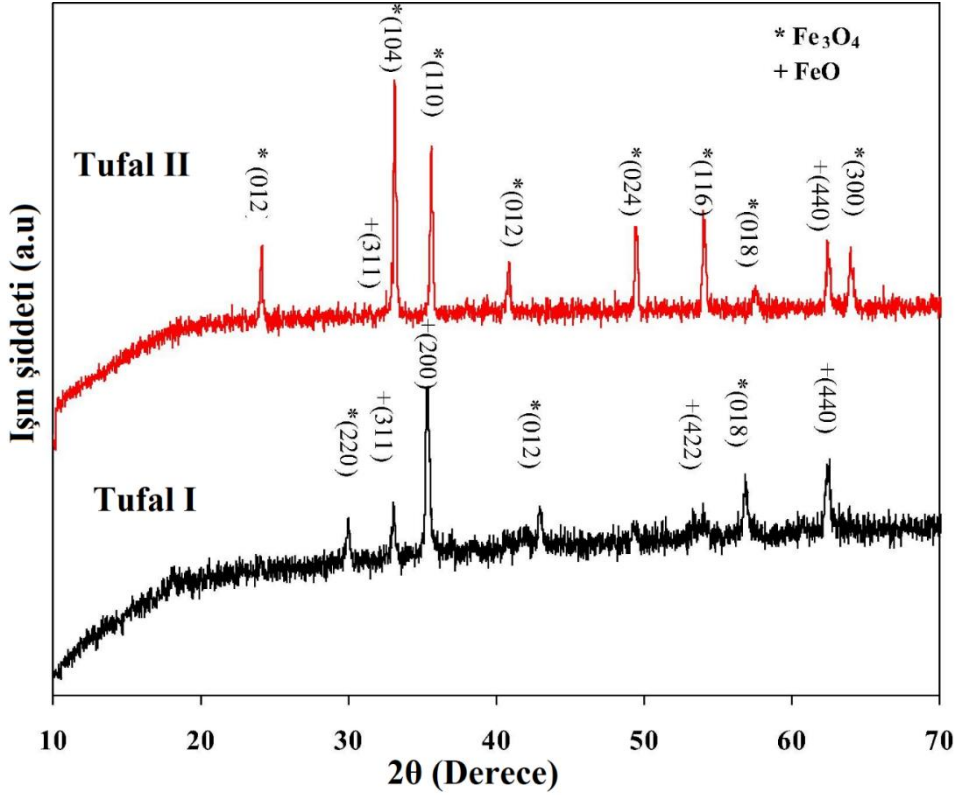
Şekil 3.4. Eryılmazlar A.Ş.'den alınan tufal



Şekil 3.5. MMK Metalurji'den alınan tufal

Eryılmazlar A.Ş.'den temin edilmiş olan 200 kg'lık tufal (**Tufal I**) örneğinden numune alma yöntemi ile alınan örnek üzerinde karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Tufal I örneğinin XRD, FTIR, SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere ait toz kırınım deseni, IR bantları gösteren spectrum ile SEM fotosu ve EDX verileri Şekil 3.6, 3.7, 3.8 ve Çizelge 3.3'te sunulmuştur. XRD toz kırınım deseni incelendiğinde yapının vüstit ( $\text{FeO}$ - ICDD card No 00-039-1346) ve ağırlıklı olarak manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - ICDD card No 04-014-3986)'den oluştuğu tespit edilmiştir [77]. IR spektrumu incelendiğinde, bantların XRD yapısını destekler nitelikte olduğu  $580\text{ cm}^{-1}$  ile  $440\text{ cm}^{-1}$  arasında gözlenen yayvan piklerin manyetite ait spesifik bantlar olduğu belirlenmiştir [78,79]. SEM fotosu yapının pulumsu yapılardan meydana geldiğini gösterirken, EDX sonucu ise XRD ve IR band sonuçlarını destekler niteliktedir ve beklenildiği gibi yapının demir ve oksijenden oluştuğunu göstermektedir. Bilindiği gibi özellikle manyetit kübik kristal sisteminde kristalleşir ve oda sıcaklığında ferromanyetik özelliğe sahip olup bu özellikler EM kalkanlama için son derece önemlidir [80,81].

MMK metalürjiden alınan tufale (**Tufal II**) ait XRD pattern sonuçları analiz edildiğinde malzemenin hematit faz yapısına sahip olduğu anlaşılır ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  - ICDD card no 89-2810). Genel olarak, tufal bileşiminin esas olarak wustit ( $\text{FeO}$ ) ve manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) içerdiği bilinmektedir. Fakat bu malzeme için aynı şey geçerli değildir. Tufal II'nin yapısındaki kimyasal değişimin, üretim hattı ve fabrikadaki asit rejenerasyon sürecindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu malzeme eşkenar dörtgen (rhombohedral) kristal yapıya sahiptir ve oda sıcaklığında zayıf ferromanyetik özellik gösterir [82].

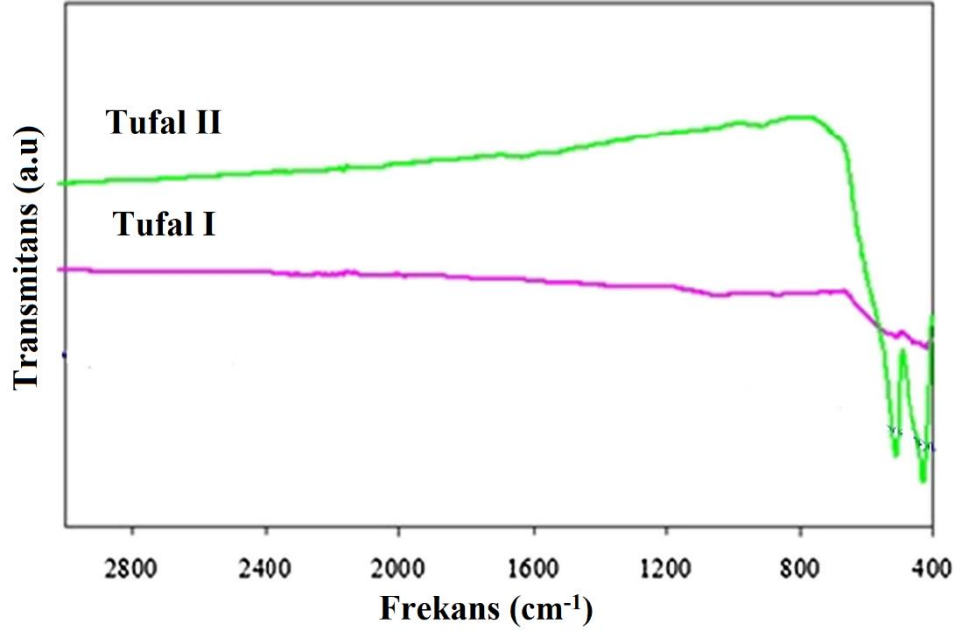


Şekil 3.6. Tufallere ait XRD analiz sonuçları

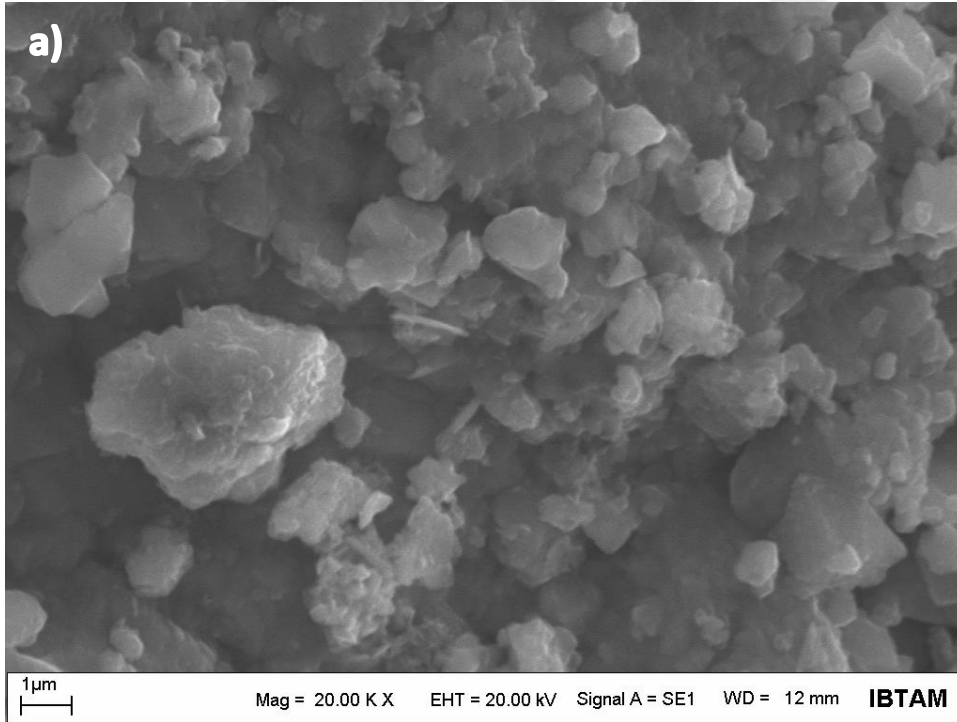
XRD sonuçlarını desteklemek için FTIR spektroskopisi ile başka bir analiz de yapılmıştır. Tufallerin kaydedilen titreşim modları Şekil 3.7’de gösterilmektedir. IR spektroskopisi, her bir molekülün titreşim ve dönme seviyelerini uyaramaz ve metalik bağlar çok farklı bir frekansta salınır. Tufal için literatür araştırması yapıldığında tufal için  $600 \text{ cm}^{-1}$  üzerinde IR bandının kaydedilmediği görülür [83]. Tufal I’in manyetit fazı IR ile doğrulanmıştır. Manyetit fazının karakteristik bantları  $577$  ve  $425$ ’te kaydedilmiştir [78,79]. Tufal II’ye ait  $512$  ve  $454 \text{ cm}^{-1}$ ’deki iki keskin tepe, hematit yapısını destekler niteliktedir [84]. Sonuçlar, IR spektrumunun XRD sonuçlarını doğruladığını göstermiştir.

Tufallerin morfolojisi ve elementel bileşimi EDX seçeneğine sahip SEM kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri Şekil 7’de verilmiştir. Tufal I’e ait SEM görüntüsünde ısıtma ve hızlı soğutma işleminden dolayı oldukça kaba ve erimiş yapı görülmektedir. Bundan farklı olarak oval ve aglomere parçacıklar Tufal II’de gözlemlenmiştir [85].

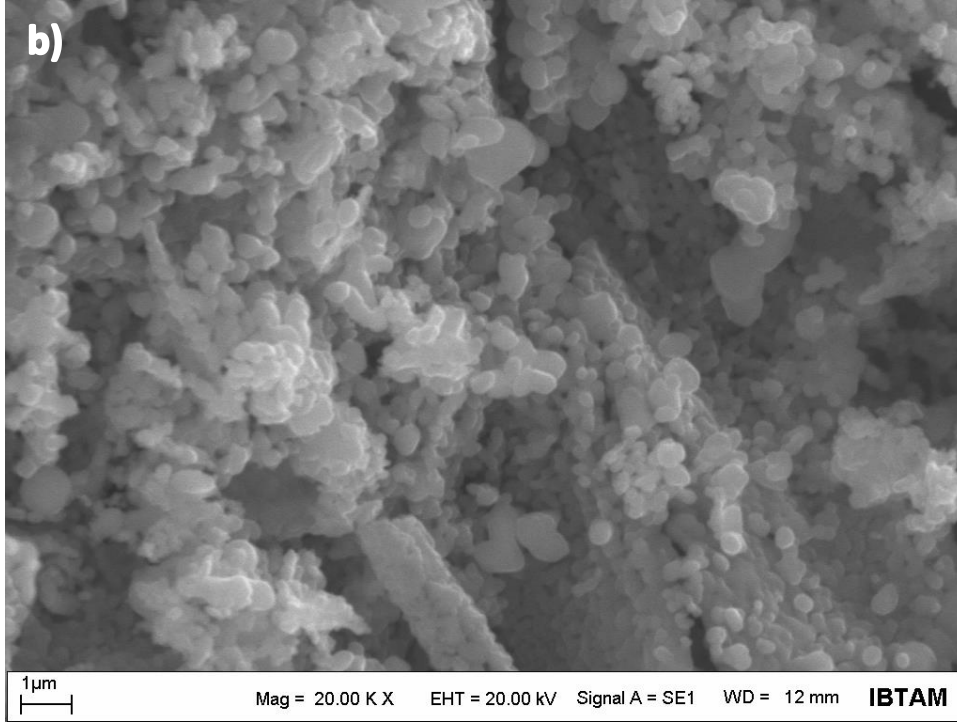




Şekil 3.7. Tufallere ait FTIR analiz sonuçları



Şekil 3.8. a) Tufal I'e ait SEM görüntüsü, b) Tufal II'ye ait SEM görüntüsü



Şekil 3.8. (Devam) a) Tufal I'e ait SEM görüntüsü, b) Tufal II'ye ait SEM görüntüsü

Elementel analiz sonuçları ise, tufallerdeki ana elemanların beklendiği gibi yapılardaki demir ve oksijen olduğunu göstermiştir.

Çizelge 3.3. Tufallere ait EDX analiz sonuçları

Elementler	Tufal I		Tufal II	
	C norm. [wt.-%]	C Atom. [at.-%]	C norm. [wt.-%]	C Atom. [at.-%]
Fe 26 K-serileri	82,24	57,01	79,17	52,13
O 8 K-serileri	17,76	42,99	20,83	47,87

Tufallere ait kimyasal kompozisyon (Çizelge 3.4) incelendiğinde demir bileşikleri göze çarpar. Demir bileşiklerinin gözlemlenmesi bu malzemelerin birer elektromanyetik dalga zayıflatıcı olarak kullanılabileceği öngörüsü oluşturarak bu malzemelerin çimento esaslı kompozitlerde kullanılabileceği fikrini ilk aşamada vermiştir.

Bunlara ek olarak Tufal I görece yoğunluğu ( $5 \text{ g/cm}^3$ ) yüksek iken Tufal II'nin yoğunluğunun ( $1,2 \text{ g/cm}^3$ ) düşük olduğu görülmüştür. Tufallere ait bu yoğunluk farkının kristal yapıların farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3.4. Tufallere ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	CuO	Rb <sub>2</sub> O	OsO <sub>4</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Tufal II	-	0,07	0,3	99,1	-	0,08	-	-	0,1	0,3	-	-
Tufal I	0,2	0,16	0,47	98,15	0,044	0,3	0,007	0,06	0,08	0,48	0,04	0,02

### 3.1.4. Atık tekerlek lastiği

Atık lastikler, karayolu ulaşım araçlarının artan kullanımının bir sonucu olarak çevre için küresel bir soruna sebep olmuştur. Biyolojik olarak kolayca parçalanamayan ve çevre için potansiyel bir tehdit oluşturan atık tekerlek lastikleri genellikle “siyah kirlilik” yaratır. Şekil 3.9’da atık tekerlek lastiği depolama alanlarından biri gösterilmiştir. Atık lastiğin asfalt kaplamada hafif dolgu, çimento fırınları için yakıt, karbon karası yapmak için hammadde olarak kullanımı ile ilgili denemeler sürmektedir [86,87]. Fakat bu kullanımların bazıları ekonomik veya çevresel olarak yeteri standartları sağlamayabilmektedir.



Şekil 3.9. Atık tekerlek lastiği depolama alanları [88]

Bu çalışmada kullanılan granule haldeki yapı, atık tekerlek lastiği içerisindeki teller çekildikten ve kırıcılarla kırıldıktan sonra maksimum dane çapı 4 mm olan parçacıklar şeklinde yapılar elde edilmiştir. Granule tekerlek lastiğinin görüntüsü Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluğu 0,9 t/m<sup>3</sup> olan bu malzeme karbon kaynağı olarak bu tezde kullanılmıştır. Atık lastik kauçuğunun ana bileşiminin karbon olduğu literatürde açıktır [89]. DSC kullanılarak belirlenen lastik numunesinin termogravimetri analizleri kauçuk numunesinin elastomerler için tipik olan 60.62 °C ve -46.02 °C’de iki belirgin cam-geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) gösterdiğini göstermiştir.



Şekil 3.10. Granüle tekerlek lastiği

### 3.1.5. Çimento

Hazırlanan bütün harç karışımlarda Çizelge 3.5’de özellikleri verilen standart Portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. İçerisinde herhangi bir mineral katkı buldurmeyen çimento hızlı dayanım alan ve 28 günlük basınç dayanımı 42,5 Mpa olan standart bir çimentodur. Kum kullanılmadan hazırlanan çimento pastasında diğer karışımlardan kimyasal yapısı çok farklı olmayan Tip I Portland çimentosu (ASTM C150, Lafarge Corp., Southfield, Michigan, U.S.A.) kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal analizi

Kimyasal kompozisyon	Analiz sonuçları
SiO <sub>2</sub> (%)	21,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,00
CaO(%)	61,28
MgO(%)	2,00
SO <sub>3</sub> (%)	3,19
K <sub>2</sub> O(%)	0,69
Na <sub>2</sub> O(%)	0,27
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,11
Blaine-İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	3400

Çizelge 3.6. Çimentonun kimyasal analizi (Lafarge Corp., Southfield, Michigan, U.S.A.)

Kimyasal kompozisyon	Analiz sonuçları
SiO <sub>2</sub> (%)	21,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,11
CaO(%)	63,29
MgO(%)	1,50
SO <sub>3</sub> (%)	2,63
K <sub>2</sub> O(%)	0,71
Na <sub>2</sub> O(%)	0,18
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,10
Blaine-İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	3500

### 3.1.6. Yüksek fırın cürufu

Yüksek fırınlarda yaklaşık olarak 1500 °C sıcaklıkta demir cevheri, kireç ve kok eriyik hale gelir. Yüksek fırın içerisinde pik demir alta çöker cüruf ise üstte kalır. Demir ve cüruf ayrı ayrı tahliye edilir. Tahliye edilen cürufun soğutulma şekline göre cüruf işlenir. Cüruf ani soğutulur ise: granüle amorf yapıda kuma benzer cüruf meydana çıkar. Öğütüldüğünde çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilir (tek başına çok az bağlayıcılık özelliği olmakla beraber çimento ile kullanıldığında çimentonun dayanımını arttırabilir). Cüruf havada yavaş soğutulursa kristal yapıda iri bir malzeme oluşur. Beton ve harç içerisinde agrega olarak kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. tesislerinden alınmıştır. Yüksek fırın cürufuna ait kimyasal kompozisyon Çizelge 3.7’de gösterilmiştir. Yüksek fırın cürufunun görünümü şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Yüksek fırın cürufuna ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

Kimyasal Kompozisyon	Analiz sonuçları (%)
CaO	35,09
SiO <sub>2</sub>	37,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28
MgO	7,92

Çizelge 3.7. (Devam) Yüksek fırın cürufuna ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

SO <sub>3</sub>	2,95
K <sub>2</sub> O	1,07
Na <sub>2</sub> O	0,24
Kızdırma kaybı	2,79
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,38
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Özgül ağırlık	2,79
Blaine-İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	4250

Yüksek fırın cürufu kimyasal kompozisyon testi sonuçlarından anlaşılacağı üzere CaO, SiO<sub>2</sub>, ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı yüksek bir malzemedir. Bu kimyasal özelliğinden dolayı çimento esaslı kompozitlerde çimento yerine kullanılabilir. Puzolanik özelliğe sahip bu malzeme çimento esaslı kompozitlerde çimentodan kaynaklı yüksek maliyeti düşürmek için kullanılan en yaygın malzemedir.



Şekil 3.11. Granüle yüksek fırın cürufu

Maliyeti düşürmenin yanında bu malzeme kullanıldığı kompozitin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de arttırabilmektedir. Cüruf içerisindeki yüksek orandaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği bu malzemenin elektromanyetik özelliklerinin incelenmesinin kayda değer olabileceğini düşündürmüştür.

### 3.1.7. Ucucu kül

Kömür ile çalışan termik santrallerin bir yan ürünü olan uçucu kül çok ince küre şekline sahiptir. Yakıt olarak kullanılan kömür içerisindeki inorganik malzemeler yüksek sıcaklıkta erir ve daha sonra bacalardan atılırken soğuyarak şekillerini alırlar. Meydana gelen küller hava kirliliğine sebep olmadan çeşitli yöntemlerle baca ağızlarına kurulan elektrostatik filtrelerle toplanıp hizmete sunulurlar. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Atlas Enerji-İskenderun firmasından alınmıştır. Küle ait kimyasal kompozisyon Çizelge 3.8’de gösterilmiştir. Uçucu külün görünümü Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Uçucu küle ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

<b>Kimyasal Kompozisyon</b>	<b>Analiz sonuçları (%)</b>
CaO	15,50
SiO <sub>2</sub>	46,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,98
MgO	6,51
SO <sub>3</sub>	3,47
K <sub>2</sub> O	3,23
Na <sub>2</sub> O	2,33
Kızdırma kaybı	0,45
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	66,81
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Özgül ağırlık	2,27
Blaine-İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	3060

Uçucu külün kimyasal kompozisyon testi sonuçlarından anlaşılacağı üzere CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı yüksek bir malzemedir. Sonuçlar analiz edildiğinde SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toplamı %66.81 ve CaO oranı %10’dan yüksektir. ASTM’ye göre kullanılan kül C sınıfı uçucu küldür. Ayrıca SiO<sub>2</sub> ve CaO oranları sırasıyla %25 ve %10’dan yüksek oldukları için TS’ye göre W sınıfı (kalkersi) uçucu kül sınıfına girer. Uçucu külden CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi bileşiklerin yüksek oranda bulunması bu malzemenin çimento esaslı kompozitlerde çimento yerine kullanılabilirliğini destekler. Puzolanik özelliğe sahip bu malzeme çimento esaslı

kompozitlerde çimentodan kaynaklı yüksek maliyeti düşürmek için kullanılan malzemelerdendir. Maliyeti düşürmenin yanında bu malzeme kullanıldığı kompozitin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de arttırabilmektedir. Uçucu kül içerisinde yüksek orandaki  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  bileşiği bu malzemenin elektromanyetik özelliklerinin incelenmesinin kayda değer olabileceğini düşündürmüştür.



Şekil 3.12. Uçucu kül

### 3.1.8. Silis dumanı

Silis dumanı silisyum metali ve ferrosilikon alaşımları üreten fabrikaların bir yan ürünüdür. Ham maddeleri kuvars, kömür ve odun parçacıkları olan silisyum metal ve alaşımlarının üretimi esnasında elektrik ark fırınlarının düşük sıcaklıktaki üst kısmında toplanan  $SiO$  gazı hava ile tepkimeye girerek  $SiO_2$  meydana getirir. Alaşımdaki silisyum miktarı oluşan silis dumanının yapısındaki  $SiO_2$  miktarını da belirler. Bu çalışmada kullanılan silis dumanı Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinden alınmıştır. Silis dumanına ait kimyasal kompozisyon Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. Silis dumanının görünümü Şekil 3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.9. Silis dumanına ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

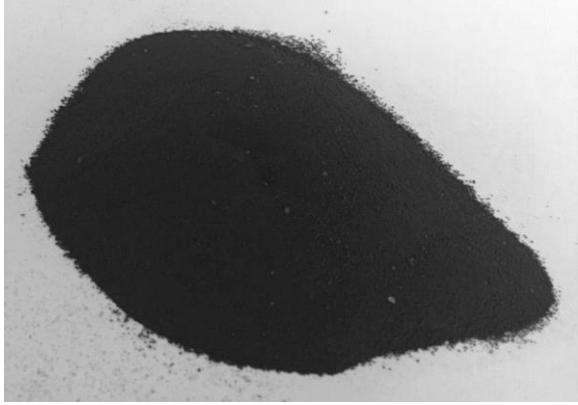
Kimyasal Kompozisyon	Analiz sonuçları (%)
CaO	0,45
$SiO_2$	90,36
$Al_2O_3$	0,71
$Fe_2O_3$	1,31
$SO_3$	0,41
$K_2O$	1,52
$Na_2O$	0,45



Çizelge 3.9. (Devam) Silis dumanına ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

Kızdırma kaybı	3,11
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	92,38
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Özgül ağırlık	2,32
Blaine-İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	210800

Silis dumanının kimyasal kompozisyon testi sonuçlarından anlaşılacağı üzere SiO<sub>2</sub> oranı oldukça yüksek bir malzemedir. Silis dumanında SiO<sub>2</sub> bileşiklerin yüksek oranda bulunması bu malzemenin çimento esaslı kompozitlerde silisyum kaynağı olarak kullanımına olanak sağlar. Puzolanik özelliğe sahip bu malzeme çimento esaslı kompozitlerde mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzeme kullanıldığı kompozitin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini arttırabilmektedir. Uçucu kül içerisinde yüksek orandaki SiO<sub>2</sub> bileşiği bu malzemenin elektromanyetik özelliklerinin incelenmesinin kayda değer olabileceğini düşündürmüştür.



Şekil 3.13. Silis dumanı

### 3.1.9. Pirinç kabuğu külü

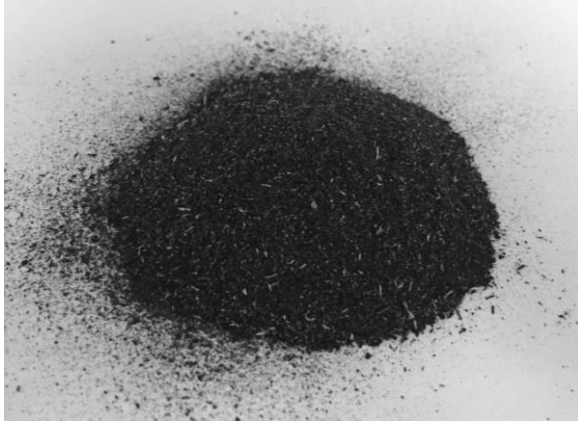
Pirinç öğütme esnasında pirinç kabuğu yan ürün olarak oluşur. Öğütme esnasında öğütücüye giren malzemenin yaklaşık %78'i pirinç yaklaşık %22'si ise kabuk olarak ayrışır. Ayrışan bu kabuk pirincin işlenmesi için gereken yakıtın bir kısmını karşılamak için yakılarak kullanılır.

Çizelge 3.10. Pirinç kabuğu külüne ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

<b>Kimyasal Kompozisyon</b>	<b>Analiz sonuçları (%)</b>
CaO	1,38
SiO <sub>2</sub>	91,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64
SO <sub>3</sub>	0,21
K <sub>2</sub> O	2,14
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	92,33
Kızdırma kaybı	3,94
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Özgül ağırlık	0,18

Yanma esnasında kabuğun yaklaşık %25'i pirinç kabuğu külü olarak bilinen amorf silika içeren bir malzemeye dönüşür. Bu çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü Erdoğanlar Gıda San. ve Tic. LTD. ŞTİ'den alınmıştır. Pirinç kabuğu külüne ait kimyasal kompozisyon Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Kullanılan pirinç kabuğu külünün görünümü Şekil 3.14'de verilmiştir.

Pirinç kabuğu külü kimyasal kompozisyon testi sonuçlarından anlaşılacağı üzere SiO<sub>2</sub> oranı oldukça yüksek bir malzemedir. Pirinç kabuğu külünde SiO<sub>2</sub> bileşiklerin yüksek oranda bulunması bu malzemenin çimento esaslı kompozitlerde silisyum kaynağı olarak kullanımına olanak sağlar. Puzolanik özelliğe sahip bu malzeme çimento esaslı kompozitlerde çimentodan kaynaklı yüksek maliyeti düşürmek için kullanılan malzemelerdendir. Maliyeti düşürmenin yanında bu malzeme kullanıldığı kompozitin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de arttırabilmektedir. Pirinç kabuğu külü içerisinde yüksek orandaki SiO<sub>2</sub> bileşiği bu malzemenin elektromanyetik özelliklerinin incelenmesinin faydalı olabileceğini düşündürmüştür.



Şekil 3.14. Pirinç kabuğu külü

### 3.1.10. Kırmızı çamur

Aluminyum üretim tesislerinde boksit cevherinden bayer prosesi ile aluminyum üretimi safhasında oluşur. Boksit cevheri aluminyumu seçici olarak çözen sıcak kostik soda (sodyum hidroksit) ile işlenir ve sonuç olarak aluminyum metalini üretmek için gerekli alumina  $Al_2O_3$  elde edilir. Bir ton aluminyum için yaklaşık olarak bir-bir buçuk ton kırmızı çamur denen atık meydana gelir. Oluşan bu atık içerisinde bolca miktarda demir bulunduğundan kırmızı rengini almıştır ve bu renk ile isimlendirilmiştir. Kırmızı çamura ait kimyasal kompozisyon Çizelge 3.11’de verilmiştir. Çok büyük depolama alanına ihtiyaç duyan bu atık maalesef çevresel ve ekonomik sıkıntılar yaşatmaktadır. Az gelişmiş ülkelerde bu atık çevreye salınmaktadır. Kırmızı çamur atığının görüntüsü Şekil 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.11. Kırmızı çamura ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

Kimyasal Kompozisyon	Analiz sonuçları (%)
CaO	1,80
SiO <sub>2</sub>	12,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,92
MgO	0,26
TiO <sub>2</sub>	5,24
K <sub>2</sub> O	0,32
Na <sub>2</sub> O	9,21
Loss of ignition	8,32

Çizelge 3.11. (Devam) Kırmızı çamura ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları

*Fiziksel Özellikler*

Özgül ağırlık

3,02



Şekil 3.15. Kırmızı çamur atık barajı [90]

### 3.1.11. Karbon lif

Polyacrylonitrile (PAN) bazlı kaplamasız sürekli karbon lif Teijin marka Tenax-E HTS45 E23 12K 800tex kodlu, lif boyu 5 mm, lif çapı 7.0  $\mu\text{m}$ , lineer ağırlık yoğunluğu 800 tex, yoğunluğu 1.77  $\text{g}/\text{cm}^3$ , elektrik direnci  $1.6 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ , çekme modülü 240 GPa, çekme dayanımı 4500 Mpa ve çekme sünekliği %1.9 olan yüksek mukavemetli, standart modüllü, havacılık sınıfı karbon liftir. Nikel kaplamalı lifin çekirdek malzemesidir. Karbon life ait görüntü Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Karbon lif

### 3.1.12. Nikel kaplamalı karbon lif

PAN bazlı nikel kaplı sürekli karbon lif Teijin marka Tenax-J HTS40 A23 1420tex kodlu, lif çapı 7,5  $\mu\text{m}$  (kaplama kalınlığı 0,5  $\mu\text{m}$ , çekirdek lifin çapı 7,0  $\mu\text{m}$ ), lineer ağırlık yoğunluğu 1420 tex, yoğunluğu 2,70 g/cm<sup>3</sup>, elektrik direnci  $7.5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ , çekme modülü 215 GPa, çekme dayanımı 2750 MPa, ve çekme sünekliği %1.2'dir. Nikel kaplamalı karbon life ait görüntü Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Kaplanmamış karbon fiber ile karşılaştırıldığında, nikel kaplı karbon lif daha düşük modül, daha düşük mukavemet, daha düşük süneklik, daha yüksek yoğunluk ve daha düşük direnç sergiler. Her iki lif türünde de bükülme yoktur.



Şekil 3.17. Nikel kaplı karbon lif

### 3.1.13. Su

Tez çalışmasında hazırlanan tüm çimento esaslı kompozitlerde musluk suyu kullanılmıştır.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Çimento esaslı kompozit tasarımı

Tez çalışmasında elektrik ark ocağı cürufu ince kırmataş agrega ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranda yer değiştirilerek 6 farklı karışım tasarlanmıştır (Birinci grup). Tufal I ve Tufal II kırma taş agrega ile ayrı ayrı hacimce %0, %5, %10, %15 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ikinci bir grup 9 farklı karışım tasarlanmıştır (İkinci grup).

Tufal I ve atık tekerlek lastiği içeren üçüncü grupta ise ilk aşamada atık tekerlek lastiği ince kırmataş agrega ile hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilmiştir. İkinci grupta üretilen hacimce %15 Tufal I içeren karışım tekrar üretilmek istenmiştir. İkinci aşamada ise kırmataş agrega ile hacimce yer değiştirilen %15 Tufal I ve %15, %30 ve %45 ATL içeren karışımlar tasarlanmıştır (Üçüncü grup). Böylece kırmataş agrega ile yer değiştirilerek tasarlanan üç farklı grup kurulmuştur. Farklı malzemelerin kırmataş agrega ile yer değiştirilmesi sonucu oluşturulan karışımların detayları Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

İlk üç gruptan farklı olarak bir başka deney grubu tasarlanmıştır. Çimento miktarı yerine agrega miktarı sabit tutulmuş, yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve pirinç kabuğu külü (PK) çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında karışım içerisinde yer değiştirilmişlerdir (Dördüncü grup). Kırmızı çamur çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek harç içerisinde kullanılmışlardır (Beşinci grup). Çeşitli mineral katkıların çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmesiyle oluşturulan karışımların detayları Çizelge 3.13’de gösterilmiştir. Bütün harç karışımlarda bağlayıcı:ince agrega:su oranı 1:2,75:0,485 olarak sabit tutulmuştur Karışımlar ASTM-C452 esas alınarak hazırlanmıştır.

Son olarak su/çimento oranı 0,35 olan içerisinde toplam hacmin %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında nikel kaplanmış ve kaplanmamış karbon lif bulunduran çimento pastaları üretilmiştir (Altıncı grup). Liflerin kompozit içeriisindeki dağılımını iyileştirmek için çimento ağırlığının %15’i kadar silis dumanı (Elkem Materials Inc.,Pittsburgh, PA, microsilica, EMS 965) kullanılmıştır. Ayrıca çimento ağırlığının %0,4’ü kadar metilselüloz (Dow Chemical Corp., Midland, MI, Methocel A15-LV) kullanılmıştır. Metilselüloz lif ile çimento hamuru arasında daha iyi bir kenetlenmeye olanak sağlar. Metilselülozun kullanımından kaynaklı hava boşluklarını gidermek için hava giderici (defoamer) (Colloids Inc., Marietta, GA, 1010) toplam kompozit hacminin %0,13’ü kadar karışımlarda kullanılmıştır. Bunlara ek olarak iyi bir işlenebilirlik için çimento ağırlığının %2’si kadar süper akışkanlaştırıcı (Glenium 3000 NS, Degussa Admixtures, Cleveland, OH) kullanılmıştır. Bu deney grubunda ince agrega kullanılmamıştır. Karışım detayları Çizelge 3.14’te görülmektedir.

Her deney grubu kendi arasında değerlendirilip tartışılmıştır. Bunun sebebi her karışımın farklı zaman ve koşullar altında üretilmesidir. Toplamda 46 farklı karışım tasarlanmıştır.

Birinci grupta üretilen harçların 7, 14 ve 28. gün basınç - eğilme dayanımları ve EM özellikleri, ikinci grupta üretilen harçların 28. gün basınç - eğilme dayanımları ve EM özellikleri, üçüncü grupta üretilen harçların 28. gün basınç - eğilme dayanımları ve EM özellikleri ve dördüncü grupta üretilen harçların 7-28. gün basınç - eğilme dayanımları ve EM özellikleri, beşinci grupta üretilen harçların 28. gün basınç - eğilme dayanımları ve EM özellikleri, son olarak altıncı grupta üretilen çimento pastalarının EM özellikleri incelenmiştir. Altıncı grubun mekanik özellikleri incelenmemiştir. Son çalışmanın amacı nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon liflerin çimento bazlı kompozitte EM davranışı nasıl değiştirebileceğinin incelenmesidir.

Çizelge 3.12. Agrega ile hacimce yer değiştirilerek oluşturulan karışımların detayları

	Çimento (%)	Kırmataş agrega (%)	Su (%)	EAOÇ cürufu (%)	Tufal I (%)	Tufal II (%)	ATL (%)
Kontrol	100	100	100	0	-	-	-
%20EAOÇ	100	80	100	20	-	-	-
%40EAOÇ	100	60	100	40	-	-	-
%60EAOÇ	100	40	100	60	-	-	-
%80EAOÇ	100	20	100	80	-	-	-
%100EAOÇ	100	0	100	100	-	-	-
Kontrol	100	100	100	-	0	0	-
%5Tufal I	100	95	100	-	5	0	-
%10Tufal I	100	90	100	-	10	0	-
%15Tufal I	100	85	100	-	15	0	-
%30Tufal I	100	70	100	-	30	0	-
%5Tufal II	100	95	100	-	0	5	-
%10Tufal II	100	90	100	-	0	10	-
%15Tufal II	100	85	100	-	0	15	-
%30Tufal II	100	70	100	-	0	30	-
Kontrol	100	100	100	-	0	-	0
%15ATL	100	85	100	-	0	-	15
%30ATL	100	70	100	-	0	-	30

Çizelge 3.12. (Devam) Agrega ile hacimce yerdeğiştirilerek oluşturulan karışımların detayları

%45ATL	100	65	100	-	0	-	45
%15Tufal I	100	85	100	-	15	-	0
%15ATL+	100	70	100	-	15	-	15
%15Tufal I							
%30ATL+	100	55	100	-	15	-	30
%15Tufal I							
%45ATL+	100	40	100	-	15	-	45
%15Tufal I							

Çizelge 3.13. Çimento ile ağırlıkça yerdeğiştirilerek oluşturulan karışımların detayları

	Çimento (%)	Kırmataş (%)	Su (%)	YFC (%)	UK (%)	SD (%)	PK (%)	KÇ (%)
%10YFC	90	100	100	10	0	0	0	-
%20YFC	80	100	100	20	0	0	0	-
%30YFC	70	100	100	30	0	0	0	-
%10UK	90	100	100	0	10	0	0	-
%20UK	80	100	100	0	20	0	0	-
%30UK	70	100	100	0	30	0	0	-
%10SD	90	100	100	0	0	10	0	-
%20SD	80	100	100	0	0	20	0	-
%30SD	70	100	100	0	0	30	0	-
%10PK	90	100	100	0	0	0	10	-
%20PK	80	100	100	0	0	0	20	-
%30PK	70	100	100	0	0	0	30	-
Kontrol	100	100	100	-	-	-	-	0
%10KÇ	90	100	100	-	-	-	-	10
%20KÇ	80	100	100	-	-	-	-	20
%30KÇ	70	100	100	-	-	-	-	30



Çizelge 3.14. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içeren karışımların detayları

	Çimento (%)	Su	Karbon lif (toplam hacim%)	Nikel kaplı karbon lif	Silis dumanı (çimento ağırlığı %)	Süper akışkanlaştırıcı (çimento ağırlığı %)	Defoam (toplam hacim%)
Kontrol	100	100	0	0	15	2	0.013
%0.5CL	100	100	0.5	0	15	2	0.013
%1CL	100	100	1.0	0	15	2	0.013
%1.5CL	100	100	1.5	0	15	2	0.013
%0.5NCL	100	100	0	0.5	15	2	0.013
%1NCL	100	100	0	1.0	15	2	0.013
%1.5NCL	100	100	0	1.5	15	2	0.013

Numune üretim aşamasında her grup için (son grup hariç) aynı üretim prosedürü uygulanmıştır. İlk olarak katı malzemeler 2 dakika süreyle kuru karıştırılmışlardır. 2 dakikanın sonunda su aşamalı bir şekilde kuru karışımın üstüne dökülerek karışım işlemi devam ettirilmiştir. Karıştırma işlemi homojen bir görüntü elde edene kadar sürdürülmüştür. Karıştırma işlemi hız kontrollü aşamalı olarak hızlanan ve yavaşlayan bir karıştırıcı ile yapılmıştır. Elde edilen son karışım yağlanmış ve ölçüleri 4 cm X 4 cm X 16 cm olan prizmatik (mekanik testler için), 15 cm X 15 cm X 2 cm - 16 cm X 16 cm X 2 cm olan tabaka (EM testler için) kalıplara dökülmüştür. Harcın ve çimento pastasının kalıplara tam yerleşmesi ve harç içerisine hapsolmuş hava boşluklarını tahliye etmek için sarsma tablası kullanılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlanan numuneler kalıpta 24 saat bekletildikten sonra test edilecekleri süreler kadar bir su tankı içerisinde kür edilmişlerdir.

Son test grubu için malzeme üretim işlemi harç üretimi için gerçekleştirilenden farklıdır. İlk olarak metilselüloz su içerisinde çözdürülmüş ardından defoamer bu karışıma eklenmiştir. Bu karışıma lifler eklenerek yaklaşık iki dakika boyunca elle karıştırma işlemine devam edilmiştir. Suyun geri kalanına ise süperakışkanlaştırıcı katılmıştır. Bir başka kapta çimento ve silis dumanı katı olarak karıştırıldıktan sonra lifli karışım ardından da süperakışkanlaştırıcı karışımı çimento karışımına dökülmüştür. Tüm karışım homojen hale gelinceye kadar karıştırmaya devam edilmiştir. Ardından elde edilen karışım derinliği 3 mm iç çapı 25 mm ve dış çapı 110 mm olan disk şeklindeki yağlı silikon kalıba dökülmüştür. 24 saat sonra kalıptan alınan numuneler suda 28 gün süreyle kür edilmişlerdir.

### 3.2.2. Malzeme karakterizasyonu

Kullanılan ham malzemelerin ve kompozitlerin kimyasal ve faz kompozisyonları X-ışını toz kırınımı (XRD) (Cu Ka (40 kV) radyasyonlu Rigaku 600 Miniflex Difraktometre) ve X-ışını Floresanları (XRF) kullanılarak tanımlanmıştır. Analiz edilen malzemelerin XRD sonuçlarını desteklemek ve fonksiyonel gruplarını belirlemek için Universal ATR Örnekleme Erişimli PerkinElmer Kesin Spektrumlu bir Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Spektrometre kullanılmıştır. Malzemelerin alınan formdaki yüzey morfolojisi, LEO marka EVO-40 SEM kullanılarak 20 kV gerilimli taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak analiz edilmiştir.

XRD, mikro-kristalli malzemelerin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan tahribatsız bir test yöntemidir. Yöntem geleneksel olarak faz tanımlama, niceleyici analiz ve yapı kusurlarının belirlenmesi için uygulanır. Son yıllarda, uygulamalar orta derecede karmaşık kristal yapıların belirlenmesi ve üç boyutlu mikroyapısal özelliklerin çıkarılması gibi yeni alanlara genişletilmiştir. Bu, modern difraktometrelerin daha yüksek çözünürlüğünün, yüksek yoğunluklu X-ışını kaynaklarının ortaya çıkmasının ve toz kırınım modelinde bulunan tek boyutlu verilerden kaynaklanan hat çakışması sorununun üstesinden gelmek için çizgi profili modelleme yaklaşımlarının geliştirilmesinin sonucudur. Yöntem normal olarak oda sıcaklığında toplanan verilere uygulanır. Bununla birlikte, kimyasal reaksiyon mekanizmalarının ve malzeme davranışının yorumlanması için de yararlı bir araçtır. İnorganik yapılar, organik yapılar, mineraller, katalizörler, metaller, çimento esaslı kompozitler ve seramikler gibi malzemelerin X-ışını toz kırınımından çeşitli mikrokristalin yapılar tanımlanabilir. Çoğu uygulama için çıkarılabilecek bilgi miktarı, numunenin mikroyapısal özelliklerinin doğasına ve büyüklüğüne (kristalinite, yapı kusurları, kristalit boyutu), kristal yapının karmaşıklığına ve deneysel verilerin kalitesine (cihaz performansı gibi) bağlıdır [91].

XRF spektrometresi, gazlar dışında bir malzemede yapısında bulunan kimyasal elementlerini tanımlamak ve ölçmek için kullanılır. Bir numune X-ışını demetiyle bombardımana tutulduğunda, yeni X-ışınları yayar. Bu ışınlar daha sonra bir detektör ile kaydedilir. Bu şekilde elde edilen spektrum ile malzemenin oluşturulduğu kimyasal elementleri karakterize edilir [92].

FTIR kızılötesi soğurma spektrumu üretmek bir molekülde bulunan farklı kimyasal bağ türlerini tanımlamak için kullanılan güçlü bir araçtır. FTIR, organik veya inorganik karmaşık yapılarda bulunan kimyasal bağları tanımlamak için kullanılan en kullanışlı araçlardan bir tanesidir. Bilinmeyen bir karışımdaki bileşenleri belirlemek için kullanılır. Emilen ışığın dalga boyu, kimyasal bağ için özel bir özelliktir. Moleküler bağlar, mevcut bağların ve elemanların türüne bağlı olarak çeşitli frekanslarda titreşir. Belirli bir bağın titreşebileceği birkaç spesifik frekans vardır. Kuantum mekaniğine göre, bu frekanslar taban durumuna (en düşük frekanslar) ve uyarılmış duruma (daha yüksek frekanslar) karşılık gelir. Moleküler titreşimin frekansındaki artış, emici enerjinin uyarılması nedeniyle gerçekleşir. İki durum arasındaki herhangi bir geçiş için, enerji iki farklı durum arasındaki enerjideki farka eşit olmalıdır. Moleküler titreşim durumlarına bağlı enerji genellikle elektromanyetik spektruma karşılık gelen 1-10 kcal/mol aralığındadır [93].

SEM test edilen numunenin yüzeyini analiz etmede kullanılan etkili bir tekniktir. Mikroskoptan analiz edilen malzeme yüzeyine elektron demeti gönderilir. Işın, bir numunenin yüzeyini tarayan küçük bir proba odaklanır. Işının malzeme ile etkileşimi elektronların yüzeye penetrasyonu ile beraber elektronların ve fotonların emilimine sebep olur. Yayılan ışın parçacıkları, yüzey hakkında bilgi vermek üzere uygun detektör ile toplanır. Numune yüzey topolojisi ile elektron ışını çarpışmasının nihai ürünü olarak görüntü ortaya çıkar [94].

### 3.2.3. EM testler

İletken bir nesne EM dalgaya maruz bırakıldığında nesnedeki elektronlar uyarılır ve yüzey akımı meydana gelir. Nesnenin yüzeyinde geçici olarak tutulan EM enerji yüzey akımı tarafından iletilir. Bu enerji, nesne tarafından emilir veya yeniden şekillendirilir.

EM dalgalar Maxwell denklemleri ile analiz edilebilir [95] :

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3.1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (3.2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3.3)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (3.4)$$

E: Elektrik alan şiddeti (V/m)

D: Deplasman akısı (C/m<sup>2</sup>)

B: Manyetik indüklenme akısı (T veya Wb/m<sup>2</sup>)

H: Manyetik alan şiddeti (A/m)

$\rho$ : Elektrik yükü yoğunluğu (C/m<sup>3</sup>)

J: Elektrik akım yoğunluğu (A/m<sup>2</sup>)

EM problemlerin çözümleri aşağıdaki malzeme özelliklerini içerir:

$$D = \epsilon_r \epsilon_0 E \quad (3.5)$$

$$B = \mu_r \mu_0 H \quad (3.6)$$

$$J = \sigma E \quad (3.7)$$

$\epsilon_0$ : 8.854 x 10<sup>-12</sup> F/m (havanın elektriksel geçirgenliği)

$\mu_0$ : 0.4 x 10<sup>-6</sup> H/m (havanın manyetik geçirimliliği)

$\epsilon_r$ : Kompleks bağıl geçirgenlik

$\mu_r$ : Kompleks bağıl geçirimlilik

$\sigma$ : Malzeme iletkenliği (S/m)

Kompleks bağıl geçirgenlik ve geçirimlilik şu şekilde yazılabilir:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon'_r + i\epsilon''_r \quad (3.8)$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu'_r + i\mu''_r \quad (3.9)$$

Denklem 8 ve 9 şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$\nabla \times \nabla \times E + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\mu_0 \mu \frac{\partial J}{\partial t} \quad (3.10)$$

$$\nabla \times \nabla \times H + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = \nabla \times J \quad (3.11)$$

c: Işık hızı

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (3.12)$$

Harmonik alanın  $E(r, t) = E(r)e^{j\omega t}$  olması durumunda E nin dalga denklemi şu şekilde sadeleşir:

$$\nabla^2 E + \omega^2 \mu \epsilon E = j\omega \mu J + \nabla \nabla \cdot E \quad (3.13)$$

$\omega$ : Açısal frekans

Boş alan (free space),  $\sigma = 0$ , olduğunda yukarıdaki denklem şu şekli alır:

$$E(r, t) = E_0(r)e^{-j(k \cdot R - \omega t)} \quad (3.14)$$

k: dalga boyu  $\lambda = 2\pi/\omega$  ile yayılan dalganın yön vektörü

Manyetik alan için ilgili çözüm ise:

$$H(r) = \frac{k}{\omega \mu} \cdot k \times E(r) \quad (3.15)$$

$k = (\omega^2 \mu \epsilon)^{1/2}$  ile E nin H ye büyüklük olarak oranı Z empedansı verir:

$$\frac{E}{H} = \frac{\omega \mu}{k} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z \quad (3.16)$$

Bu durum empedansın dalganın yayıldığı ortamın geçirgenlik ve geçirimsizlik değerlerinin bir fonksiyonu olduğunu gösterir.

Normalleştirme empedansı durumunda (dalga empedansının havanın empedansı  $Z_0$  ile bölünmesi), yukarıdaki denklem şöyle olur:

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}}{\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (3.17)$$

Özetle EM denklemlerin Maxwell denklemleriyle elde edildiği ve EM dalgaların birbirine dik zaman ve mekan evresinde salınım yapan elektrik ve manyetik bileşenlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca E ve H nin oranı ortamın geçirimsizlik ve geçirgenliğini gösteren empedansa eşit olduğu da anlaşılır.

Bir dalga bir obje ile etkileşim içerisinde olduğunda dalganın bir kısmı yansıtacaktır bir kısmı da iletilecektir. Yansıma malzemeye ve dalganın yayılımına göre değişir. Normal bir gelen dalga için yansıma katsayısı (R) normalleştirilmiş empedans  $Z/Z_0$  ile hesaplanabilir:

$$R = \frac{\frac{Z}{Z_0} - 1}{\frac{Z}{Z_0} + 1} \quad (3.18)$$

R kompleks bir sayıdır (normalleştirilmiş empedans bağımlı geçirimsizlik ve geçirgenliğin bir fonksiyonudur). R denildiğinde normalde faz açısı ihmal edilir ve sadece R nin dB cinsinden genliğinden bahsedilir. Yansıma katsayısı şu şekilde yazılabilir:

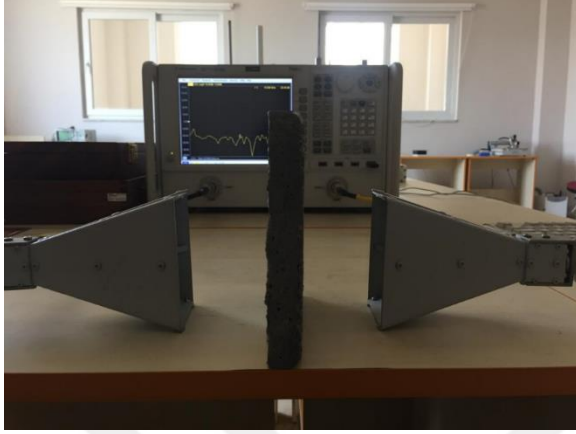
$$|R|(dB) = 20 \log_{10} |R| \quad (3.19)$$

Dalga empedansı bağımlı geçirimsizlik ve geçirgenliğin (malzeme özellikleri) yansıma katsayısını nasıl etkilediğini gösterir.

Hazırlanan çimento esaslı kompozitlerin (harç) EM özellikleri İskenderun Teknik Üniversitesi elektromanyetik test laboratuvarında ölçülmüştür. Bu amaçla, bir vektör ağ analizörü ile birlikte iki tane doğrusal polarize yüksek kazançlı anten kullanılmıştır. Antenlere bağlı olan iki portlu vektör ağ analizörü (VNA), 10 MHz'den 43.5 GHz'e kadar sinyal gönderip alabilmektedir. Yansıtılan ve iletilen sinyalleri elde etmek için, ağ analizörü çalıştığımız frekans aralığına uygun kalibrasyon kiti kullanılarak kalibre edilmiştir. Ağ analizörü, S parametreleri olarak da bilinen saçılma parametrelerini ölçen bir alettir. Bu parametreler  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{22}$  olup  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  bir porttan aynı porta aktarılan gücü,  $S_{12}$  ve  $S_{21}$  ise bir porttan diğer porta aktarılan gücü temsil eden değerlerdir. Çalışmanın amacına ve kompozitlerin içeriğine göre, Süper Yüksek Frekans Bandı (SHF) içerisinde çalışma frekans bandı (3-18 GHz) seçildi. Seçilen antenlerin, seçilen işlem bandı için uygun olmasına özen gösterilmiştir.

Test kurulumunda, numuneler dalga boyları açısından reaktif yakın alan bölgesinde olmamaları için uygun bir mesafeyle ayrılmış iki anten arasına yerleştirilmiştir. Analizörden yansıma ve aktarma verileri elde edildikten sonra, serbest alan ölçümlerindeki avantajları nedeniyle Nicolson Ross Weir (NRW) yöntemi kullanılmıştır [96]. Bu yöntem hazırlanan numunelerin elektromanyetik tepkilerini elde etmek için tercih edilmiştir. NRW'nin yardımıyla, elektrik geçirgenliği ( $\epsilon$ ), manyetik geçirimsizlik ( $\mu$ ) ve kayıp faktörü (Kayıp

tanjant) dâhil olmak üzere en önemli elektromanyetik parametrelerin bazıları elde edilebilir. Test düzeneği Şekil 3.18’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.18. EM test düzeneği

Bu metotta geçirgenlik ve geçirimsizlik  $\mu = \mu_0 \mu_r$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$  olarak tanımlanır. Bağlı geçirgenlik ve geçirimsizlik kullanılarak ortam empedansı  $Z = \sqrt{\mu_r / \varepsilon_r} Z_0$  olarak hesaplanır. Her iki taraftan da iletim, hemen hemen aynı olması ( $S_{21} = S_{12}$ ), hazırlanan numunelerin iyi karıştırıldığını ve homojen yapıların elde edildiğini gösterir. Ek olarak, her bir numunenin her iki yüzeyinden yansımalar aynı ( $S_{11} = S_{22}$ ) olması beklenilir. NRW yönteminde saçılma parametrelerinin yansıma katsayısı ( $\Gamma$ ) ve dalga zayıflaması ( $z$ ) ile aşağıdaki denklemlerle ilişkili olduğu bilinmektedir;

$$S_{21}(\omega) = \frac{(1+\Gamma)(1-\Gamma)z}{1-\Gamma^2 z^2} = \frac{(1-\Gamma^2)z}{1-\Gamma^2 z^2}, \quad (3.20)$$

$$S_{11}(\omega) = \frac{(1-z^2)\Gamma}{1-\Gamma^2 z^2} \quad (3.21)$$

Yukarıdaki dalga zayıflaması ve yansıma katsayısı;

$$z = \exp -j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}d = \exp[-j(\omega/c)\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}d] \quad (3.22)$$

$$\Gamma = \frac{Z-Z_0}{Z+Z_0} = \frac{\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}-1}{\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}+1} \quad (3.23)$$

olarak bulunur.

Yukarıdaki formülde yer alan  $Z$  parametresi, kompozit numunelerin empedansını ifade eder ve;

$$Z = \pm \sqrt{\frac{(1+S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1-S_{11})^2 - S_{21}^2}} \quad (3.24)$$

ile hesaplanır.

Yukarıda verilen denklemler, iki yeni değişken ( $V_1$  ve  $V_2$ ) ekleyerek bağıl elektriksel geçirgenlik ve manyetik geçirimsizlik parametrelerini bulmak için kullanılabilir;

$$V_1 = S_{21} + S_{11} \quad (3.25)$$

$$V_2 = S_{21} - S_{11} \quad (3.26)$$

Bu sadeleştirme değişkenleri yardımıyla denklemleri şu şekilde de yazabiliriz;

$$\mu_r \sim \left(\frac{2}{jk_0 d}\right) \frac{1-V_2}{1+V_2} \quad (3.27)$$

$$\epsilon_r \sim \left(\frac{2}{jk_0 d}\right) \frac{1-V_1}{1+V_1} \quad (3.28)$$

Dalga vektörüne karşılık gelen ( $k$ ) şu şekli alır;

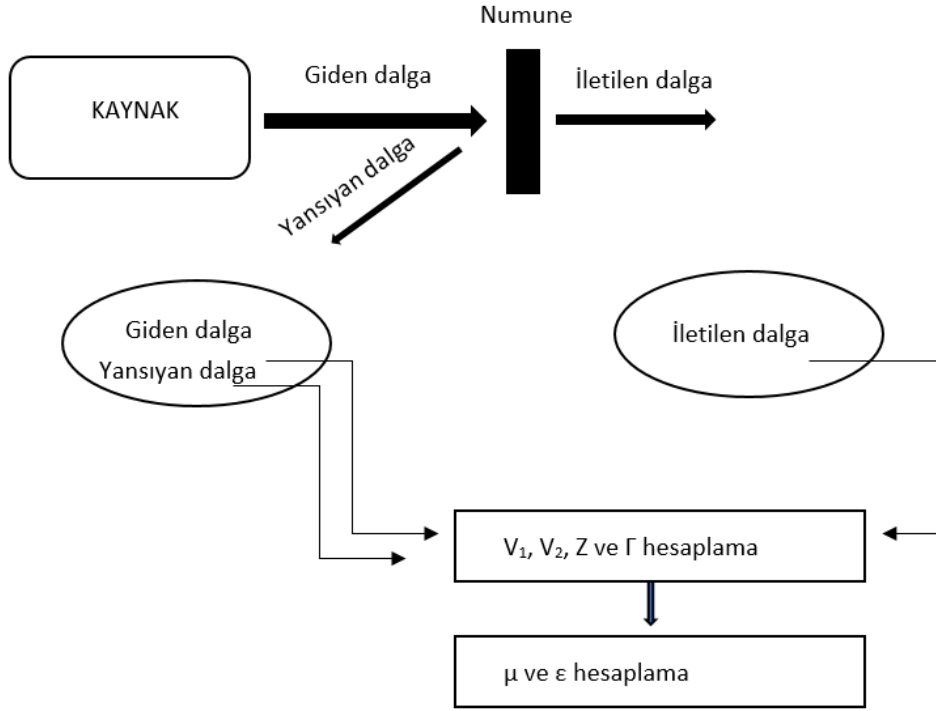
$$k \sim \frac{1}{jd} \frac{(1-V_1)(1+\Gamma)}{1-\Gamma V_1} \quad (3.29)$$

Ayrıca numune kalınlığı, ölçüleme için kullanılan metal plakanın kalınlığı ve boyutu, antenler ile test edilen numune arasındaki mesafenin ve diğer bazı parametrelerin de elektromanyetik parametrelerin türetilmesinde çok önemli olduğu unutulmamalıdır. VNA üzerinden EM ölçümleri için kullanılan yazılımda çok dikkatli bir şekilde bahsi geçen veriler dâhil edilmiş ve dikkate alınmıştır. Bu şartlar ile en doğru sonuçların elde edileceği düşünülmektedir. EM parametreleri hesaplama şeması Şekil 3.19'de görülmektedir.

Kompozitlere ait kalkanlama etkinliği (SE), yansımaya, iletim ve soğurma parametreleri NVA cihazı kullanılarak elde edilen saçılım parametreleri ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ) ile hesaplanmıştır. Yansımaya (R), iletim (T), soğurma (A) ve kalkanlama etkinliği (SE) aşağıda verilen formüller yardımı ile elde edilmiştir.  $P_I$  ve  $P_T$  gelen ve yansıyan dalga değerlerini temsil eder.

Farklı karbon lif çeşidi ve içerikleirne sahip çimento pastaları Amerika Birleşik Devletleri, University at Buffalo, Mekanik ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Kompozit Malzemeler Laboratuvarlarında test edilmişlerdir.





Şekil 19. EM parametreleri hesaplama şeması

$$R = |S_{11}|^2 \quad (3.30)$$

$$T = |S_{12}|^2 \quad (3.31)$$

$$A + R + T = 1 \quad (3.32)$$

$$SE = 20 * \log \frac{P_I}{P_T} \quad (3.33)$$

EM dalga kalkanlama (EMI shielding) vektör netvör analizör (VNA, TTR506A, Tektronix, Inc., 100 kHz - 6 GHz frekans aralığı) kullanılarak koaksiyel kablo metoduyla 200 MHz- 2 GHz frekans aralığında ölçülmüştür. Ölçüm düzeneği Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Test numunesi test fixtürünün ortasına yerleştirilir ve kontrollü tork altında koaksiyel kablonun uzantısı olan metal uzantılar arasında sıkıştırılır. Toplam güç kaybı ( $SE_T$  (dB)), soğurma kaybı ( $SE_A$ (dB)) ve yansıma kaybı ( $SE_R$ (dB)) saçılım parametrelerinden ( $S_{11}$  and  $S_{21}$ ) elde edilirler [97].

$$SE_T = -10 \log (P_t/P_0) = -10 \log (T) = -10 \log |S_{21}|^2 \quad (3.34)$$

$$SE_R = -10 \log ((P_0 - P_r)/P_0) = -10 \log (1 - R) = -10 \log (1 - |S_{11}|^2) \quad (3.35)$$

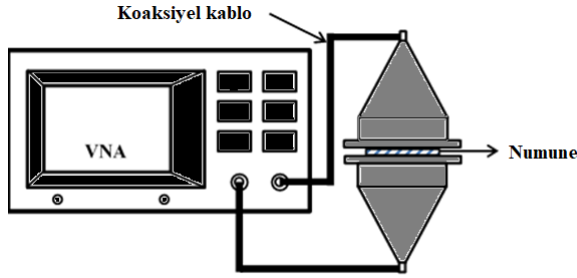
$$SE_A = SE_T - SE_R - SE_M \quad (3.36)$$

$P_0$ ,  $P_r$  ve  $P_t$  sırasıyla giren güç, yansıyan güç ve iletilen güçtür.  $T$  ve  $R$  sırasıyla iletilen giriş gücünün fraksiyonu ve yansıtılan giriş gücünün fraksiyonudur.  $SE_M$  çoklu yansılardan

kaynaklı kalkanlamayı ifade eder. Uygulamada  $SE_T \geq 15$  dB olduğu durumlarda  $SE_M$  ihmal edilir. Bı durumda fotmül Şu halini alır;

$$SE_A = SE_T - SE_R = -10 \log \left[ T / (1 - R) \right] \quad (3.37)$$

VNA ve ölçüm sistemi test başlamadan önce kalibre edilmişlerdir. Kalibrasyon için SOLT (short, open, load and through, 4-in-1) kalibrasyon kiti (CALSOLTNM, Type-N, 9 GHz) kullanılmıştır.



Şekil 3.20. EM deney düzeneği

### 3.2.4. Mekanik testler

Çimento su, kum ve diğer katkı malzemeleri ile hazırlanan harçların eğilme ve basınç mukavemetlerinin tespiti için mekanik deneyler uygulanır. ASTM-C452 gereği 1:2,75:0,486 bağlayıcı:ince agrega:su oranlarına sahip standart harç üretilir. Hazırlanan harç  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup> (genişlik x yükseklik x uzunluk) ölçülere sahip prizmatik yağlanmış kalıplara dökülür ve hapsolmuş havalar vibratör yardımıyla boşaltıldıktan sonra yüzey düzlenir. 24 saat sonra kalıptan alınan numuneler test gününe kadar kirece doygun suda kür edilir. Ardından mekanik testler uygulanır.

Çekme mukavemeti betonun en önemli özelliğidir. Genellikle tasarım parametresi olarak alınan basınç mukavemeti mezo ölçekte gerilme mukavemetine bağlı olduğundan çekme mukavemeti beton yapıların yük taşıma davranışını belirler. Donatısız betonların tasarımı temel olarak eğilme mukavemetine dayanır. Aynı durum durabilite/dayanıklılık parametreleri için de geçerlidir. Örneğin büzölmeler ve termal Şekil değiştirmeler öz gerilmelere sebep olur. Bu gerilmeler yeterli mukavemet sağlanmadığında çatlamalara sebep olurlar. Aynı durum yapı yüklemesi için de geçerlidir. Çatlamalara kullanılan agrega tipi, su-çimento oranı, nem, sıcaklık ve yükleme süresi gibi etmenler sebep olabilmektedir. Ayrıca test koşulları da önemlidir. Tek eksenli, yarma ve eğilme testlerinin değerleri

birbirinden farklı olabilmektedir. Ancak sadece test tipi değil, aynı zamanda numunenin boyutları da önemlidir. Bu parametreler iyi belirlenmelidir.

Hazırlanan prizma numuneler önce eğilme testine maruz bırakılır. Bunun için sertleşmiş harç numuneler birbirinden uzaklığı 10 cm olan iki silindirik desteği ortalayacak şekilde yerleştirilir. Bu iki desteğin tam ortasına gelecek şekilde konumlandırılan bir başka silindirik şerit numunenin üst tarafından bir kuvvet uygulayarak malzemeyi kırıncaya kadar yük uygular. Numune kırıldıktan sonra okunan en yüksek kırılma yüküyle eğilme gerilmesi hesaplanır. Deney düzeneği Şekil 3.21’de görüldüğü gibidir.

Eğilmede çekme gerilmesi şu şekilde bulunur;

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \text{ (MPa)} \quad (3.38)$$

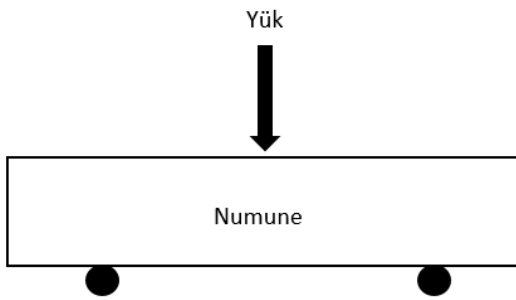
P: Uygulanan kuvvet (N)

L: Destek silindirleri arasındaki mesafe (mm)

b: Numune kesitinin kenar uzunluğu (mm)

d: Numune kesitinin yüksekliği (mm)

$\sigma$  : Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)



Şekil 3.21. Eğilmede çekme deneyi düzeneği

Aynı karışıma sahip üç farklı test numunesinin ortalaması alınarak eğilme dayanımı hesaplanır. Eğilme deneylerinde kullanılan prizmanın alt kısmı çekme gerilmelerine maruz kaldığı için, eğilme yükü uygulayarak bulunan gerilmeler “eğilmede çekme” dayanımı olarak da ifade edilir.

Harç veya beton gibi çimento esaslı kompozitler basınç gerilmelerine karşı mukavim, çekme gerilmelerine karşı ise zayıf malzemelerdir. Basınç dayanımını etkileyen en önemli parametreler; agrega gradasyonu, agrega kalitesi, su-çimento oranı ve çimento özellikleri olarak sıralanabilir. Yapı tasarımında genellikle beton basınç dayanımı göz önünde bulundurulur. Çimento esaslı kompozitlerin basınç mukavemeti malzeme hakkındaki en temel bilgiyi kullanıcıya sağlar.

Üç adet prizma üzerinde eğilmede çekme testi uygulandıktan sonra elde edilen altı parça numuneye basınç gerilmesi testi uygulanabilir. Her bir numune 4x4 cm<sup>2</sup> metal başlık ile pres makinasında test edilir. Başlıklar arasında kalan yarım prizmalar 4x4x4 cm<sup>3</sup> ölçülere sahip küp görevi görür. Deney düzeneği Şekil 3.22’de verilmiştir.

Basınç gerilmesi şu şekilde bulunur;

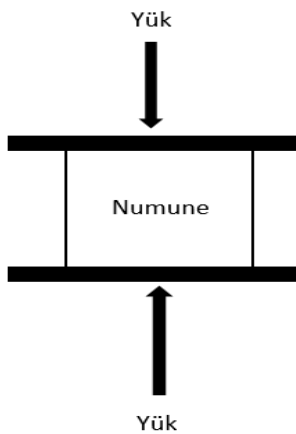
$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (3.39)$$

P: Uygulanan kuvvet (N)

A: Kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

Aynı karışıma sahip 6 farklı test numunesinin ortalaması alınarak basınç dayanımı hesaplanır.

Bu tezde kullanılan çimento esaslı kompozitlerin zamana karşı dayanım değişikliklerini göstermek için bazı deney gruplarındaki numuneler farklı günlerde de test edilmişlerdir. Malzemenin varsayılan mukavemet değeri 28. günündeki değeri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.22. Basınç deneyi düzeneği

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çimento esaslı kompozitlerin mekanik ve EM özelliklerinin belirlenmesi üzerine hazırlanan tez çalışması 6 aşamadan oluşmaktadır. Birinci çalışmada EAOC ince agrega ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında yer değiştirilerek kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitlerin eğilmede çekme-basınç dayanımları ve EM özellikleri incelenmiştir. İkinci çalışmada Tufal I ve Tufal II diye adlandırılan iki farklı tufal hacimce ince agrega ile %0, %5, %10, %15 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kompozitler üretilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin eğilmede çekme-basınç dayanımları ve EM özellikleri incelenmiştir. Üçüncü çalışmada ATL hacimce ince agrega ile %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilmiştir. Ek olarak ince agrega ile hacimce terdeğiştirilen Tufal I ile birlikte hacimce ince agrega ile %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilen ATL kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin eğilmede çekme-basınç dayanımları ve EM özellikleri incelenmiştir. Dördüncü çalışmada ise YFC, UK, SD ve PK gibi mineral katkıları çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitlerin basınç dayanımları ve EM özellikleri incelenmiştir. Beşinci çalışmada KÇ çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kompozitlerin eğilmede çekme-basınç dayanımları ve EM özellikleri incelenmiştir. Altıncı çalışmada önceki beş çalışmadan farklı olarak kompozitlerde ince agrega kullanılmamıştır. Hacimce %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranda nikel kaplanmış ve kaplanmamış lif içeren çimento pastalarının EM özellikleri incelenmiştir.

### 4.1. Elektrik Ark Ocağı Cürufu İçeren Harçların Mekanik, Elektromanyetik ve Mikrodalga Kalkanlama Etkinliği Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez çalışmasının birinci aşamasında elektrik ark ocağı cürufu içeren harçlar incelenmiştir. 1 kısım bağlayıcı, 2,75 kısım kum ve 0,485 kısım sudan oluşan standart harç ile elektrik ark ocağı cürufunun kum ile yer değiştirilmesiyle hazırlanan harçlar test edilmiştir. Cüruf kırma taş agrega ile hacimce %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında harç içerisinde yer değiştirilmiştir. Mekanik testler için 4x4x16 cm<sup>3</sup> boyutlarında prizmalar hazırlanırken elektromanyetik testler için 16x16x2 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip plakalar üretilmiştir. Mekanik testler 7, 14 ve 28. günlerde yapılmış, elektromanyetik testler ise 28. günün sonunda kuru numuneler üzerinde yapılmıştır.

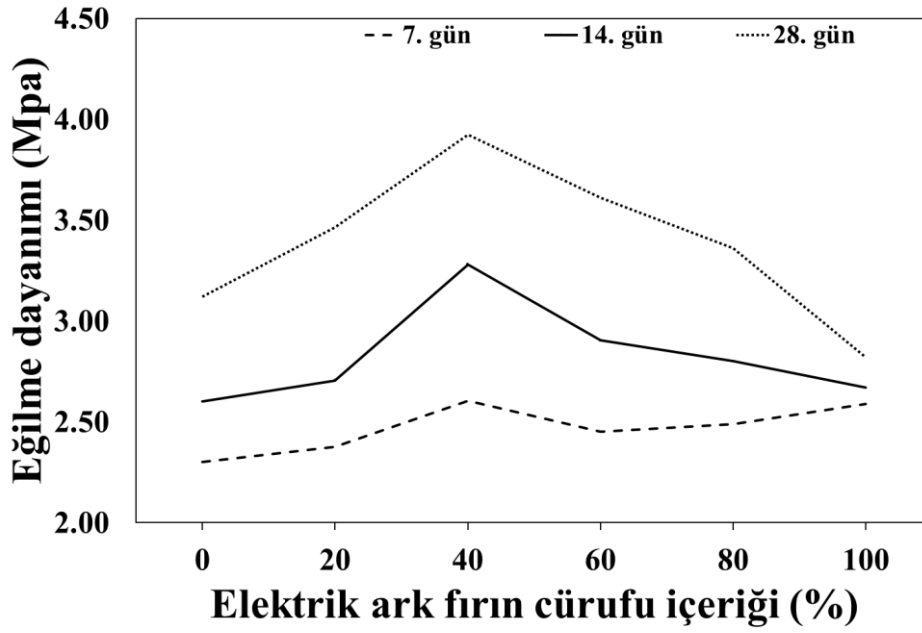
Karışım hazırlanırken ilk aşamada agregalar ve çimento kuru halde karıştırılmışlardır. Karışım için hız kontrollü pan tipi mixer kullanılmıştır. Kuru karışıma su katılarak homojen bir yapı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan taze karışım yağlı kalıplara döküldükten sonra sertleşmesi için 24 saat bekletilmişlerdir. Taze karışımın hazırlanmasının 24 saat ardından harç numuneler kalıptan çıkarılıp kür tanklarında muhafaza edilmişlerdir. Test gününe kadar kür tanklarında bekleyen numuneler çıkarılıp kurutulduktan sonra testlere maruz bırakılmışlardır.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi bölümünde elektrik ark cürufuna ait SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere kullanılan cüruf pürüzlü ve düzgün olamayan bir şekle sahiptir. Bu şekil bozukluğu cüruf ile çimento hamurunun kenetlenmesini kolaylaştırır. Kenetlenme mekanik özelliklerde iyileşmeye olanak sağlayacaktır. Cürufa ait kimyasal kompozisyon incelendiğinde ise cürufun %15,02 FeO ve %16,67 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiği görülür. Cürufun yüksek miktarlarda Fe ihtiva etmesi bu malzemenin kullanıldığı kompozite manyetik özellik katacağı öngörüsünde bulunulmasını sağlamıştır.

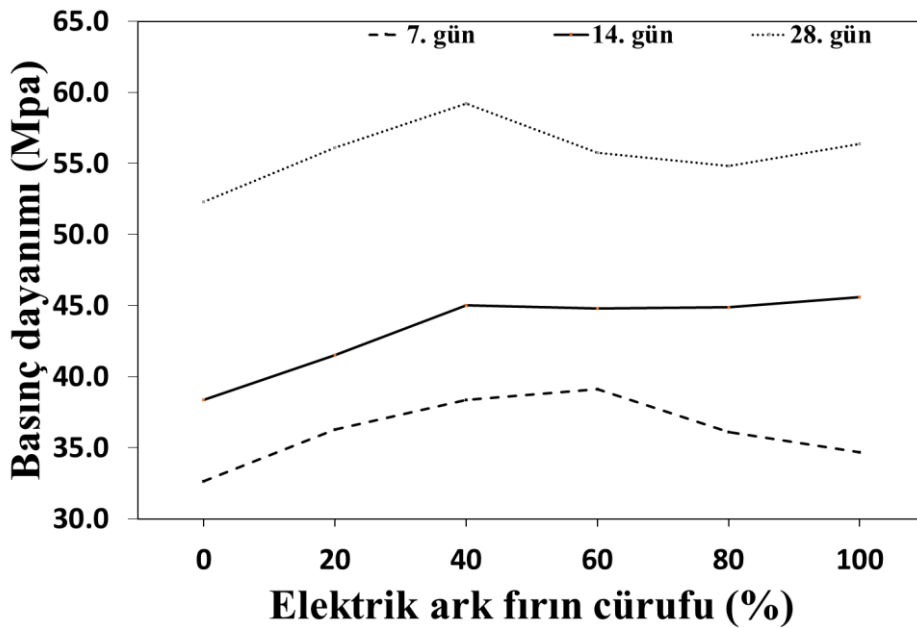
#### 4.1.1. Mekanik testler

Şekil 4.1 ve 4.2’de farklı miktarlarda elektrik ark cürufu ihtiva eden harçlara ait eğilme ve basınç dayanım değerleri görülmektedir. Hazırlanan harçların 7, 14 ve 28 günlük dayanımları test edilmişlerdir. Kontrol harcın 7, 14 ve 28 günlük eğilme dayanımı sırasıyla 2,3 MPa, 2,6 MPa ve 3,12 MPa iken basınç dayanımı değerleri 32,7 MPa, 38,8 MPa ve 52,28 MPa’dır. İçerisinde %20, %40, %60, %80 ve %100 oranda EAO cürufu bulunduran kompozitlerin 7 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 2,38 MPa, 2,6 MPa, 2,45 MPa, 2,49 MPa ve 2,59 MPa iken basınç değerleri 36,3 MPa, 38,4 MPa, 39,1 MPa, 36,1 MPa ve 34,7 MPa’dır. İçerisinde %20, %40, %60, %80 ve %100 oranda EAO cürufu bulunduran kompozitlerin 14 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 2,71 MPa, 3,28 MPa, 2,9 MPa, 2,8 MPa ve 2,62 MPa iken basınç değerleri 41,53 MPa, 45,02 MPa, 44,8 MPa, 44,9 MPa ve 45,62 MPa’dır. İçerisinde %20, %40, %60, %80 ve %100 oranda EAO cürufu bulunduran kompozitlerin 28 günlüğeğilme dayanımları sırasıyla 3,47 MPa, 3,92 MPa, 3,61 MPa, 3,36 MPa ve 2,82 MPa iken basınç değerleri 56,1 MPa, 59,2 MPa, 55,75 MPa, 54,8 MPa ve 56,36 MPa’dır. Eğilme ve basınç gerilmeleri sonucu incelendiğinde dayanım değerlerinin bütün numuneler için kür süresinin uzamasıyla arttığı görülür. Harç içerisindeki cüruf miktarının %20 ve %40’lara kadar çıkartılması eğilme ve basınç gerilmelerinde artışlara sebep

olmuştur. Harç içerisindeki cüruf miktarının daha da artırılması ile eğilme ve basınç değerlerinde %40 elektrik ark ocağı cürufu içeren harçlara göre azalma gözlemlense de bütün gerilme sonuçlarının şahit yani cüruf içermeyen harçlardan daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. En yüksek eğilme ve basınç gerilmesi sonucu %40 cüruf içeren numunelerde gözlemlenmiştir. %40 elektrik ark ocağı cürufu içeren 28 günlük harca ait SEM görüntüsü ve XRD deseni Şekil 4.3 ve 4.4'te görüldüğü gibidir.

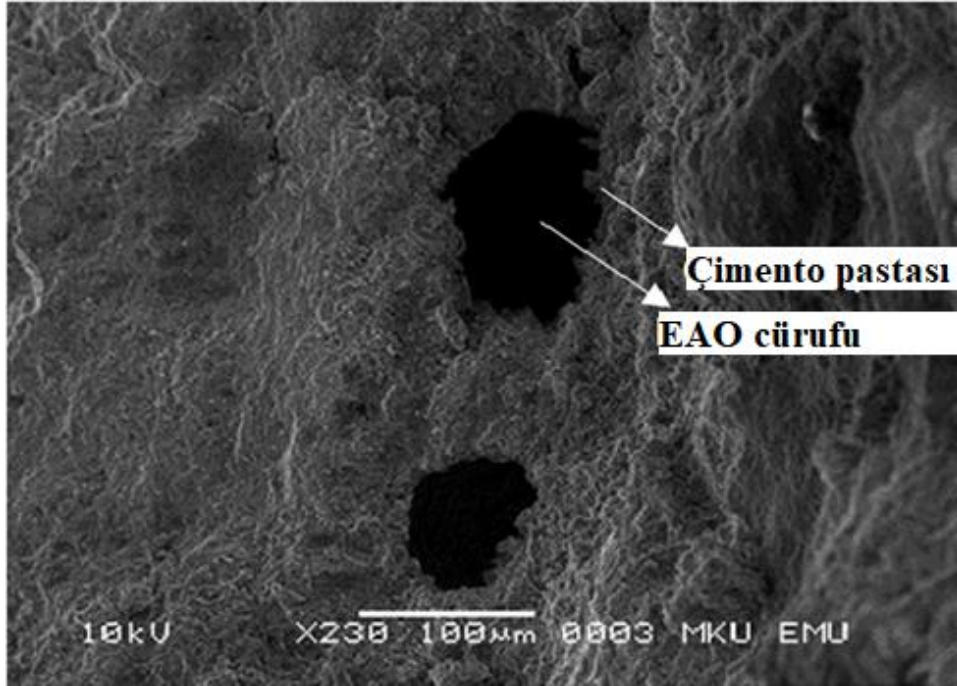


Şekil 4.1. Farklı oranda EAO cürufu içeren harçların eğilme dayanımı sonuçları



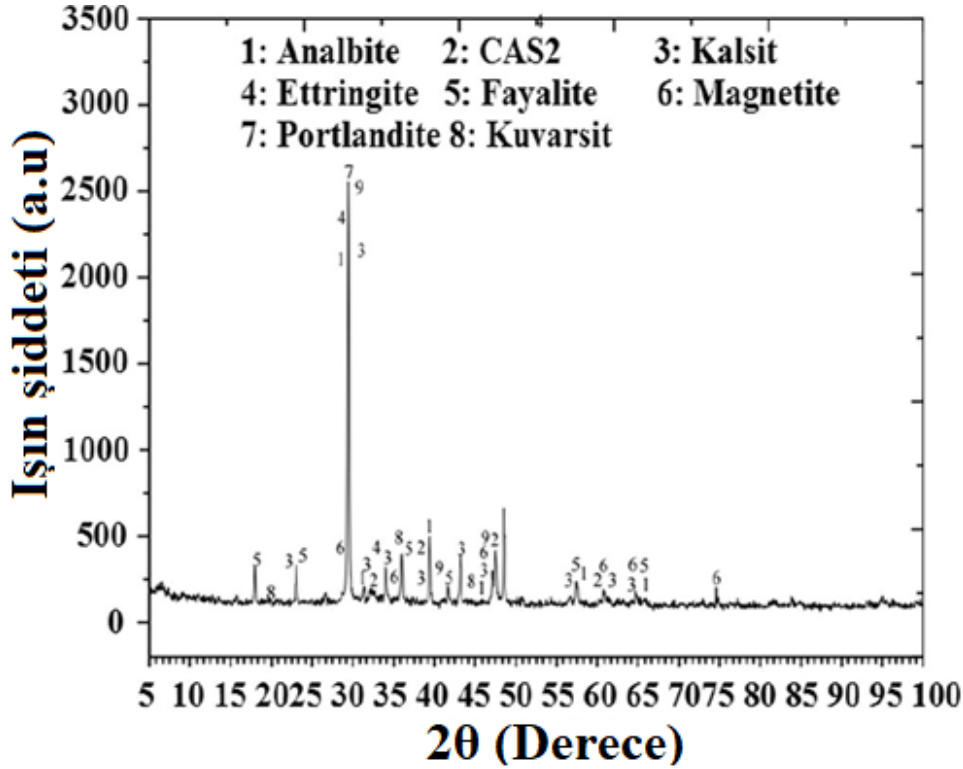
Şekil 4.2. Farklı oranda EAO cürufu içeren harçların basınç dayanımı sonuçları

SEM görüntüsünde çimento hamurunun agrega ile kenetlenmesi açıkça görülmektedir. Cüruf içeren harçtan alınan numune 230 kat büyütülerek şekildeki görüntü elde edilmiştir. Şekilde koyu siyah ile görünen yer cürufu göstermektedir. Gri renkteki alan ise çimento matrisidir. Çimento matrisinin cürufu sarmaladığı göze çarpmaktadır. Cüruf miktarının arttırılmasıyla mekanik değerlerdeki iyileşmenin bu kenetlenme sayesinde olduğu düşünülmektedir. İyi kenetlenme agrega yüzeyi ve çimento matrisi arasındaki bağı güçlendirmiştir. Agrega ara yüzeyi kompozitin en zayıf yeridir. Bu sebeple bu alanda meydana gelen gelişmeler dayanımı da direkt olarak etkiler. Görüntüsü alınan örnekte kenetlenme sayesinde kompozitin yapısında iyileşmelerin olduğu düşünülmektedir. XRD sonuçları incelendiğinde ise hidrasyon ürünleri olan hidratların ve kalsiyum hidroksitlerin üretilmeye devam edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3. %40 EAO cürufu içeren harcın SEM görüntüsü



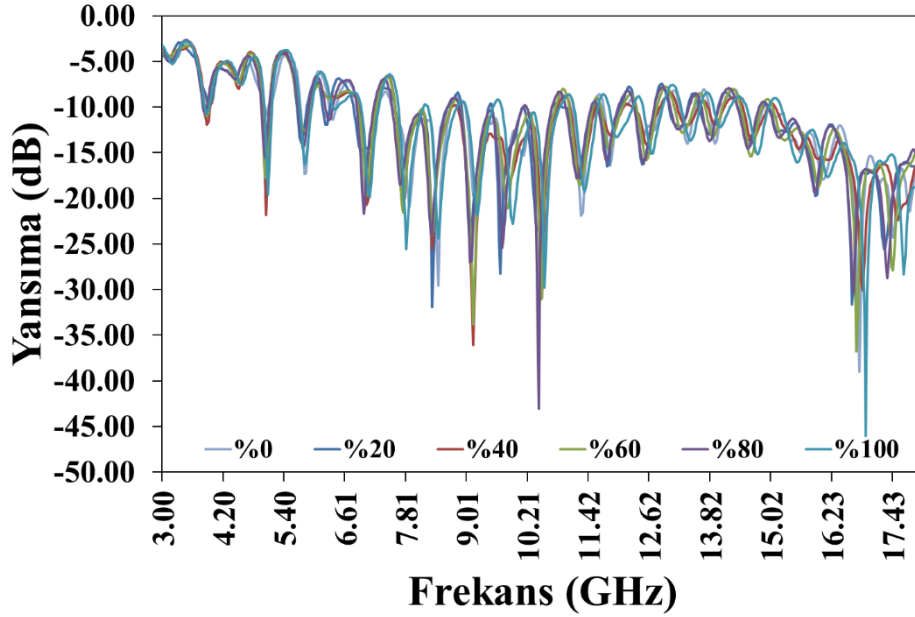


Şekil 4.4. %40 EAO cürufu içeren harcın XRD analizi sonucu

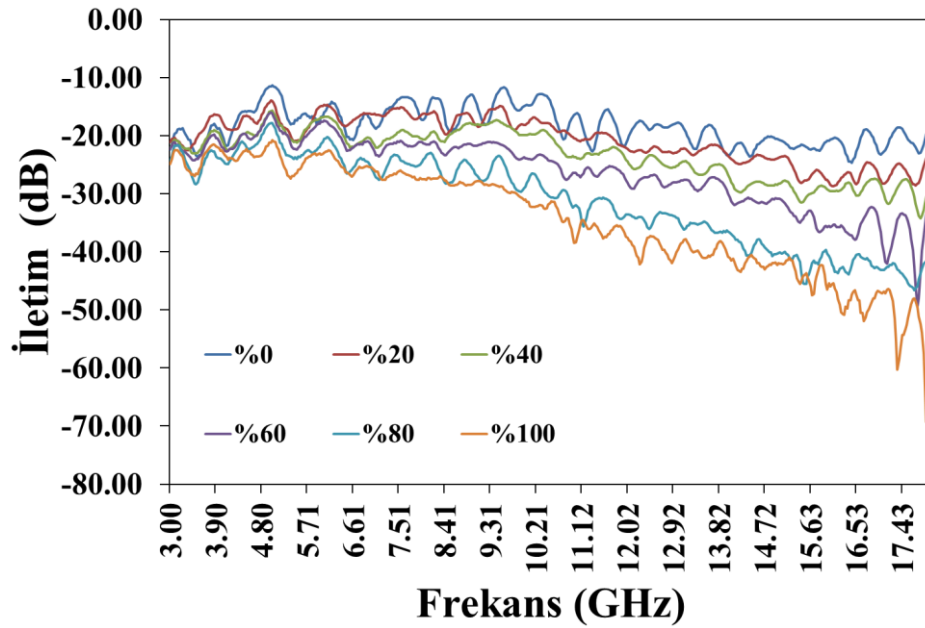
#### 4.1.2. EM testler

Çalışmanın bu kısmında farklı içeriğe sahip harçların yansımaya ve iletim sabitleri, gerçek ve sanal dielektrik sabitleri ve kalkanlama etkinlikleri incelenmiştir. Ölçümler İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mikrodalga Laboratuvarında VNA (Vector Network Analizyer) ve iki yüksek verimli anten kullanılarak yöntem kısmında bahsedildiği gibi yapılmıştır. Antenler Saçılım parametrelerini ( $S_{11}$  and  $S_{21}$ ) ölçmek için kullanılmıştır. Bu parametreler yansımaya ve iletim parametreleri hakkında bilgi verir. Bunun yanı sıra bu parametreler ilgili formüllerin kullanımıyla geçirimsizlik, geçirgenlik ve kalkanlama etkinliği tespit edilir. Harçlara ait yansımaya ve iletim parametreleri Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir. Bu çalışmanın ana amaçlarında bir tanesi dalga penetrasyonunun engellemek için mikrodalga iletiminin zayıflatılmasıdır. İletim değerlerinden görüleceği üzere elektrik ark cürufu içermeyen harçlarda iletim parametresi  $-15/20$  dB civarlarında iken bu değer cüruf içeren harçlarda  $-50/60$  dB civarlarına kadar çıkmıştır. Harç içerisindeki EAO cürufu miktarının artırılmasıyla test altındaki malzemenin dalga iletimi zayıflamış dolayısıyla EM dalga kalkanlama özellikleri de iyileşmiştir. Dalga iletiminin %40 EAO cürufu içeren çimento esaslı kompozitlerde ( en iyi mekanik özelliklere sahip karışım) şahit numuneye göre ortalama 10 dB kadar azaldığı görülmektedir. Dalga iletiminin

zayıflatılmasının ardındaki fiziksel sebebin cürufun doldurma etkisi olduğu düşünülmektedir. Birbirine kenetlenen agrega ve çimento hamurunun daha boşluksuz bir yapı oluşturduğu dolayısıyla dalga iletiminin zayıflatıldığı değerlendirilmektedir. Dalga iletimindeki zayıflama mekanizmasının arkasındaki kimyasal sebebin ise cürufun yapısındaki yoğun Fe iyonları olduğu kanaatine varılmıştır.

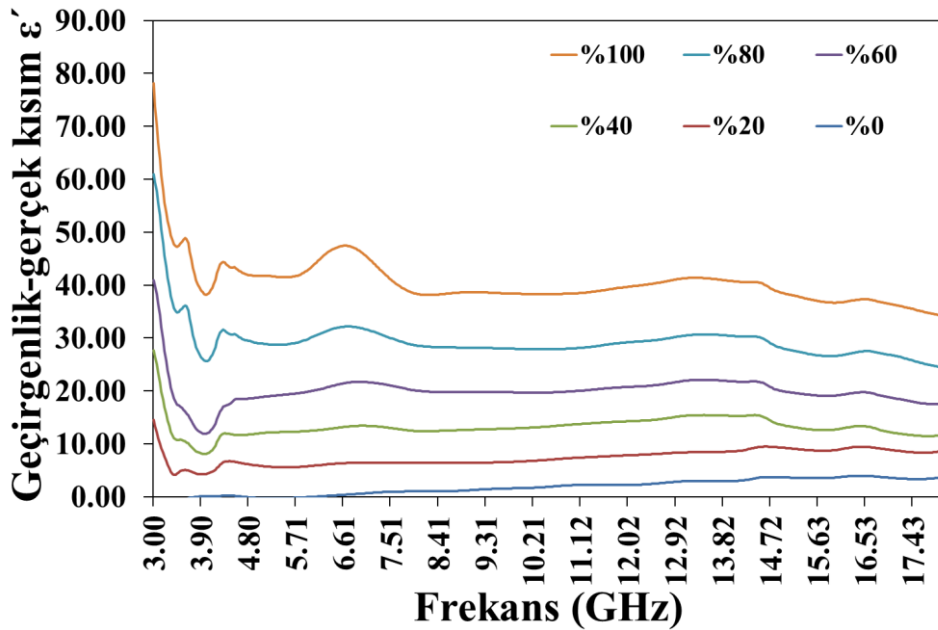


Şekil 4.5. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harçkarın EM dalga yansıtma değerleri

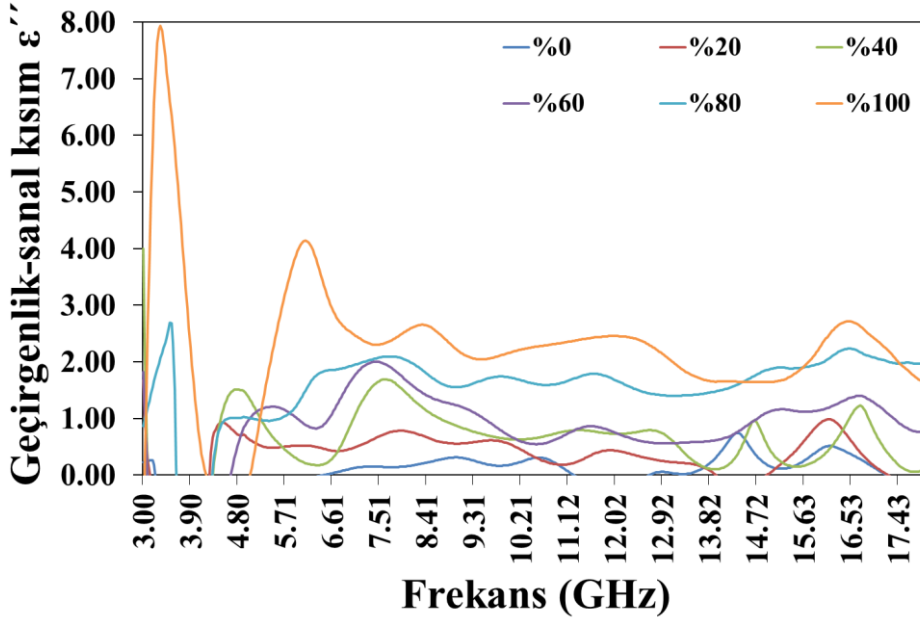


Şekil 4.6. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harçların EM dalga yansım iletim değerleri

Şekil 4.7 ve 4.8’de farklı içeriklere sahip harç numunelere ait reel ve sanal geçirgenlik değerleri gösterilmiştir. Dielektrik sabitlerindeki reel kısmın direkt olarak harç içerisindeki agrega miktarı ile ilişkisi göze çarpmaktadır. Agrega miktarının harç içerisindeki oranının %0’dan %100’e çıkarılmasıyla ortalama dielektrik değerinin 2’den 40’lara çıktığı görülür. Karışımlar içerisindeki en iyi mekanik değere sahip olan %40 EAOC içeren harcın dielektrik sabiti değerinin ortalama 10 olduğu da görülmüştür. Ölçümlerde efektif geçirgenlik katsayısının bütün karışımlarda ilgili frekans aralığında hemen hemen sabit olduğu dikkat çekmiştir. Bu, hem yüksek mekanik özelliklere sahip, hem de sabit ve frekans bağımsız geçirgenlik özelliklerine sahip olan radomları tasarlama fırsatı sağlar (Radom yapılar özellikle antenleri korumak amacıyla tasarlanırlar. Anteni olumsuz şartlardan (sıcak, soğukluk, etki, tepki gibi) korurken bir taraftan da antenin işlevselliğini kaybetmemesi istenir). Fakat sanal kısmın görece yüksek değere sahip olması bu alandaki kullanımı kısıtlayabilir. EAOC içermeyen harçlarda (%0 EAOC içeren harç- Kontrol numune) sanal geçirgenlik değeri 0 ile 1 arasında değişirken %40 oranda EAOC içeren harçlarda bu değer 1 ile 2 arasındadır. Sanal kısmın yani kayıpların sıfıra indirilmesi ile mükemmel özelliklere sahip radom uygulamaları yapılabilir. Ek olarak, kayıp faktörü, mikrodalga sinyalinin harca nüfuz etmesini sınırlar. Harç içerisinde EAOC kullanımının dielektrik sabitini ve kayıpları artırması harcın iletkenliğinin artmasıyla açıklanabilir. Demir iyonları harcın iletkenliğini ve yoğunluğunu harç içerisinde artmasıyla arttırmıştır.

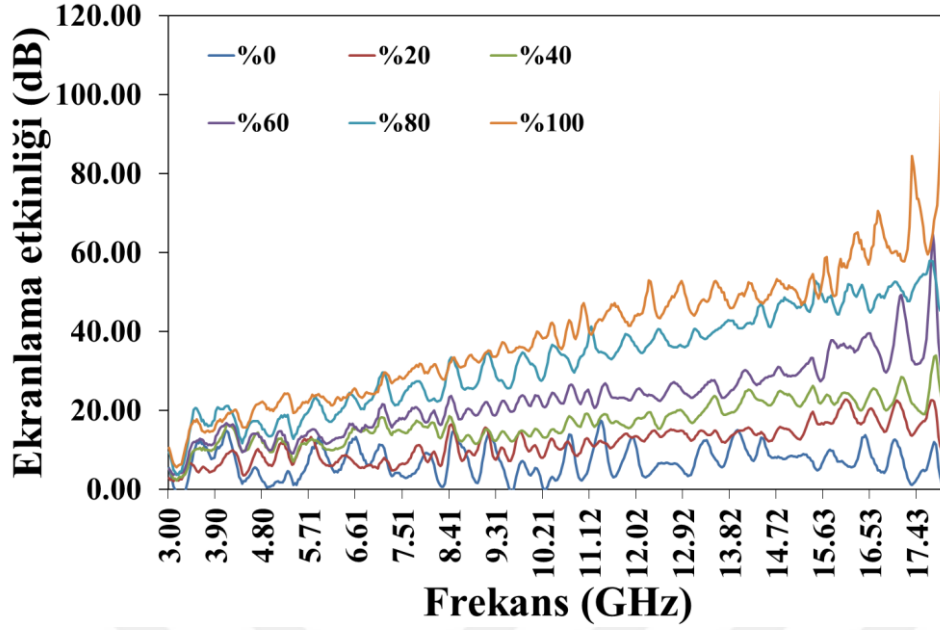


Şekil 4.7. Farklı oranlarda EAOC cürufu içeren harcın EM dalga gerçek geçirgenlik değerleri



Şekil 4.8. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harcın EM dalga sanal geçirgenlik değerleri

Şekil 4.9’da farklı içeriğe sahip harç numunelerinin ekranlama etkinliği sonuçları görülmektedir. EM dalga kalkanlama etkinliği ölçümleri için VNA cihazı kullanılarak 3-8 GHz frekans aralığında yapılmıştır. Değerler voltaj olarak ölçülmüş ardından “ $SE_{dB} = 20 \cdot \log_{10} (V_{out}/V_{in})$ ” formülünü kullanarak dB değerine dönüştürülmüştür. EAO cürufu içermeyen harç numunelerde genel olarak  $SE$  değerinin 10 dB civarlarında olduğu görülmektedir. En iyi mekanik özelliklere sahip %40 EAOC içeren harçlarda ise  $SE$  değerinin 15 dB- 20dB aralığında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar en iyi mekanik değere sahip çimento esaslı kompozitin yeterince iyi bir  $SE$  değerine sahip olduğunu göstermiştir. Bunlara ek olarak %80 ve %100 EAO cürufu içeren harçlarda  $SE$  derecelendirmesinin çok iyi ve mükemmel seviyelerde olduğu görülür. Bu sonuçlar ışığında %40 oranda EAO cürufu içeren harçların üstün mekanik özellikleri ile birlikte EM dalga kalkanlama yeteneğinden dolayı ucuz bir EM dalga kalkanlayıcı olarak kullanılabileceği görülür. Yüksek kalkanlama etkinliğinin ardındaki fiziksel mekanizma, test edilen malzemede dalga penetrasyonunun engellenmesinin kaynağı ile doğrudan ilgilidir. Kaynağın ise boşluksuz kompakt yapı ve cürufun muhtevastaki yüksek Fe(demir) olduğu düşünülmektedir.



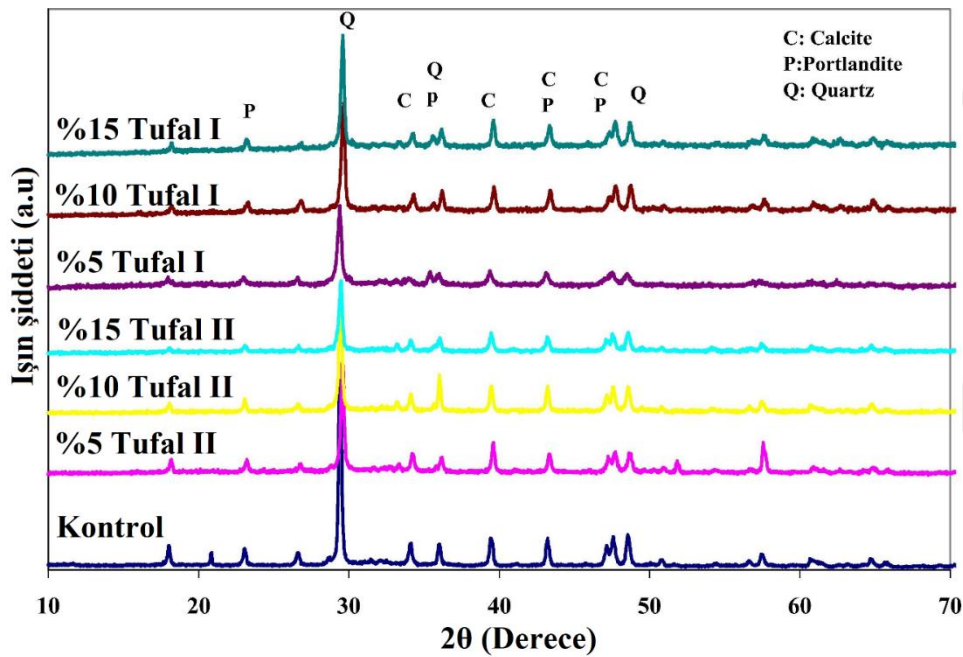
Şekil 4.9. Farklı oranlarda EAO cürufu içeren harcın EM dalga ekranlama etkinliği değerleri

#### 4.2. Atık Tufal ile Yeni Bir Elektromanyetik Dalga Soğurucu Harç Üretimi

Tezin bu kısmında Tufal I ve Tufal II olarak adlandırılan iki farklı tufalin EM özellikleri incelenmiş ardından bu malzemelerin çimento esaslı kompozitlerde EM dalga soğurucu olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Üretilen harçlarda 1 kısım bağlayıcı, 2,75 kısım kum ve 0,485 kısım su kullanılmıştır. Verilen reçeteye sahip kompozit şahit numune olarak etiketlenmiş ve daha sonraki karışımları hazırlamak için farklı miktarlarda tufal kullanılmıştır. Tufaller harç içerisinde agrega ile hacimce %5, %10, %15 ve %30 oranlarında yer değiştirilmiştir. Tufal içeren çimento esaslı kompozitlere mekanik ve EM testler uygulanmıştır. Toz halindeki tufaller özel olarak hazırlanmış  $15 \times 15 \times 2 \text{ cm}^3$  boyutlarına sahip plastik numune tutucuya doldurulmuştur. Ardından EM ölçümler alınmıştır. İkinci aşamada Farklı oranda tufal içeren harçlar üretilip  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  (mekanik testler için) ve  $15 \times 15 \times 2 \text{ cm}^3$  (EM testler için) boyutlarına sahip kalıplara dökülmüştür.

Karışım hazırlanırken ilk aşamada kırma taş agrega, tufal ve çimento kuru halde karıştırılmışlardır. Karışım için hız kontrollü pan tipi mixer kullanılmıştır. Kuru karışıma su katılarak homojen bir yapı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan taze karışım yağlı kalıplara döküldükten sonra sertleşmesi için 24 saat bekletilmişlerdir. Taze karışımın hazırlanmasının 24 saat ardından harç numuneler kalıptan çıkarılıp kür tanklarında muhafaza edilmişlerdir. Test gününe kadar kür tanklarında bekleyen numuneler çıkarılıp kurutulduktan sonra testlere maruz bırakılmışlardır.

İki farklı özelliğe sahip iki farklı tufalin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile kullanıldıkları kompozitlere farklı özellikler kazandıracağı düşünülmüştür. Aynı şekilde Tufal I manyetit yapıda iken Tufal II hematit yapıda olması göz önünde bulundurulması gereken özelliklerdir. Ayrıca yapılan XRD analizleri (Şekil 4.10) sonucunda harç içerisinde tufal kullanımının harcın kimyasal yapısında önemli değişikliklere sebep vermediği anlaşılmıştır. Analiz sonucunda tüm harçların ana yapılarının kalsiyum karbonat (JCPDS card no 74-1886) olduğu anlaşılmaktadır.

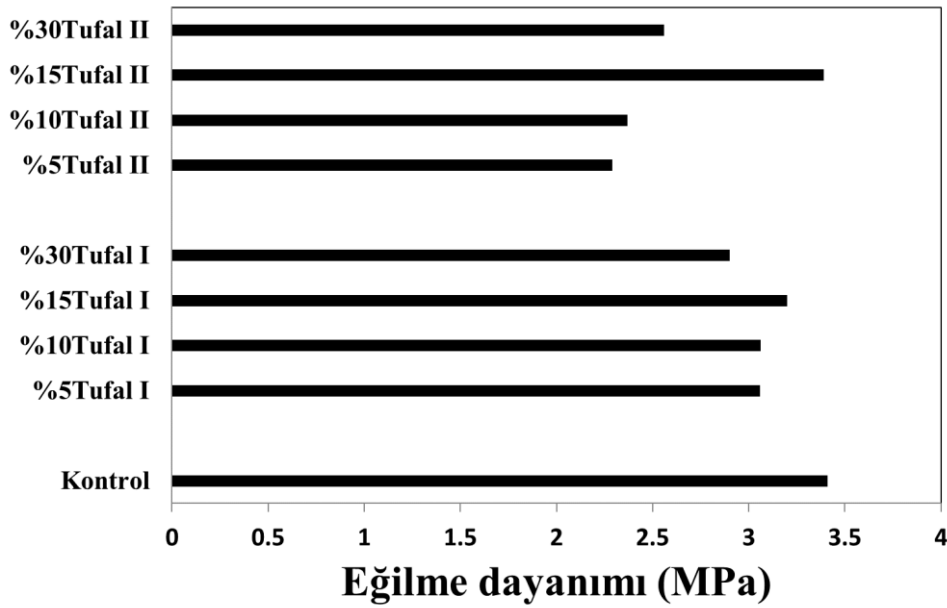


Şekil 4.10. Tufal içeren ve içermeyen harçlara ait XRD analiz sonuçları

#### 4.2.1. Mekanik testler

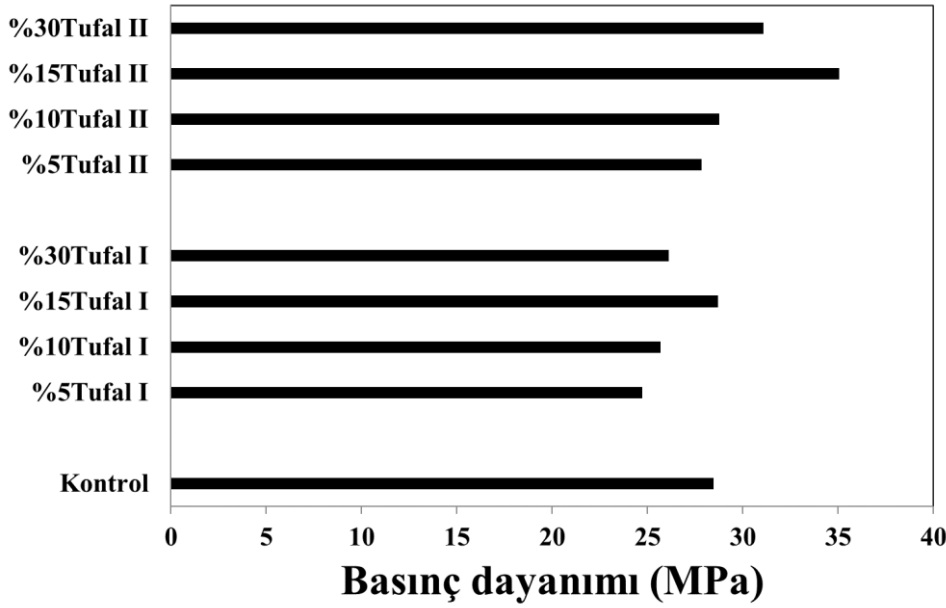
Şekil 4.11’de farklı tufal çeşitlerine ve oranlarına sahip harç numunelere ait eğilme dayanımı değerleri görülmektedir. Şekilde eğilme gerilmelerinin tufal çeşidine ve ikame oranına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. 28 Günlük Kontrol numunelerine ait eğilme ve basınç değerleri 3.41 MPa ve 28.45 MPa’dır. 28 günlük harçlar için içerisinde %5, %10, %15 ve %30 oranlarında Tufal I bulunduran kompozitlerin eğilme dayanımları 3,06 MPa, 3,06 MPa, 3,20 MPa, ve 2,90 MPa iken basınç değerleri 24,73 MPa, 25,68 MPa, 28,68 MPa, ve 26,12 MPa’dır. 28 günlük harçlar için içerisinde %5, %10, %15ve %30 oranda Tufal II bulunduran kompozitlerin eğilme dayanımları 2,29 MPa, 2,37 MPa, 3,39 MPa ve 2,56 MPa iken basınç değerleri 27,83 MPa, 28,76 MPa, 35,04 MPa ve 31,08 MPa’dır. Tufal ikame oranlarının %5

ten %10 ve %15 e kadar arttırılması eğilme gerilmelerinde artışa sebep olmuştur. %15 oranda Tufal I ve Tufal II içeren harçlar diğer ikame oranlarına sahip harçlarla kıyaslandığında kontrol numuneye göre en az dayanım kayıplarına sahip çimento esaslı kompozitlerdir. Eğilmede çekme gerilme değerleri incelendiğinde her iki tufal çeşidi için de tufal oranının harç içerisindeki artışı %15'e kadar dayanımda artışa sebep olurken ikame oranının daha da fazla arttırılması dayanım değerinde düşümlere neden olmuştur. Şahit numuneye en yakın değer %15 Tufal II içeren çimento esaslı kompozitlere aittir.



Şekil 4.11. Tufal içeren ve içermeyen harçlara eğilme dayanımı sonuçları

Tufal içeren harçlara ait basınç dayanımı değerleri Şekil 4.12'de görülmektedir. %5 oranında Tufal içeren harçlar kontrol numuneye göre düşük gerilme değerlerine sahip olsa da harçtaki ikame oranlarının sırasıyla %10 ve %15 olmalarıyla değerlerde artışlar tespit edilmiştir. Basınç dayanımı değerleri tufal içeren çimento esaslı kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek değer %15 tufal içeren numunelerde olduğu anlaşılır. En yüksek değer şahit numuneye kıyaslandığında %23,12 daha fazla eğilme dayanımı değerine sahip olan %15 oranda Tufal II içeren harçta görülür. %15 oranda Tufal I içeren harçlar şahit numuneye hemen hemen aynı değere sahiptir. Tufal I'i %5, %10 ve %30 oranda içeren harçların basınç dayanımı değerleri şahit numuneden sırasıyla %13, %9 ve %8 daha azdır.



Şekil 4.12. Tufal içeren ve içermeyen harçlara basınçdayanımı sonuçları

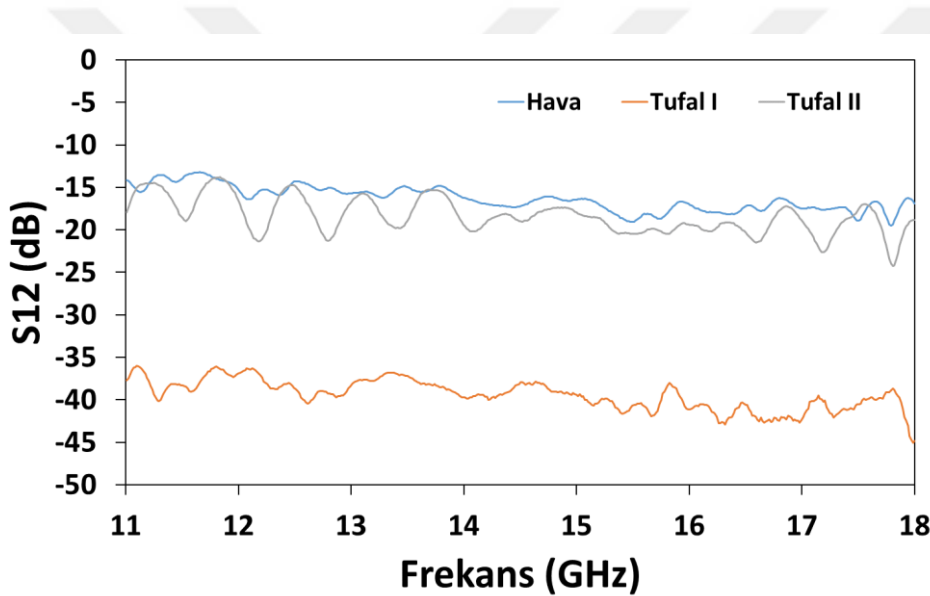
Genel olarak tufal katılım oranlarının artırılmasıyla harçlarda dayanımlar da artmıştır. Bu çalışma sonuçlarında tufal katılım oranının %30'lara çıkarılması dayanım sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Dayanımlardaki artışların sebebinin tufallerin düzgün olmayan şekilleri sayesinde çimento hamuruyla iyi kenetlenmeleri olarak düşünülmektedir. Fakat tufal ikame oranlarının aşırı artırılmasıyla dayanımın düşmüştür. Bunun sebebinin ise tufal oranının artırılmasıyla harç karışımındaki ince malzeme miktarının artması olarak düşünülmektedir. Aşırı ince malzeme bir yandan hidrasyon için gerekli suyu emerek hidrasyonun tam gerçekleşmesini engellemiş bir taraftan da karışımın işlenebilirliğini azaltarak yapıda boşlukların oluşmasına neden olmuştur.

#### 4.2.2. EM testler

Tezin bu kısmında iki farklı tufalin hava ile kıyaslanarak mikrodalga zayıflatma karakteristiği incelenmiştir. İlk olarak toz haldeki tufaller 15 cm X 15 cm X 2 cm plastikten hazırlanan bir hazne içerisine konulmuş ve EM ölçümler yapılmıştır. Toz haldeki EM ölçüm bu mızemelerin EM dalga ekranlamasında kullanılıp kullanılmayacağı konusunda bilgi toplamak için yapılmıştır. Reel ve sanal geçirimsizlik parametreleri iletim ve yansımaya parametrelerinin büyüklük ve faz değerlerinin kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Ölçümler her bir numune için tek tek ve 11 – 18 GHz frekans aralığında yapılmıştır. Tufal I, Tufal II ve havaya ait iletim parametreleri ( $S_{12}$ ) Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Sonuçlar Tufal II'nin test ölçüm frekans aralığında havaya yakın davranış sergilediğini göstermiştir. Tufal II'nin ise



EM dalga iletimini zayıflatmada çok daha etkilidir. EM zayıflatma ortalama 40 dB civarında seyretmiştir. Tufallerin farklı tepkileri, EDX tablosunun ve SEM görüntülerinin katkısı ile ifade edilebilir. Tufal I'in kuvvetli EM dalga zayıflatması, elektron hareketliliği ve rezonans sağlayan yüksek Fe oranı, kristal yapı, yoğunluk ve daha büyük tane büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tufal I ve Tufal II'nin FE K-serisi değerlerinin sırasıyla %79,17 ve %82,24 olduğu malzeme özelliklerinin belirlenmesi kısmında gösterilmiştir. Bu değerlerin her iki tufal için birbirlerine yakın olması malzeme boyutlarının dalga zayıflatmada etkili olabileceği düşüncesini destekler niteliktedir. Numunelerin IR spektrumu da bu kestirimi desteklemektedir, çünkü mikrodalgadaki iletim spektrumu IR'deki iletim spektrumu ile uyumludur.

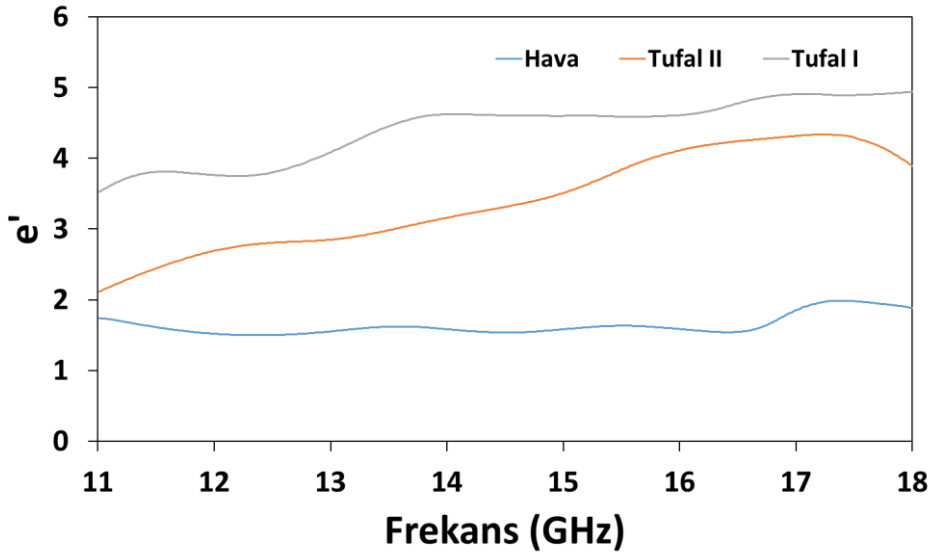


Şekil 4.13. Tufallere ve havaya ait EM dalga iletim parametresi değerleri

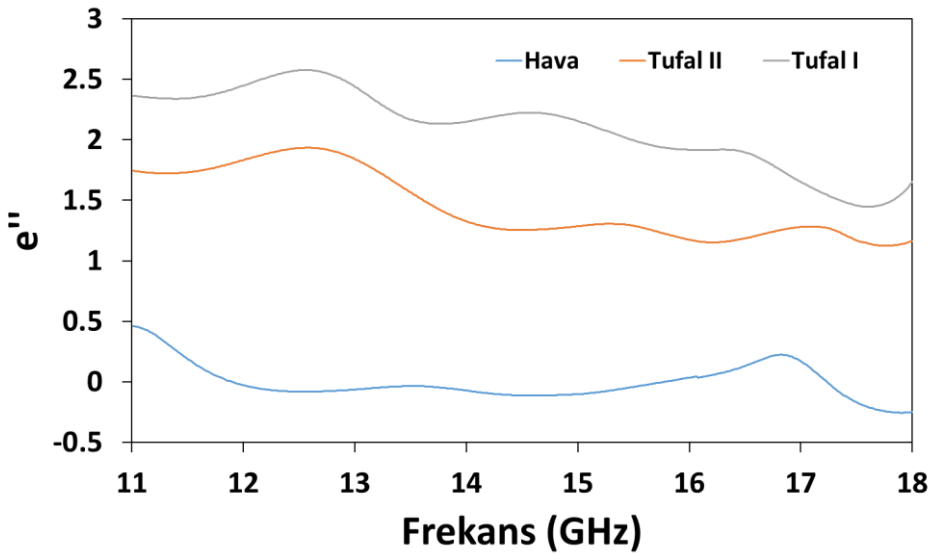
İki tufale ait EM özellikler NRW metodu kullanılarak tespit edilmiştir. Gerçek ve sanal bağlı geçirimsizlik (dielektrik) parametreleri bu metod yardımıyla çıkarılmış ve çıkan sonuçlar kendi aralarında kıyaslanarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.14-4.15). Daha önce de bahsedildiği gibi gerçek ve sanal bağlı geçirimsizlik parametreleri ilgili frekanstaki yansıma ve iletim parametrelerinin büyüklük ve faz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Uygulanan frekans aralığı, dalga boyu ve numune boyutları arasında kolaylık sağlamak için seçilmiştir. Tufal II havaya yakın bir davranış göstermiştir. Tufal II'nin hem elektriksel yoğunluğu hem de kaybı, Tufal I'den düşük olduğundan, zayıflama seviyesi daha düşük bir seviyede gözlenmiştir. Tufal I, gelen dalgaya karşı güçlü bir zayıflatma yeteneği göstermiştir. Zayıflama ayrıca, geçirgenliğin hem elektrik yoğunluğunu hem de kaybını belirten gerçek

ve sanal bölümlerinden kaynaklanmıştır. Kayıp faktörü elektrik yoğunluğu bakımından daha etkilidir. Yapılan açıklamalarda EM dalga zayıflatma yapılarının etkin elektriksel geçirimsizlik özelliklerine atfedilmiştir. Buna ek olarak yapıların EM davranışları manyetik karakteristik özellikleri değerlendirilerek de yapılabilir. Çünkü mikrodalga sinyalleri dâhil tüm EM dalga tipleri hem elektrik hem de manyetik alanlardan oluşmaktadır. Gelen EM dalga, geçirgenlik ve geçirimsizlik olarak tanımlanan ortamın hem elektriksel hem de manyetik tepkilerine bağlı olarak yansıtılabilir, iletilebilir veya absorbe edilebilir. Karakterizasyon bölümünde belirtildiği gibi, Tufal I ferromanyetik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bu malzemelere bir mikrodalga alanı uygulandığında, doğrultuda ve zaman içinde değişen dalganın manyetik alan bileşeni ferromanyetik özelliklere bağlı olarak yapının manyetik tepkimesinden etkilenmiş ve ortama yayıldığında zayıflatılmıştır. Bu konuyla alakalı Ing Kong ve ark. (2010) dielektrik ve manyetik özelliklere bağlı olarak ferritlerin EM dalga emicileri için en iyi manyetik malzeme olduğunu belirtmişlerdir [98].

Tufal II'nin düşük EM dalga zayıflatma yeteneğinin yetersiz ferromanyetik özellikte olmasıyla açıklanmıştır. Ferrit ve metalik tozların, koruyucu malzemeler olarak özellikle düşük frekanslarda kullanıldığı daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Ayrıca, yüksek frekans uygulamaları için de bu malzemeler araştırılmaktadır. Bu çalışmada ferrit ve demir tozları yerine tufallerin kullanılması denenmiştir. Yapılan ölçümlerde Eryılmazlar A.Ş.'den alınan tufal için ölçülen kalkanlama etkinliği, 11-18 GHz arasında 40 dB civarında görülmüştür. Literatür çalışmaları incelendiğinde ferritin elektriksel ve manyetik ekranlama etkinliği sırasıyla 1-10 GHz arasında 40 dB ve 20 dB'nin altında olduğu görülür [83]. Demir tozunun ise kalkanlama etkinliği, X bant frekans aralığı için yaklaşık 20dB olduğu not edilmiştir [99]. Kalkanlama etkinliği için kullanılan malzemelerin en az 10 dB *SE* değerine sahip olması gerektiği anlaşılır [100]. Bu bulgular ışığında Eryılmazlar A.Ş.'den alınan Tufal I EM koruma için daha iyi bir çözüm sunduğu anlaşılır. Tufal I'in tüm kablolu iletişim bantlarında kalkanlama özelliklerine sahip yeni bir yapı malzemesi oluşturmak için kullanılabilmesi sonucuna varılabilir. Öte yandan Tufal II, iletim açısından hava gibi davranan yeni yüksek mukavemetli radomları üretmek için kullanılabilir. Sonuçlar değerlendirildiğinde her iki ürünün de önemli uygulama alanları sunması anlamı ortaya çıkar.



Şekil 4.14. Tufallere ve havaya ait gerçek geçirimsizlik (dielektrik) parametreleri



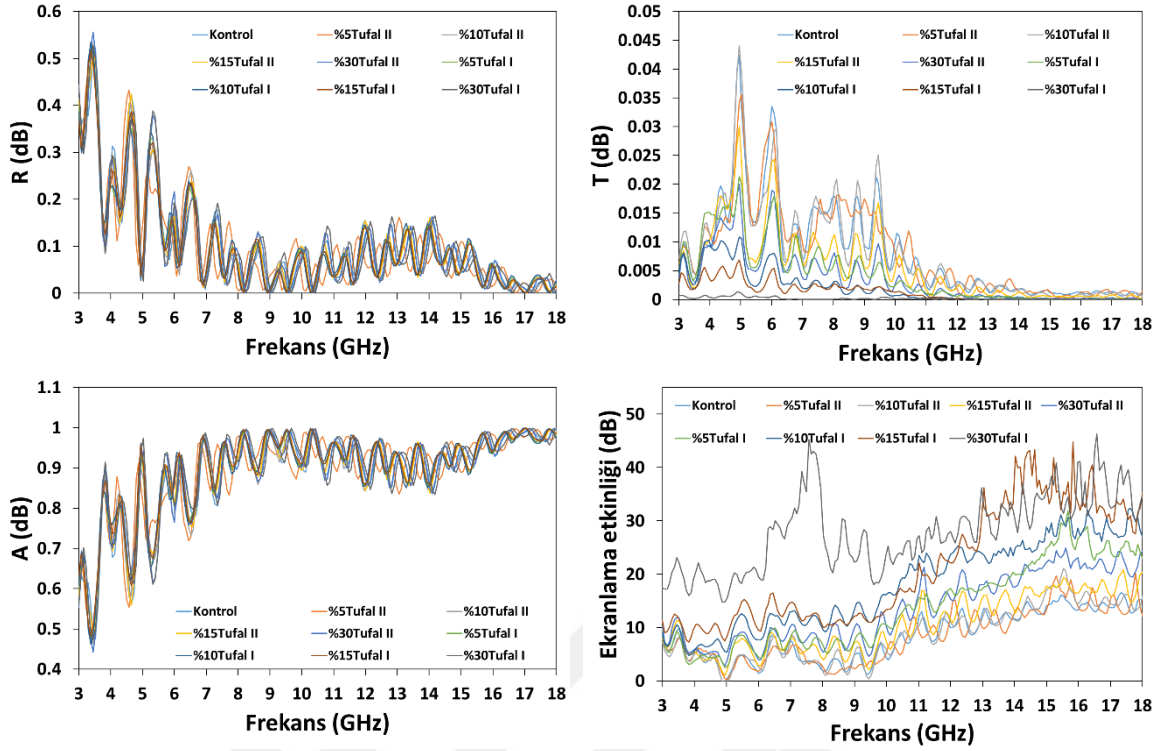
Şekil 4.15. Tufallere ve havaya ait sanal bağlı geçirimsizlik (dielektrik) parametreleri

İki farklı tufali farklı oranlarda içeren harç numunelerinin elektromanyetik tepkileri (yansımaya (R), iletime (T), absorpsiyon (A) ve ekranlama etkinliği) Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi ölçüm teknikleri uygulanmış ve ölçüm 3-18 GHz frekans aralığında boş alanda gerçekleştirilmiştir. Yansımaya parametresinin büyüklüğü sırasıyla 3-7 GHz ve 8-18 GHz arasında 0,5 ile 0,1 arasındadır. Dolayısıyla, yapının özellikle 8GHz'in üzerinde ihmal edilebilir yansımaya özelliklerinin olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuçlar önerilen yapıların ilgili frekans bandında neredeyse hava gibi davrandığı anlamına gelir. Bu özellik, serbest alan ve önerilen yapıların içsel empedansı arasındaki empedans eşleşmesinden kaynaklanmaktadır. Numunelerin ölçülen iletim parametreleri büyüklükleri

de ihmal edilebilir bir değerde oldukları görülmektedir. Tüm numunelerin iletim değerleri neredeyse 0,04'ten düşüktür. Özellikle Tufal I içeren harçların iletim değerleri sıfır civarındadır. Bu nedenle, numunelerin diğer tarafına iletilen bir mikrodalga enerjisi dalgası olmadığı sonucuna varılabilir.

Tufal II'nin harç içerisindeki ikamesi ile hazırlanan kompozitler kontrol numunesine göre EM dalgalara karşı önemsiz bir bloke edici etki göstermiştir. Tufal I ikame oranının harçta %5'ten %30'a yükseltilmesi ise kontrol numunesine göre önemli bir EM dalga bloke etme etkisine neden olmuştur. Ayrıca, %30 Tufal I içeren harç numunesi neredeyse içinden geçen tüm enerjiyi bloke etmiştir. Bir yapının EM dalga soğurma değerinin hem iletim hem de yansıma değerleri ile ilişkili olduğu iyi bilinmektedir. İletim veya yansıma katsayılarının artması, emilimini azaltır veya bunun tersi olur. Şekil 4.16'da görülebileceği gibi, numunelerin EM dalga soğurma seviyeleri özellikle 7-18 GHz arasında 0,8'in üzerindedir. Dolayısıyla numuneler EM dalga penetrasyonunu yüksek soğurma özelliklerinden dolayı engellerler. Detaylı incelemede, Eryılmazlar A.Ş.'den alınan tufali içeren numunelerin EM dalga soğurma seviyesi, düşük iletim ve yansıma seviyelerinden dolayı diğer örneklerden daha yüksek olduğu anlaşılır.

Hazırlanan harçlar üzerinde Tufal I ve Tufal II'nin ayrıntılı etkisi, desibel gösterimi ile kalkanlama etkinliği sonuçlarıyla gösterilmiştir. *SE* değeri ne kadar yüksek olursa, numunede yayılan enerji o kadar düşük olur. Tufal I varlığının, kalkanlama etkinliğinde yüksek iyileştirme sağladığı görülmektedir. Harçtaki Tufal II'nin ikame oranı, *SE*'de hafif bir artışa neden olmuştur. Bu değerleri kontrol numunesinin *SE* değerleri ile karşılaştırdığımızda, *SE* değerindeki artışın önemsiz olduğu görülür. Öte yandan, Tufal I'in ikame oranının harçta %5'ten %30'a yükseltilmesi, *SE*'de önemli bir artışa neden olmuştur. Son olarak, her iki tufalin ikamesi emilim (*A*) ve yansıma (*R*) değerlerinde önemli değişikliklere neden olmadığı da görülmüştür. Test numunesinin yüzeyini sıvayan çimento hamurunun tufallerin davranışlarını sınırladığı düşünülmektedir. Tufal I sahip olduğu manyetik yapı, ferromanyetik özellik ve kübik kristal düzenden dolayı kullanıldığı çimento esaslı kompozitte *T* değerinde düşüş *SE* değerinde ise artışa sebep olmuştur. Ek olarak, Tufal II içeren harçlardaki *T* ve *SE* değerlerinde önemsiz değişikliğin, oda sıcaklığındaki tufalin zayıf ferromanyetik özelliklerinden ve hematitin eşkenar dörtgen kristal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.16. Farklı oranlarda tufal içeren harç numunelerinin ve geleneksel harcın elektromanyetik tepkileri (iletim, yansımaya, absorpsiyon ve kalkanlama etkinliği)

### 4.3. Tufal ve Atık Tekerlek Lastiğinin Yeni Nesil Harçlarda Elektromanyetik Dalga Zayıflatıcı Olarak Kullanımı

Tezin bu kısmında çimento esaslı kompozitler hazırlanırken harç içerisindeki agrega ile hacimce yer değiştirilen Tufal I ile agrega ile hacimce yer değiştirilen atık tekerlek lastiğinin mekanik ve EM etkileri araştırılmıştır. Bir önceki bölümde kullanılan tufalin harç üzerindeki mekanik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Tufal I'in ağırlıkça agrega yerine %15 oranında yer değiştirilebileceği sonucu çıkmış idi. Bu sebeple ilk aşamada atık tekerlek lastiği harç içerisinde agrega ile hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilerek kompozitler oluşturulmuştur. Ardından daha önce bulunan optimum tufal oranı içeren (%15) harçlar %15, %30 ve %45 (hacimce agrega ile yer değiştirilerek) oranlarında atık tekerlek lastiği ile beraber kullanılmışlardır. Böylece hem atık lastiğin EM dalga zayıflatıcı çimento esaslı harçlarda değerlendirilmesi sağlanmış hem de bu iki malzemenin sinerjik etkisi araştırılmıştır.

Harç hazırlamak için 1 kısım bağlayıcı, 2,75 kısım agrega ve 0,485 kısım su kullanılmıştır. 4x4x16 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip prizmatik numuneler üzerinde mekanik testler yapılırken

15x15x2 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip plaka numuneler üzerinde EM testler uygulanmıştır. Verilen test sonuçları 28 günlük numunelere ait sonuçlardır.

Karışım hazırlanırken ilk aşamada kırma taş agregası, tufal, granüle tekerlek lastiği ve çimento kuru halde karıştırılmışlardır. Karışım için hız kontrollü pan tipi mixer kullanılmıştır. Kuru karışıma su katılarak homojen bir yapı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan taze karışım yağlı kalıplara döküldükten sonra sertleşmesi için 24 saat bekletilmişlerdir. Taze karışımın hazırlanmasının 24 saat ardından harç numuneler kalıptan çıkarılıp kür tanklarında muhafaza edilmişlerdir. Test gününe kadar kür tanklarında bekleyen numuneler çıkarılıp kurutulduktan sonra testlere maruz bırakılmışlardır. Test sonuçlarında belirtilen etiketlerin anlamları: kontrol-standart harç, %15ATL - %15 tekerlek lastiği içeren harç, %30ATL - %30 tekerlek lastiği içeren harç, %45ATL - %45 tekerlek lastiği içeren harç, %15Tufal I - %15 tufal içeren harç, %15ATL+%15Tufal I - %15 tufal ve %15 tekerlek lastiği içeren harç, %30ATL+%15Tufal I - %15 tufal ve %30 tekerlek lastiği içeren harç, %45ATL+%15Tufal I - %15 tufal ve %45 tekerlek lastiği içeren harç.

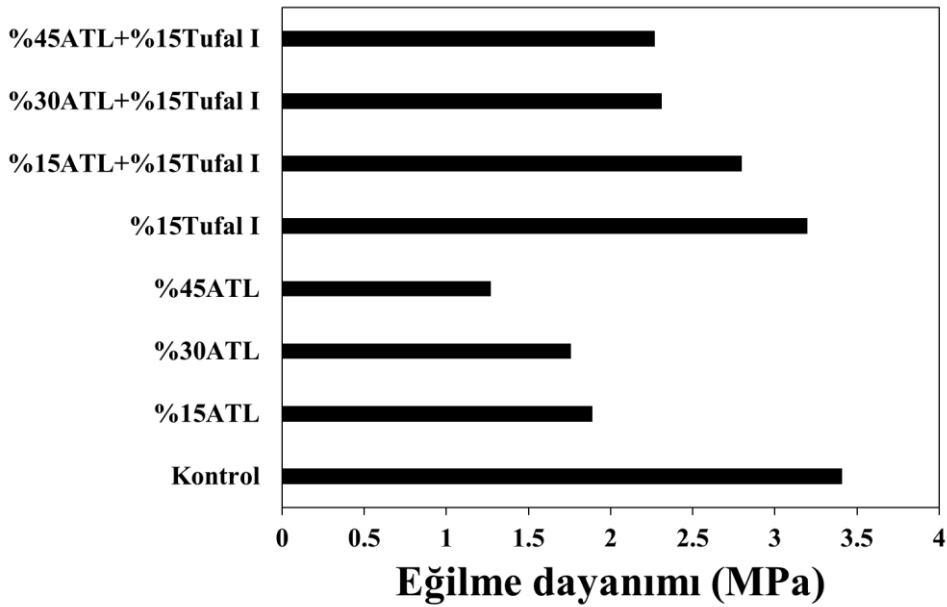
#### 4.3.1. Mekanik testler

Şekil 4.17 atık tekerlek lastiğinin ince agregası ile değiştirilmesinin hem basınç hem de eğilme mukavemetinde azalmaya yol açtığını göstermektedir. Kontrol, %15ATL, %30ATL, %45ATL, %15Tufal I, %15ATL+%15Tufal I, %30ATL+%15Tufal I ve %45ATL+%15Tufal I harçlarının 28 günlük eğilme gerilmesi değerleri sırasıyla 3,41 MPa, 1,89 MPa, 1,76 MPa, 1,27 MPa, 3,2 MPa, 2,8 MPa, 2,31 MPa ve 2,27 MPa iken basınç dayanımı değerleri sırasıyla 28,45 MPa, 14,81 MPa, 14,25 MPa, 8 MPa, 28,68 MPa, 20,25 MPa, 18,31 MPa ve 13,23 MPa'dır. Üretilen harçlara daha fazla lastik eklenmesiyle hem basınç hem de eğilme mukavemetinin azaltılmasının nedeni, lastik parçacıklarının sıkıştırılmasının yüksek içerikte zorlaştığı ve modifiye edilmiş harçlardaki boşlukların oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu heterojen karışım harçta zayıflığa neden olmuştur. Bu çıkarımlar SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Şekil 4.18'de verilen görüntü %45ATL numunesine aittir. SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere çimento hamuru ve lastik parçalarının birleşme yüzeylerinde boşlukların ve çatlakların olduğu da göze çarpmaktadır. Arayüzde meydana gelen çatlakların nedeni, lastik parçacıkları ile çimento matrisi arasındaki net bölünme olabilir. Bu durum her iki malzeme arasındaki yapışmayı zayıflatmaya neden olur ve lastik kompozitin mukavemetinde bozulmaya yol açar [101],

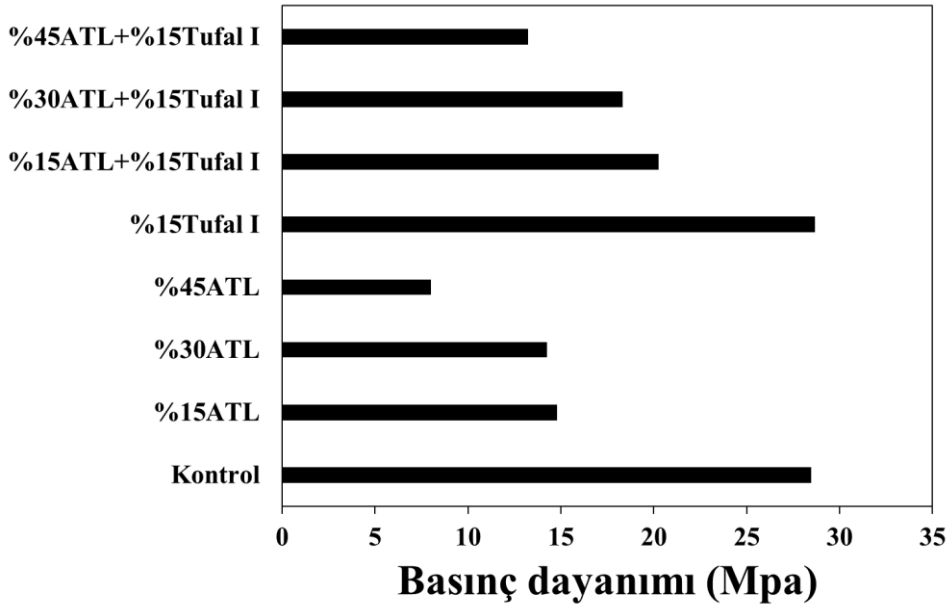
[102]. Hem çevresel hem de ekonomik faydayı en yüksek seviyede tutmanın %15 ATL kullanımıyla mümkün olduğu anlaşılmaktadır (verilen şartlar altında).

Elektromanyetik özellikleri arttırmak ve ayrıca basınçtaki düşüşü azaltmak için Tufal lastikli kompozitlere agrega ile yer değiştirerek eklenmiştir. Yapıdaki tufal oranı önceki deneyimlerimize göre ağırlıkça agreganın %15'i olarak belirlenmiştir. Şekil 30'da görüleceği üzere tufal ile beraber atık tekerlek lastiği kullanımı lastik kullanımından kaynaklı dayanım düşüşlerini sınırlandırmıştır. Bunun nedeninin büyük olasılıkla yüzeyi girintili çıkıntılı olan tufalin çimento hamuruyla daha iyi kenetlenmesi sonucu olduğu düşünülmektedir.

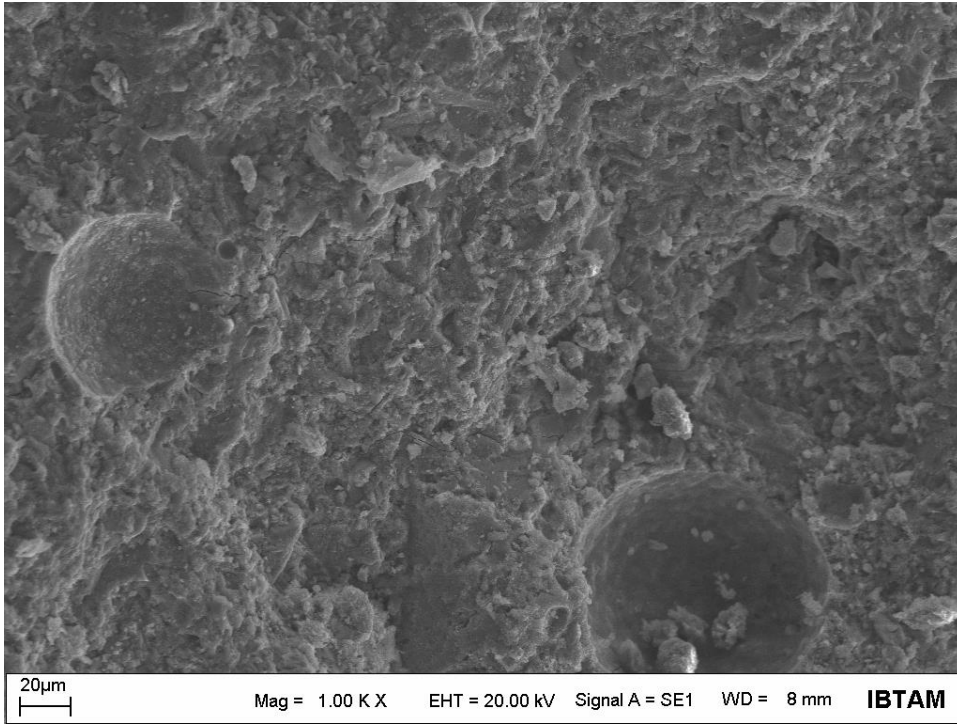
SEM görüntülerinde tufalin ve lastiğin kompozit içerisinde ana yapılarının değişmediği yani beklendiği gibi kimyasal reaksiyonlara girmediği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar yapılan XRD analizleri ile de desteklenmiştir. Şekil 4.19'den anlaşılacağı üzere farklı içeriklere sahip çimento esaslı kompozitlere ait XRD desenleri birbirlerine benzerdir. Bu sonuç katkı malzemeleriyle çimento arasında reaksiyonların gerçekleşmediğini destekler niteliktedir.



Şekil 4.17. Harçlara ait eğilme ve basınç dayanımı değerleri

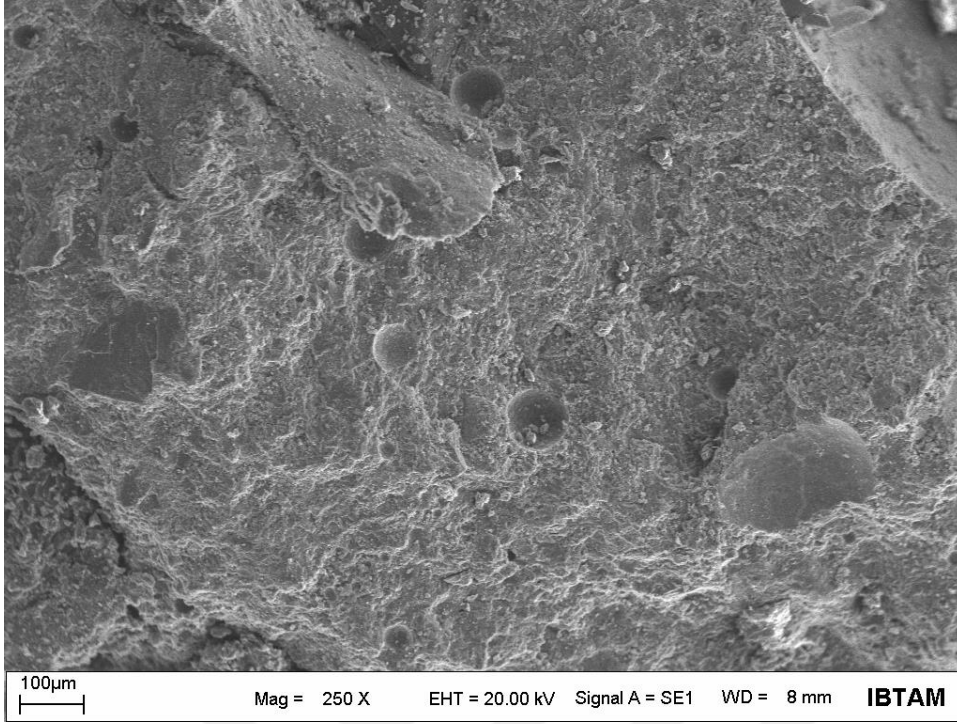


Şekil 4.17. (Devam) Harçlara ait eğilme ve basınç dayanımı değerleri

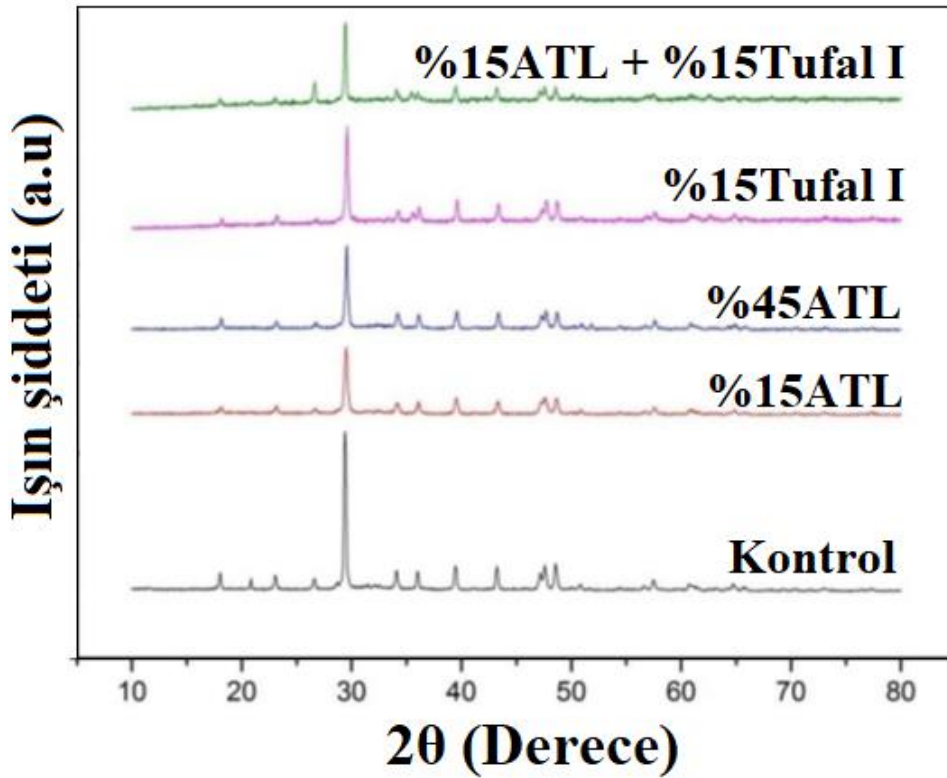


Şekil 4.18. Üretilen harçlara ait SEM görüntüleri





Şekil 4.18. (Devam) Üretilen harçlara ait SEM görüntüleri



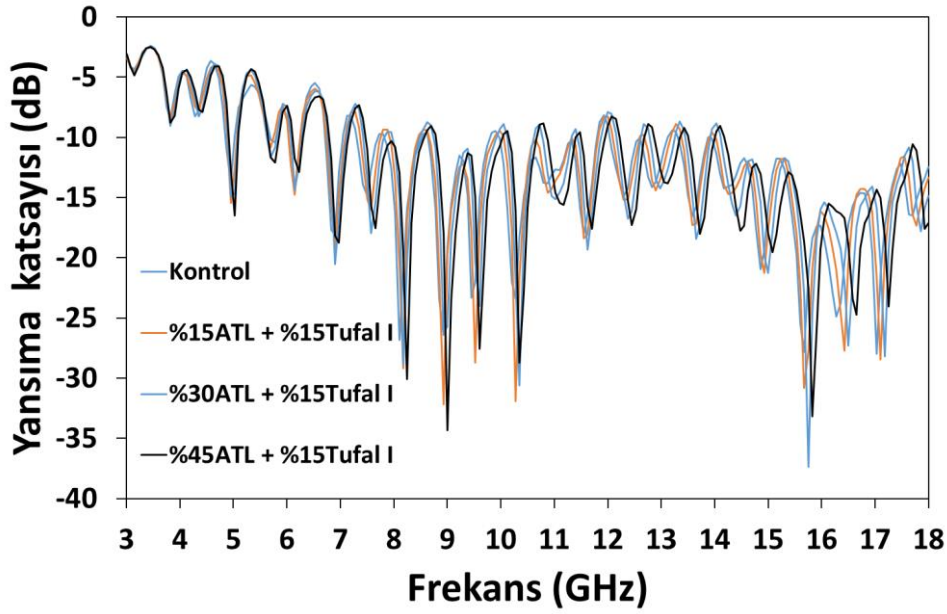
Şekil 4.19. Farklı içerikteki harçlara ait XRD analizi sonuçları

### 4.3.2. EM testler

İçerisinde agrega hacminin %15, %30 ve %45 oranında atık tekerlek lastiği bulunan ve içerisinde agrega hacminin %15 i kadar tufal ile birlikte agrega hacminin %15, %30 ve %45 oranında atık tekerlek lastiği bulunan harç numunelerin EM testleri yukarıda bahsi geçilen yöntemler ile yapılmıştır. Çıkarılan sonuçlar kendi aralarında ve şahit numune ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde harçların yansıma ve yapısal parametreleri, içeriklerine bağlı olarak ölçülmüş ve yorumlanmıştır. Sabit tufal ve değişken lastik agrega içerikli harçların yansıma katsayıları Şekil 4.20'de verilmiştir. Numunelerin yansıma katsayılarının neredeyse aynı oldukları ve 3-4,7GHz (S-bandı) arasında oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu frekans aralığında harcın EM dalga zayıflama etkisi frekanstan bağımsız karakter göstererek oldukça düşük tepki vermiştir. Böylece farklı içeriğe sahip önerilen harçlar, -8.7dB'den daha düşük yansıma katsayısına sahip yüksek mekanik özelliklere sahip radome uygulamalarında kullanılabilir sonucu çıkarılabilir. Numunelerin yansıma katsayısı, C bandı frekans aralığı için -4 dB ve -20 dB'dir. Numuneler arasındaki frekans bağımsızlığı özellikle 7 GHz civarında azaltılmıştır. Minimum tepe noktaları dışında, numunelerin tepkisi -10 dB'nin üzerindedir. Bu nedenle, Karasal mikrodalga bağlantılarında yeni radom tasarımı için bu malzemeler kullanılabilir. İlgili frekans bandının en düşük tepe noktalarında lastik içeriğinin artışı, lastiğin dielektrik özelliklerine bağlı olarak, meydana gelen dalga ile yapının alt ters polarize edilebilirliğinden dolayı yansıma karakteristiğinde azalma gözlemlenmiştir. Her numunenin X bandındaki yansıma değeri neredeyse -10 dB'den düşüktür. Önerilen yapılar, ilgili frekans bandı için kalkanlama-ekranlama uygulamalarında da kullanılabilir. Numuneler arasındaki en sık bağımlılık, X band ölçümünde gözlenmiştir. Ayrıca numuneler arasındaki tepki farkları özellikle minimum yansıma noktalarında mevcut olduğu tespit edilmiştir.

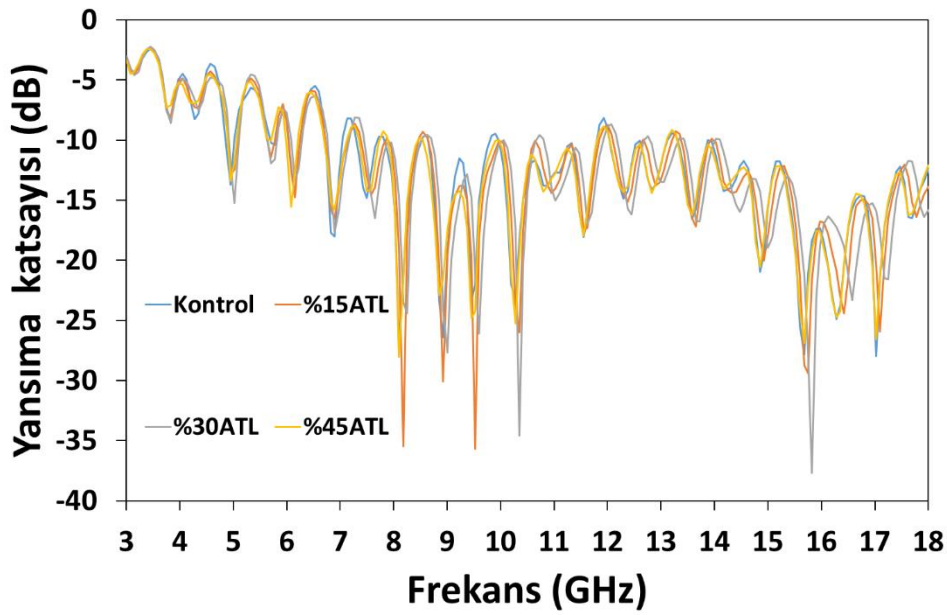
3-12GHz frekans aralığında %15, %30 ve %45 oranlarında lastik içeren harçların yansıma özellikleri incelenmiştir. Numunelerin yansıma özellikleri S, C ve X iletişim bandında yorumlanmıştır. Numunelerin yansıma katsayıları Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



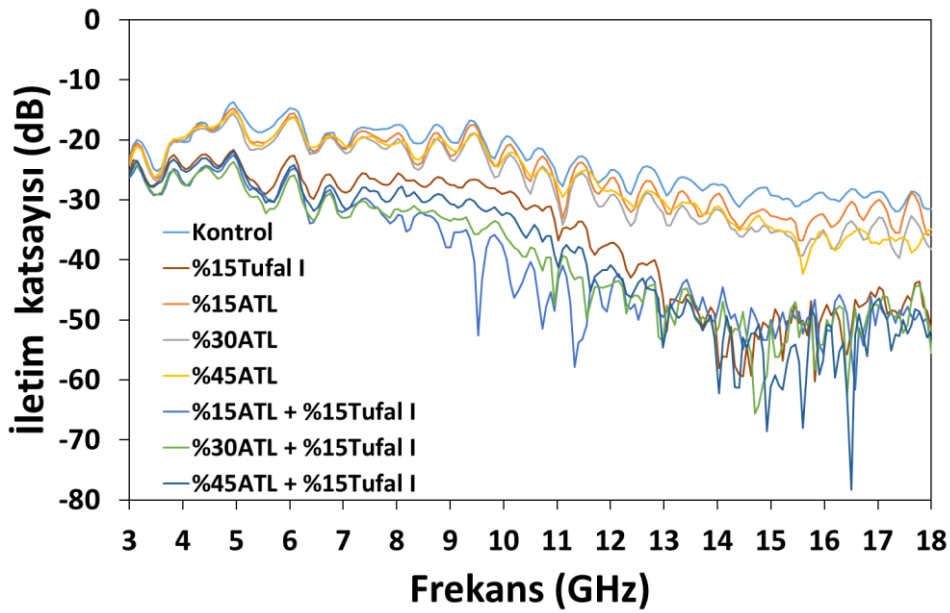
Şekil 4.20. Sabit tufal ve değişken lastik agrega içerikli harçların yansımaya katsayıları

Her bir numunenin yansımaya tepkisi, diğer gruplara göre 3 – 4,9 GHz (S-bandı) frekans aralığında neredeyse benzer ve oldukça yüksektir. Harçların EM dalga zayıflatma özellikleri, koruyucu uygulamalar için yetersizdir ve ilgili bantta frekans bağımsız özelliklere sahiptir. Sonuç olarak lastik içerikli harç -8 dB üzerindeki yansımaya değerine sahip yeni radome uygulamalarında kullanılabilir yorumu yapılabilir. Harçların çeşitli lastik oranları ile yansımaya tepkileri C bandı frekans aralığında -4,3 dB ve -17,5 dB'dir. Numuneler arasındaki frekans tepkisi bağımsızlığı, özellikle 5 GHz, 6,1GHz ve 8 GHz gibi bazı tepe noktalarını azaldığı görülmektedir. Bu minimum noktaların dışında, harçların yansımaya katsayıları çoğunlukla -10 dB'nin üzerindedir. Bu açıdan, önerilen örnekler karasal mikrodalga iletişimde radom oluşturmak için kullanılabilir. C bandındaki tepe noktalarından görülebileceği gibi, daha yüksek lastik içeriği, olay dalgası için artan dielektrikliğe sahip numunelerin polarizasyonunun azalması nedeniyle harcın yansımaya tepkisini azaltmıştır.

Üretilen harçların iletim katsayıları Şekil 4.22'de görülmektedir. Tek başına ATL kullanımıyla iletim katsayısı değerleri daha düşük iken karışımlara tufal ilavesiyle bu değerde artış görülmüştür. Bunun sebebi tufal içerisindeki iletken parçacıklardır.



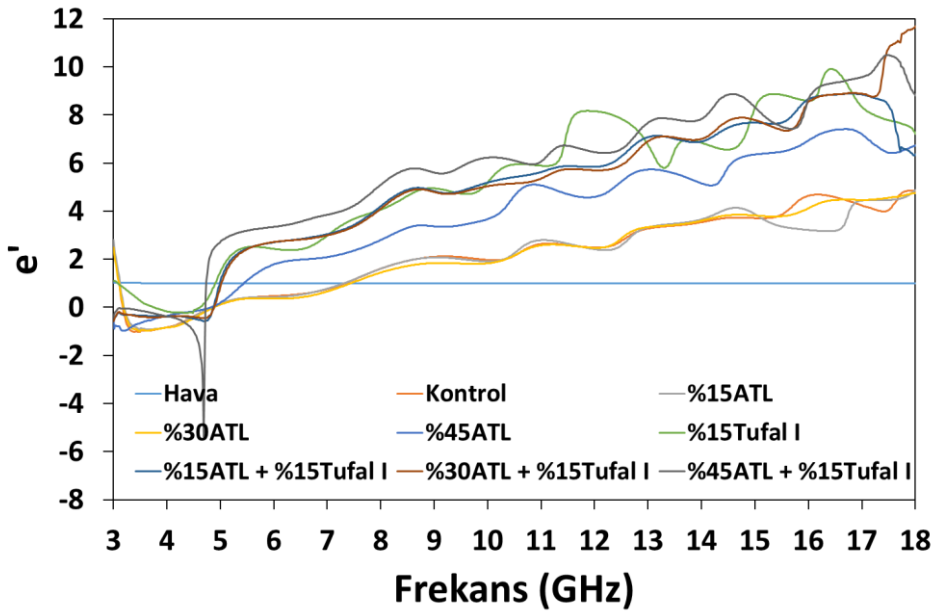
Şekil 4.21. Değişken lastik agrega içerikli harçların yansımaya katsayıları



Şekil 4.22. Değişken içerikli harçların iletim katsayıları

Farklı içeriğe sahip harçların dielektrik sabitleri de ayrıca hesaplanmıştır. Lastikli harç örnekleri için dielektrik sabitinin havadan daha düşük ve 5-8 GHz arasında sıfıra yakın olduğu görülebilir. Bu nedenle, önerilen yapı, yüksek yönlülükte radome tasarlamak için uygundur. Her numunenin dielektrik sabitleri, Şekil 4.23'de görülebileceği gibi NRW metodu kullanılarak yansımaya ve iletim fazları ve büyüklükleri değerlerinden de elde edilmiştir. Bu bölümde katkı etkisini daha iyi anlamak için boş alan ve kontrol harcından elde edilen dielektrik değerleri de gösterilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi, tufal içeren

harç dielektrik sabitleri, tufaldeki küçük iletken parçaların daha iyi kutuplanabilmelerine bağlı olarak daha yüksek değerlere sahiptir. İletken parçaların varlığı, elektron hareketliliğini ve yapının polarize edilebilirliğini arttırmıştır. Bunun yanı sıra, harçta aynı tufal yüzdesinde (%15) lastik oranının artırılması numunelerin dielektrik değerlerini biraz arttırmıştır. Tufal içeren harçların dielektrik sabitlerinin 5-12 GHz arasında kontrol harcından yüksek olduğu da gözlemlenmiştir. Serbest alanda daha yüksek dielektrik sabiti, numuneleri bir radyom olarak kullanmayı engeller, ancak bir koruyucu cihaz olarak kullanılması için fırsatlar sunar.



Şekil 4.23. Farklı içeriklere sahip harçların dielektrik sabitleri

#### 4.4.Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Pirinç Kabuğu Külü İçeren Harçların Mekanik ve Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi

Tezin bu bölümünde çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiş %10, %20 ve %30 oranda yüksek fırın cürufu, %10, %20 ve %30 oranda uçucu kül, %10, %20 ve %30 oranda silis dumanı ve %10, %20 ve %30 oranda pirinç kabuğu külü içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik ve EM özellikleri incelenmiştir. Harç hazırlamak için 1 kısım çimento, 2,75 kısım agrega ve 0,485 kısım su kullanılmıştır. 4x4x4 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip küp numuneler üzerinde basınç mukavemeti testi yapılırken 15x15x2 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip plaka numuneler üzerinde EM testler uygulanmıştır. Verilen basınç test sonuçları 7 ve 28 günlük numunelere ait EM test sonuçları ise 28 günlük numunelere aittir.

Karışım hazırlanırken ilk aşamada agrega, çimento ve puzolanlar kuru halde karıştırılmışlardır. Karışım için hız kontrollü pan tipi mixer kullanılmıştır. Kuru karışıma su katılarak homojen bir yapı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan taze karışım yağlı kalıplara döküldükten sonra sertleşmesi için 24 saat bekletilmişlerdir. Taze karışımın hazırlanmasının 24 saat ardından harç numuneler kalıptan çıkarılıp kür tanklarında muhafaza edilmişlerdir. Test gününe kadar kür tanklarında bekleyen numuneler çıkarılıp kurutulduktan sonra testlere maruz bırakılmışlardır.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi bölümünde gösterildiği üzere kullanılan granüle yüksek fırını ve uçucu külde Fe ve Al iyonları oranı yüksek iken, silis dumanı ve pirinç kabuğu külünde yüksek oranda silisyum bulunmuştur. Bu puzolanların kimyasal yapılarından dolayı kullanıldıkları kompozitlere manyetik özellik katacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

Sonuçları göstermek için kullanılan etiketlerin anlamları şu şekildedir. Kontrol- standart harç, %10 YFC- içerisinde %10 yüksek fırın cürufu bulunduran harç, %20 YFC- içerisinde %20 yüksek fırın cürufu bulunduran harç, %30 YFC- içerisinde %30 yüksek fırın cürufu bulunduran harç, %10 UK- içerisinde %10 uçucu kül içeren harç, %20 UK- içerisinde %20 uçucu kül içeren harç, %30 UK- içerisinde %30 uçucu kül içeren harç, %10 SD- içerisinde %10 silis dumanı içeren harç, %20 SD- içerisinde %20 silis dumanı içeren harç, %30 SD- içerisinde %30 silis dumanı içeren harç, %10 PK- içerisinde %10 pirinç kabuğu külü içeren harç, %20 PK -içerisinde %20 pirinç kabuğu külü içeren harç, %30 PK- içerisinde %30 pirinç kabuğu külü içeren harç.

#### **4.4.1. Mekanik testler**

%10, %20 ve %30 oranlarında cüruf, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, %10, %20 ve %30 oranlarında silis dumanı ve %10, %20 ve %30 oranlarında pirinç kabuğu külü içeren harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Çıkan sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılarak tartışılmıştır.

7 günlük, %10UK, %20UK, %30UK, %10SD, %20SD, %30SD, %10PK, %20PK ve %30PK'ya ait basınç gerilmeleri değerleri sırasıyla 29,70 MPa, 27,67 MPa, 26,03 MPa, 32,53 MPa, 31,89 MPa, 27,51 MPa, 34,08 MPa, 38,32 MPa, 27,00 MPa, 37,01 MPa, 24,00 MPa ve 15,81 Mpa'dır.

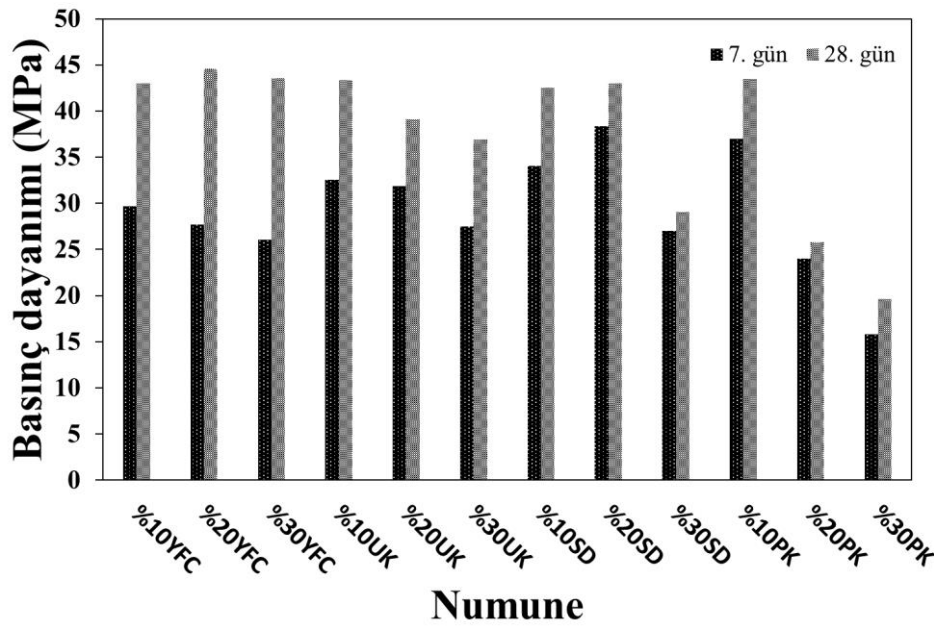
Harç içerisinde granüle yüksek fırın cürufu oranının arttırılmasıyla 7 günlük harç mukavemetlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Granüle yüksek fırın cürufunun çimento ile yer değiştirilmesi sonucu çimento bazlı kompozitteki hidrasyona girecek olan çimento azalmıştır [103]. Böylece harç içerisindeki cüruf miktarındaki artış erken dayanım kazancını olumsuz etkilemiştir. 28 günlük harç numunelerinde farklı bir durum söz konusudur. Cüruf ikame oranının %10 dan %30 a çıkarılması dayanım değerlerinde iyileşmeye sebep olduğu görülmüştür (Basınç dayanımı değerleri %10YFC, %20YFC, %30YFC için sırasıyla 43,02 MPa, 44,57 MPa, 43,56 Mpa'dır) . İkame oranındaki optimum miktarın %20 olduğu çıkarılan sonuçlar arasındadır. Cüruf ikamesiyle birlikte 28 günlük basınç dayanımındaki artış, literatürde de belirtildiği gibi harç içerisinde kullanılan cürufun puzolanik özelliklerinden dolayı ekstra C-S-H jelleri üretmesine katkıda bulunmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir [103].

Harçlarda uçucu kül ikame oranının arttırılması, 7 günlük basınç dayanımlarında azalmalara neden olmuştur. Uçucu kül ikame seviyesinin %10'dan %20 ve %30'a yükseltilmesiyle basınç dayanımı sonuçları kontrol numunesinin 7 günlük basınç dayanımından daha düşük olan 32.53 MPa, 31.89 MPa ve 27.51 MPa olarak ölçülmüştür. 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları için trend 7 günlük test sonuçlarıyla aynı olduğu görülmektedir (Basınç dayanımı değerleri %10UK, %20UK, %30UK için sırasıyla 43,35 MPa, 39,13 MPa, 36,92 Mpa'dır). Sonuç olarak harçların 7 ve 28 günlük dayanım davranışlarının, harç karışımındaki çimento içeriğinin azalmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir [104].

%10 ve %20 oranda silis dumanı içeren harçların 7 günlük basınç mukavemetlerinin %30 içerikli numune ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. %30 silis dumanı içeren harçlarda dayanım düşüşleri gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin silis dumanının inceliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Silis dumanı partikülleri geniş bir yüzey alanına sahip olduğundan, ince parçacıklar harcın işlenebilirliğini azaltmıştır. İşlenebilirliği kötü olan harç iyi yerleştirilememiş ve içerisindeki hava boşlukları tahliye edilememiştir. Tüm bu sebeplerin dayanım düşüşlerine sebep olduğu düşünülmüştür [105]. 28 günlük basınç dayanımı davranışı için 7 günlük numunelerle aynı eğilim gözlenmiştir. Basınç dayanımı değerleri %10SD, %20SD, %30SD için sırasıyla 42,53 MPa, 43,01 MPa, 29,06 MPa'dır.



Harç içerisinde % 10 oranda pirinç kabuğu külü ikamesi basınç dayanımını 37,01 MPa'ya (7 günlük harçlar için) ve 44 MPa'ya (28 günlük harçlar için) çıkardığı görülmektedir. Bununla birlikte, harçlarda pirinç kabuğu külünün ikame seviyesinin artırılması, hem 7 hem de 28 günlük harç numuneleri için mukavemetlerin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Pirinç kabuğu külünün geniş yüzey alanının, harçlarda dayanımın azalmasının arkasındaki neden olduğu düşünülmektedir [106]. 28 günlük basınç dayanımı değerleri %10PK, %20PK %30PK için sırasıyla 43,48 MPa, 25,80 MPa ve 19,62 MPa'dır.



Şekil 4.24. Farklı içeriklere sahip harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri

#### 4.4.2. EM testler

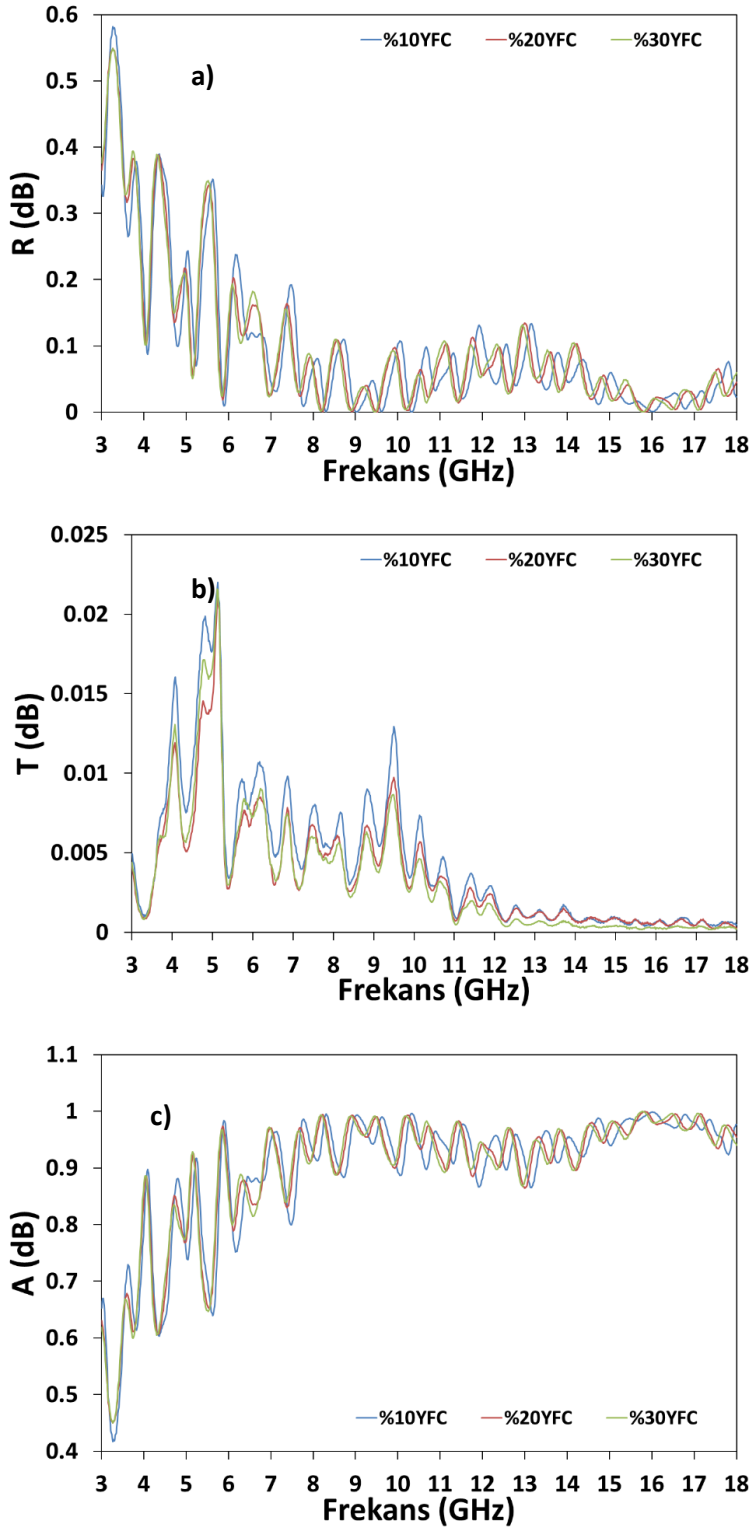
%10, %20 ve %30 oranda cüruf, %10, %20 ve %30 oranda uçucu kül, %10, %20 ve %30 oranda silis dumanı ve %10, %20 ve %30 oranda pirinç kabuğu külü içeren harçların yansıma parametreleri 3 GHz - 18 GHz frekans aralığında incelenmiştir. 3 GHz – 18 GHz geniş bantı üretilen harçların çeşitli iletişim alanlarındaki tepkilerini görmek için seçilmiştir. Her bir katkı çeşidinin ve kullanım oranının harçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Uygulanan EM testler boş alan (free space) koşullarında yapılmıştır. Yakın ve uzak alan etkilerinden kaçınmak için test numunesi iki horn antenin tam ortasına gelecek şekilde ve uygun anten uzaklıkları ayarlanarak testler uygulanmıştır.

Şekil 4.25 a'da görüleceği üzere yansıma değerleri 7 GHz-18 GHz aralığında 0,12'in altında seyretmektedir. Bunun yanında, iletim değerlerin (Şekil 4.25 b) 9,5 GHz deki pik noktasının



haricinde 5.5GHz-19GHz aralığında 0.01 in altında seyretmektedir. Bu değerler farklı oranlarda YFC içeren tüm harçlar için uyum gösterir.

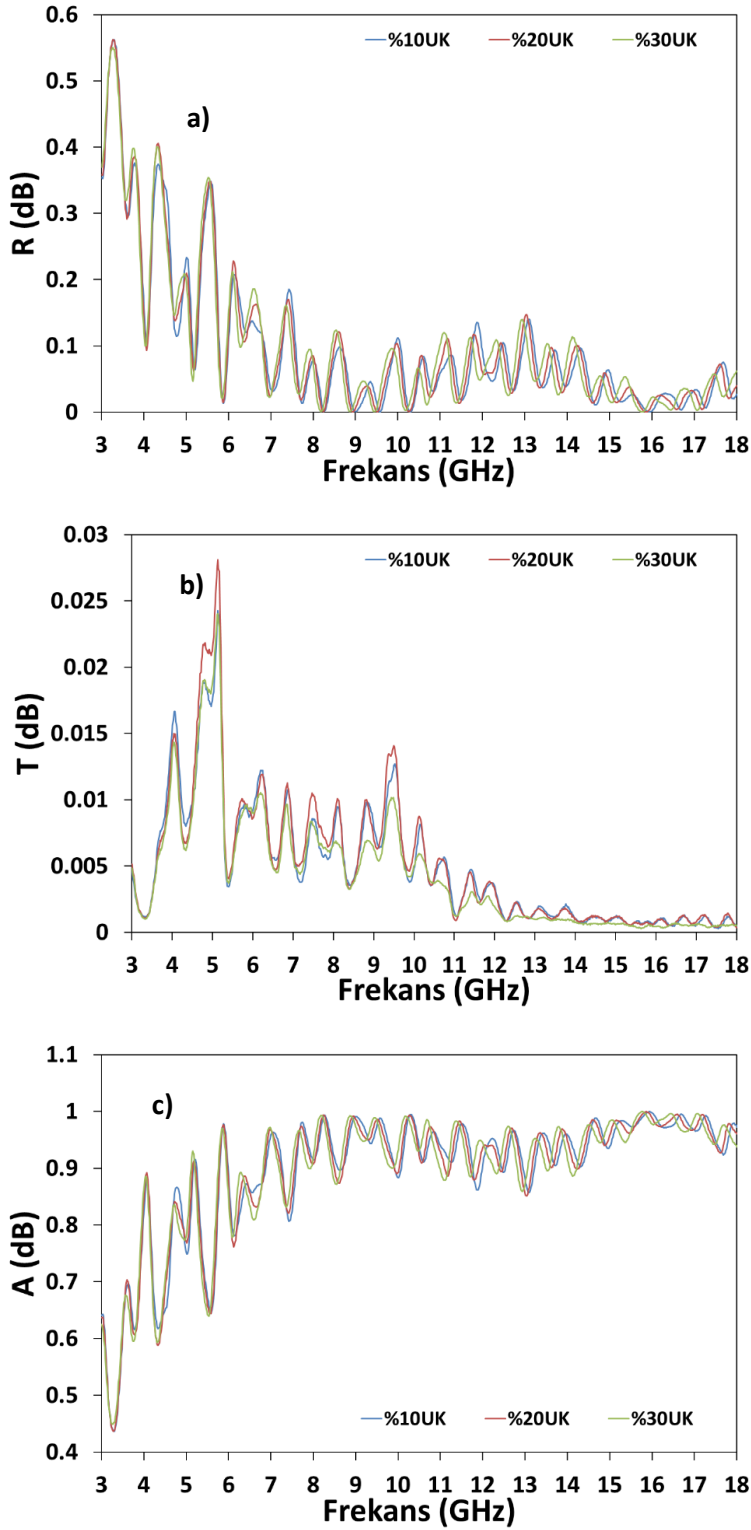
Şekil 4.25 c'de görülen soğurma değerleri malzemelerin yansıma ve iletim değerleri kullanılarak elde edilmiştir. 8 GHz'den yüksek frekanslar için EM dalga soğurma değerleri neredeyse %90'dan yüksektir. Test edilen numunenin geniş iletişim frekans bandındaki EM dalga soğurma becerisi, yüksek teknolojilerinin uygulamalarında kullanılabileceği sonucunu çıkarılabilir. Çimento bazlı kompozitteki YFC oranının etkisi, özellikle 12 GHz üzerindeki iletim şemasında açıkça görülebilir. Emilim mekanizmasının gelen dalgaya ve yansıyan dalga gibi çeşitli etkileri ile ilişkili olduğu iyi bilinmektedir. Daha yüksek EM emilim, gelen dalga ve YFC arasında iyi bir iç empedans eşleşmesi ile sağlanabilir. Gözlemlenen düşük yansıma değeri bu empedans eşleştirmesi ile doğrudan ilişkilidir. Ek olarak, emilimi artıran ikinci parametre YFC'nin EM özelliğidir. Kompozitleri EM dalga zayıflatıcı özelliklerinin, özellikle 5,5 GHz üzerindeki düşük iletim seviyesinden dolayı çok yüksek olduğu söylenebilir. Kompozitlere test aşamasında zerk edilen dalgalar yayıldığında, ilerledikçe engellenmiştir. Geleneksel EM dalga zayıflatıcılarda olduğu gibi test edilen malzemelerin arka tarafında metalik bir arka plan olmadığından, nüfuz eden dalganın neredeyse tamamı numunenin arka tarafında kaybolmuştur. Bu, YFC içeren kompozitlerdeki  $Al_2O_3$  gibi metalik parçacıkların yüksek yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Metalik parçacıklar tersine dalganın elektrik alan bileşenlerine göre polarize edilmiş ve dalganın yayılmasını önlemiştir. Ayrıca,  $Al_2O_3$  parçacıkları elektromanyetik alanın manyetik bileşenine karşı manyetik tepki de sağlayabilir. Yüksek frekans bölgesindeki daha yüksek emilim ve daha düşük iletim, elektromanyetik dalganın dalga boyu ile ilişkilidir. Çıkan sonuçlara göre, YFC içeren harçlar mikrodalga mühendisliğinin çeşitli uygulamalarında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. YFC'nin harç içerisinde kullanım oranının optimum değerinin dayanım değerini en yüksek seviyede tutarak %20 olduğu söylenebilir.



Şekil 4.25. %10 %20 ve %30 oranlarında yüksek fırın çürüğü içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (R) (b) İletim (T) ve (c) Soğurma değerleri (A)

Farklı oranda UK içeren harç numunelerinin EM dalgalara karşı tepkileri aynı frekans bandında ölçülmüştür. VNA ya bağlı iki horn anten yardımıyla ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Spektrumdaki maksimum dalga boyu göz önünde bulundurularak yakın alan

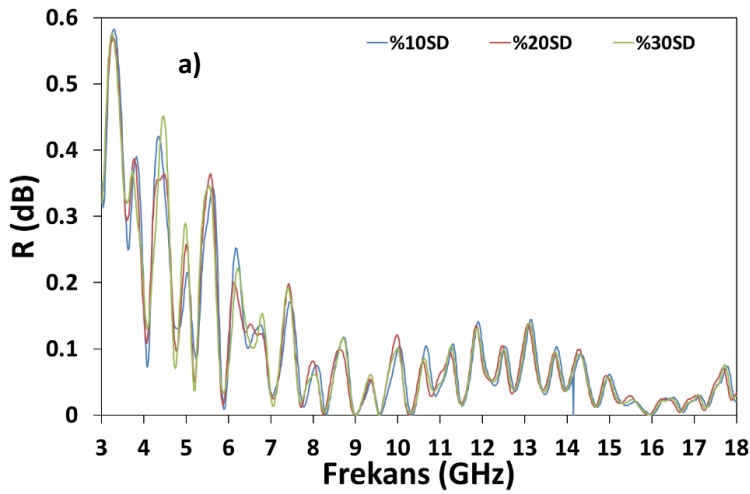
etkisinden kaçınmak için test edilen numuneler antenler arasına uygun biçimde yerleştirilmiştir. Şekil 4.26 a'da görüleceği üzere UK içeren harçlarda 6,4 GHz frekansın üstündeki değerlerde yansımaya değerleri %10 dan fazladır. Harç içerisinde UK miktarının artmasıyla yansımaya değerlerinde düşüşler açıkça görülür. Bu düşüşler, boş alan ve numune arasındaki içsel empedans uyumunun artmasına bağlıdır. Empedans uyumu, ilgili yüzdeki numunenin gözenekli yapısına dayanır. Ayrıca, kumun ana bileşeni olan  $\text{SiO}_2$  nin düşük dielektrik sabitine sahip olması boş alanla empedans uyumunu artırır ve EM dalga soğurma özelliğini artırır. EM dalgalar karşı gösterilen tepki ölçüm parametrelerinden bir diğeri iletim değerleridir. Şekil 4.26 b'de görüleceği üzere iletim değerleri 5,5 GHz den sonra yaklaşık %1 den daha düşüktür. İletim değerlerindeki bu düşük değerler direkt olarak test edilen malzemenin EM kayıplı karakteri ile ilişkilidir. Bu kaybın sebebi UK de bulunan metalik parçacıklar ve yüksek EM yoğunluktur. UKde bulunan yüksek miktardaki  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.86%) ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (7.98%) elektrik ve manyetik tepkilere sebep olur. Bu metalik parçacıklar elektromanyetik alanın elektrik alan bileşenine ters polarize edilir ve bu ters polarize parçacıklar elektromanyetik alanın büyüklüğünü azaltır. Ek olarak, bu metalik konsantrasyon, Lenz Yasasına göre ters manyetik polarizasyon sağlayabilir ve yükseltilmiş manyetik dipoller ayrıca elektromanyetik alanın manyetik alan bileşenine tepki verebilir. Bu nedenle, bu parçacıkların yüksek konsantrasyonu, ortamın hem elektriksel hem de manyetik tepkisini artırır ve konsantrasyona bağlı olarak elektromanyetik kayıpları da artırır. Son olarak, üretilen kompozitlerin EM dalgalara karşı verdikleri tepki soğurma değerleri ölçülerek gözlemlenmiştir. Soğurma denklemleri kullanılarak UK içeren harçların tepkileri ölçülmüştür. Değerler Şekil 4.26 c'de görülmektedir. Soğurma değerleri yaklaşık olarak 8 GHz in üstünde %90 dan fazladır. Uçucu kül yanmamış karbon içerdiğinden, numuneye doğru elektromanyetik dalga penetrasyonu durumunda, çoklu yansımalar, iki kutuplu ve iletken bir ağa eşdeğer sönümlenme titreşimi veya elektron tünel iletimi nedeniyle elektromanyetik dalga enerjisinde güçlü bir kayıp ile sonuçlanmıştır. Bu sebeple, bu test şartlarında tüm UK içeren harçların mikrodalga emiliminin gerektiği alanlarda (radara yakalanmama-görünmezlik) kullanılabilceği düşünülmektedir. Tasarlanan bu harcın en çok EM tepkisi iletim değerlerinde görülmüştür. 12-18 GHz aralığında iletimin neredeyse sıfıra yaklaştığı gözlemlenmiştir. Genel olarak da iletim değerlerinin UK miktarının harç içerisinde artmasıyla azaldığı söylenebilir. EM ölçümler ve mekanik testler göz önünde bulundurulduğunda optimum UK kullanım oranının %10 olduğu söylenebilir.



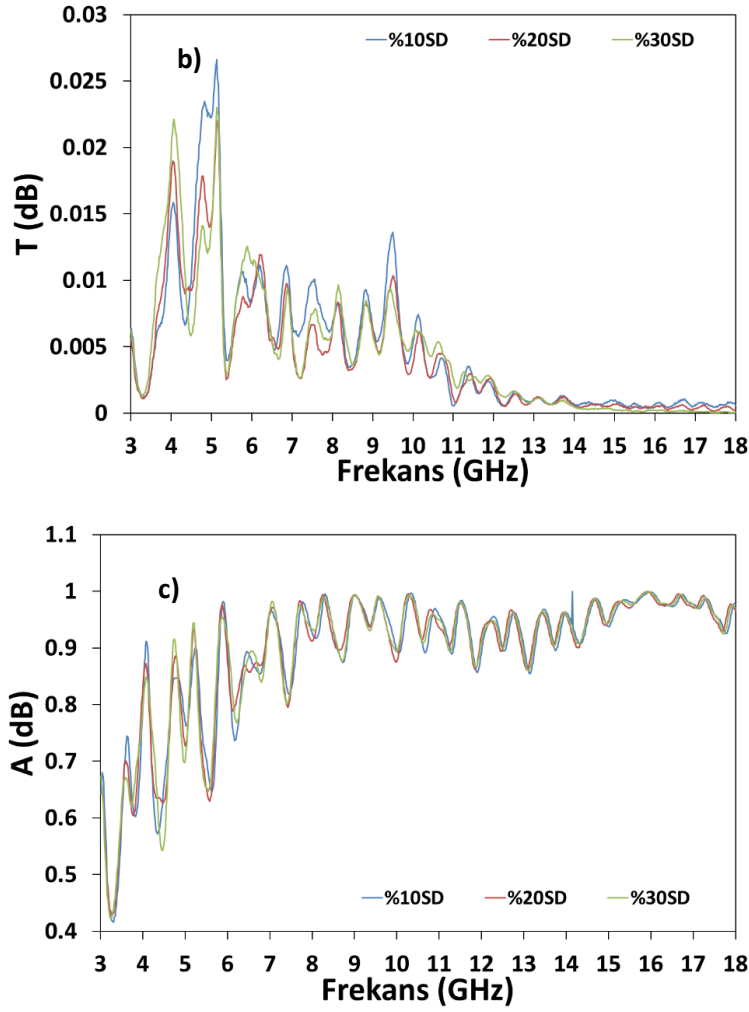
Şekil 4.26. %10 %20 ve %30 oranda uçucu kül içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıtma (R) (b) İletim (T) ve (c) Soğurma değerleri (A)

Bu bölümde farklı miktarlarda silis dumanı içeren harçların aynı frekans spektrumunda EM davranışları incelenmiştir. Şekil 4.27 a'da SD içeren harçlara ait yansıtma parametreleri görülmektedir. Bütün numunelerde 6,5 GHz üstü frekanslarda yansıtma değerlerinin %10'

dan daha az olduğu belirlenmiştir. Farlı içerikte SD içermelerine rağmen harçların birbirine yakın yansıma değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Fakat, en az iletim değerine sahip kompozitin %30 SD içeren harçlar olduğu söylenebilir. Daha önce de söylendiği gibi yansıma değerleri test edilen numune ve ortamın empedans uyumuyla alakalıdır. Sonuçlar iki ortam arasında yüksek bir uyum olduğunu göstermektedir. Kompozitlere ait iletim değerleri Şekil 4.27 b’de gösterilmiştir. Bu değerlerin 5,5 GHz den sonra yaklaşık olarak %1 in altında olduğu şekilden anlaşılır. Çıkan sonuç iletimin -20 dB nin altında olduğu ve ihmal edilebilir olduğunu gösterir. İletim değerlerindeki değişikliklerin SD içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yansıma ve iletim değerlerinin oldukça düşük olması yüksek soğurma değerlerine ulaşılacağı sonucu çıkarılmasını düşündürmüştür. Şekil 4.27 c’de de anlaşılacağı üzere bu görüş doğrulanmıştır. 8 GHz üstü frekanslarda soğurmanın %90 ların üstünde olduğu görülür. Bu soğurma becerisine sahip kompozitin mikrodalga teknolojilerinin kullanıldığı alanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir. EM ölçümler ve mekanik testler göz önünde bulundurulduğunda optimum SD kullanım oranının %20 olduğu söylenebilir.



Şekil 4.27. %10 %20 ve %30 oranda silis dumanı içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri



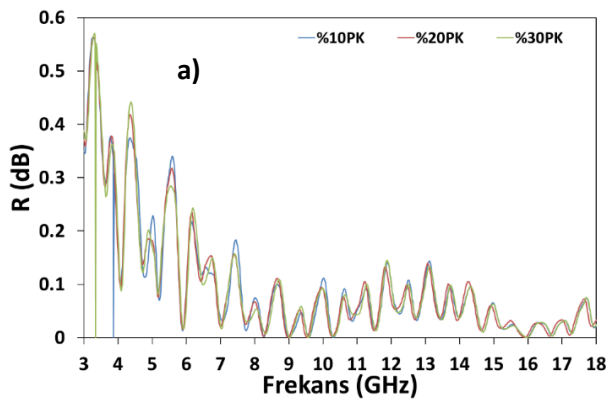
Şekil 4.27. (Devam) %10 %20 ve %30 oranda silis dumunu içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansımaya (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri

3-18GHz frekans aralığında yansımaya, iletim ve soğurma parametreleri farklı oranlarda pirinç kabuğu külü içeren harçlar için de incelenmiştir. Daha önceki ölçüm düzeneği bu malzemelerin ölçümü için de kullanılmıştır. Kompozitlere ait yansımaya değerleri Şekil 4.28 a'da gösterilmiştir. 6,5 GHz üstü frekans değerlerinde yansımaya değerlerinin %10 un altında olduğu görülmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi düşük yansımaya değerleri iki ortam arasındaki empedans uyumundan kaynaklanmış olabilir. Bu düşük yansımaya değerleri ilgili frekansta malzemeye gelen dalganın yüksek penetrasyonunu gösterir. Empedans malzemenin EM karakteristiği, kalınlığı ve boş alan empedansına bağlıdır. Bu değerler iyi bilinen iletim hattı denklemlerinde de özellikle görülür [59].

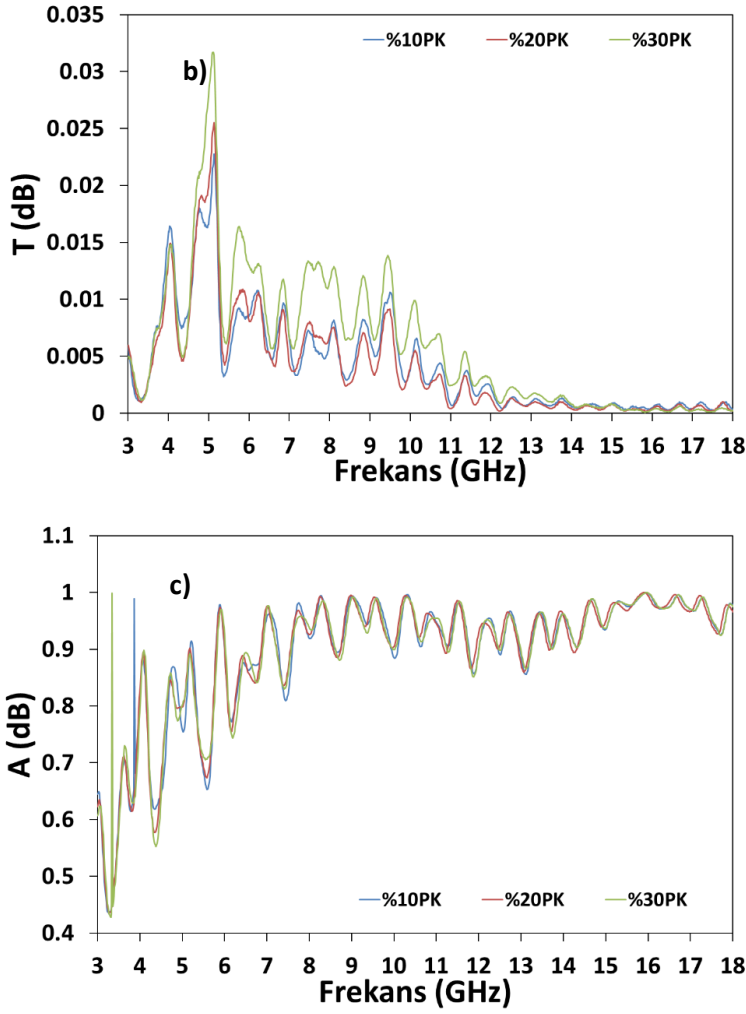
$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tan h \left[ j \frac{2\pi f d}{c} \sqrt{\mu \epsilon} \right] \quad (4.1)$$

$Z_{in}$ ,  $Z_0$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $f$ ,  $c$  ve  $d$  giriş empedansı, boş alan empedansı, geçirgenlik, geçirimsizlik, frekans, ışık hızı ve numune kalınlığını temsil etmektedir.

Bu bağlamda,  $Z_0$  çarpanı, mikrodalga teorisine göre düşük düzeyde yansıma sağlamak için belli bir değer civarında olmalıdır. Şekil 4.28 b’de 5,5 GHz üstü frekanslarda iletim değerlerinin yaklaşık %1 den daha az olduğu görülmektedir. Düşük iletim değerleri malzemenin yüksek soğurma değerleri olduğunu ayrıca işaret eder. Düşük iletim ve yansıma seviyesi, Şekil 4.28 c’de görülebileceği üzere numunelerin yüksek emilim özelliğini göstermiştir. 7,7 GHz frekans üstü değerlerde soğurmanın %90 civarında olduğu görülmektedir. Bu sebeple PK içeren harçların birçok avantajı sunabilecek bir ürün olduğu anlaşılmaktadır. Bu avantajlardan bir tanesi PK’nın düşük yoğunlukta olmasıdır. Düşük yoğunluklu malzemeler özellikler askeri amaçlar gibi alanlarda oldukça önemlidir. Bunlara ek olarak, PK içeren harçların yüksek soğurma becerisinin PK’nın elektriksel özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (PK bileşenleri incelendiğinde manyetik alan oluşturabilecek yapıları barındırmadığı görülmüştür). PK’dan kaynaklı yüksek  $\text{SiO}_2$  konsantrasyonu, yüksek elektrik tepkisi ve elektrik dipol momenti ile sonuçlanır. Böylece, harcın PK ile elektrik alan tepkisi, elektromanyetik alanın güçlü zayıflamasına neden olur. Bu bağlamda iletim değerlerinin de soğurma sebebiyle azaldığı da tespit edilmiştir. PK düşük maliyetli bir tarımsal atık olduğundan, kolayca elde edilebilir ve mikrodalga emiliminde kullanılabilirliği düşünülmektedir. PK kullanım oranının etkisi iletim değerlerinde açıkça görülmektedir. İletim değerlerinde PK kullanımı ile lineer bir ilişki yakalanmasa da 14 GHz frekans üstü spektrumlarında daha fazla PK kullanımı daha fazla iletimi azalttığı söylenebilir. EM ölçümler ve mekanik testler göz önünde bulundurulduğunda optimum PK kullanım oranının %10 olduğu söylenebilir.



Şekil 4.28. %10 %20 ve %30 pirinç kabuğu külü içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri



Şekil 4.28. (Devam) %10 %20 ve %30 pirinç kabuğu külü içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (b) İletim ve (c) Soğurma değerleri

#### 4.5. Kırmızı Çamur İçeren Harçların Mekanik ve Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi

Tezin bu bölümünde çimento ile ağırlıkça yerdeğiştirilmiş %10, %20 ve %30 oranda kırmızı çamur içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik ve EM özellikleri incelenmiştir. Harç hazırlamak için 1 kısım çimento, 2,75 kısım agrega ve 0,485 kısım su kullanılmıştır.  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  ve  $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$  boyutlarına sahip numuneler üzerinde eğilme ve basınç testi yapılırken  $15 \times 15 \times 2 \text{ cm}^3$  boyutlarına sahip plaka numuneler üzerinde EM testler uygulanmıştır. Verilen basınç ve eğilme test sonuçları 28 günlük numunelere aittir.

Karışım hazırlanırken ilk aşamada agrega, çimento ve kırmızı çamur kuru halde karıştırılmışlardır. Karışım için hız kontrollü pan tipi mixer kullanılmıştır. Kuru karışıma su katılarak homojen bir yapı gözlenene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan

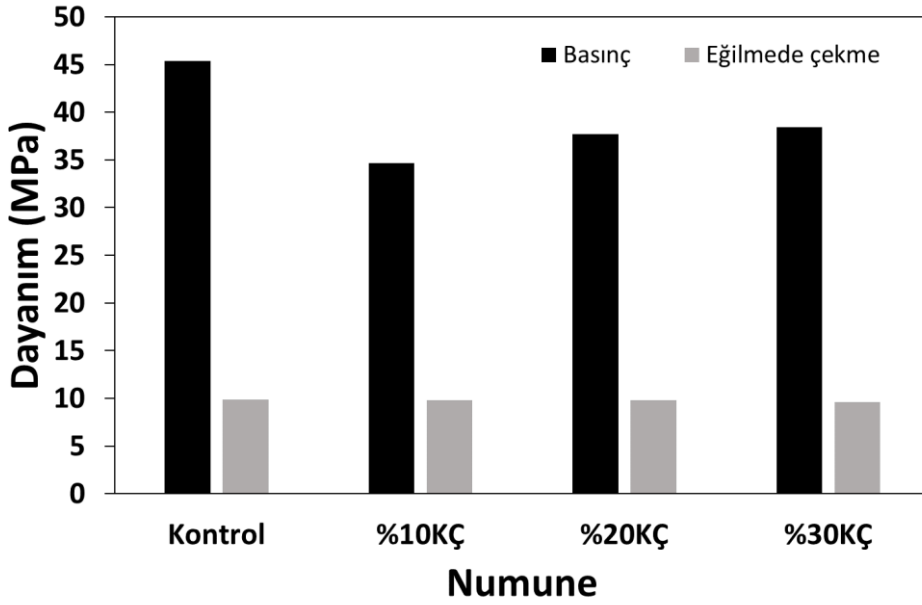


taze karışım yağlı kalıplara döküldükten sonra sertleşmesi için 24 saat bekletilmişlerdir. Taze karışımın hazırlanmasının 24 saat ardından harç numuneler kalıptan çıkarılıp kür tanklarında muhafaza edilmişlerdir. Test gününe kadar kür tanklarında bekleyen numuneler çıkarılıp kurutulduktan sonra testlere maruz bırakılmışlardır.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi bölümünde gösterildiği üzere kullanılan kırmızı çamurda Fe ve Al iyonları oranı yüksektir. Kırmızı çamurun kimyasal yapısından dolayı kullanıldığı kompozite manyetik özellik katacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

#### **4.5.1. Mekanik testler**

Kırmızı çamurlu ve kırmızı çamur içermeyen harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.29'da sunulmuştur. Kontrol etiketli kırmızı çamur içermeyen harçlar 45,34 MPa basınç ve 9,84 MPa eğilme dayanımlarına sahiptirler. Harçta kırmızı çamurun çimento ile ikame edilmesi ile, verilen şekilde gösterildiği gibi basınç dayanımı test sonuçlarında bir artış gözlemlenir. %10 kırmızı çamur ikame seviyesi, kontrol numunesinin basınç dayanımından %23,45 daha düşük olan 34,66 MPa basınç dayanımı test sonucuna neden olmuştur. Harçlarda kırmızı çamur bulunması ile basınç dayanımı değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Ancak bunun yanısıra harçlarda kırmızı çamur ikame seviyesinin artırılmasıyla mukavemet artışı gözlemlenmiştir. Kırmızı çamur seviyesinin %10'dan %20 ve %30'a yükseltilmesi, %8,8 ve %10,93 basınç dayanımı artışları ile sonuçlanmıştır. Harçta çimento yerine kırmızı çamur kullanımının, kırmızı çamurun puzolanik özelliklerinin zayıf olması [107] ve hidratasyon reaksiyonları sırasında su ile reaksiyona girecek çimento miktarının azalması nedeniyle dayanımı olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Ancak harçtaki kırmızı çamur miktarının artması sonucu mukavemet artışlarının gözlemlenmesi, harçtaki gözenekleri dolduran çok ince kırmızı çamur tanecikleri ile elde edilen kompakt yapı ile açıklanabilir [108,109]. Kırmızı çamurlu ve çamursuz harçların eğilmede çekme dayanımı testi sonuçları incelendiğinde tüm sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir [110]. Kırmızı çamur ikamesi, harçların çekme dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.29. %10 %20 ve %30 kırmızı çamur içeren harçlara ait 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerleri

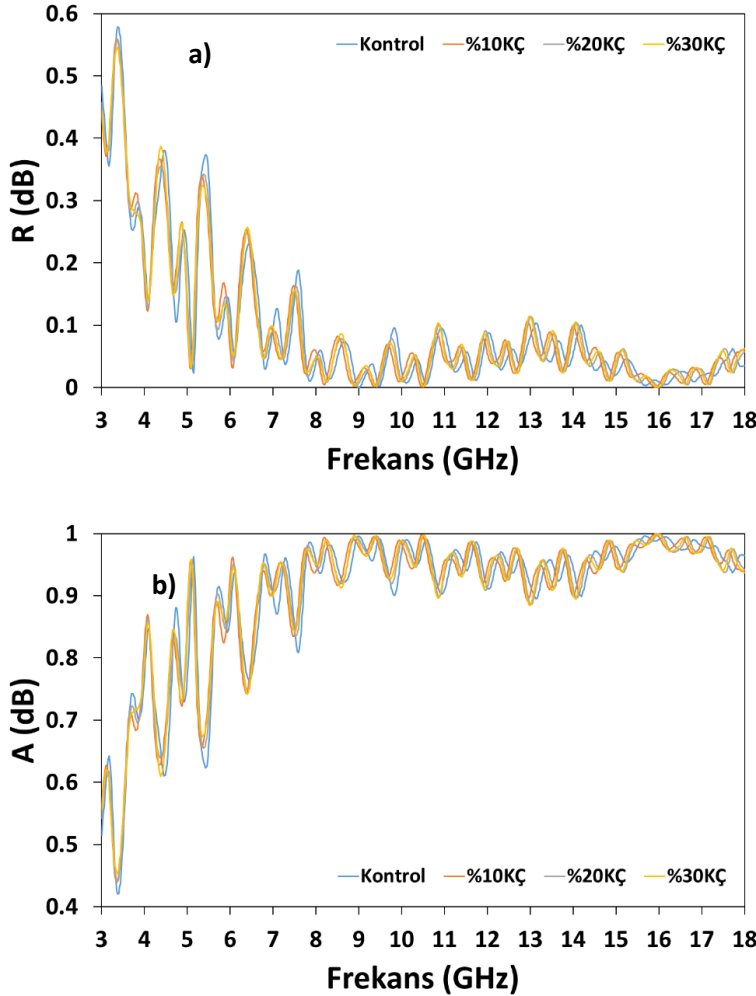
#### 4.5.2. EM testler

Bu bölümde kırmızı çamur içeren ve içermeyen harçların EM dalga yansıtma, iletme ve soğurma özellikleri araştırılmıştır. EM ölçümler 3-18 GHz frekans aralığında uygulanmıştır. 3–18 GHz frekans aralığı farklı telekomünikasyon frekanslarını kapsadığından, bu yüksek frekans bant genişliği seçilmiştir. Farklı miktarda kırmızı çamur içeren harç numunelerin EM tepkileri incelenmiştir. Testler, boş alan koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Yakın ve uzak alan etkilerinden kaçınmak için antenler uygun bir mesafeye yerleştirilmiş ve testler uygulanmıştır.

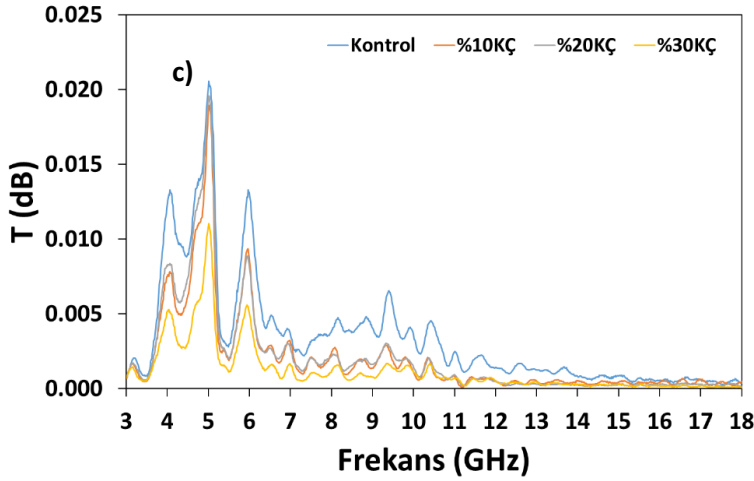
Şekil 4.30 a)'da görüldüğü gibi harçların yansıma değerleri 8–18 GHz frekans aralığında 0,1'in altındadır. Harçların yansıma değerleri hemen hemen tüm frekanslarda birbirine yakındır. Ayrıca tüm harçların yansıma ve iletim değerleri kullanılarak hesap edilen soğurma değerleri aynı tepkilere sahiptir. Şekil 4.30 b)'de görüldüğü gibi 8-18 GHz frekans aralığında soğurma değerleri 0,95'e yakındır. Harçların soğurma değerleri hemen hemen tüm frekanslarda birbirine yakındır.

Farklı özelliklere sahip harçların EM iletim değerleri Şekil 4.30 c)'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi harçların özellikleri değiştikçe iletim değerlerinde de değişiklik olmaktadır. Daha yüksek frekanslarda harçların iletim değerlerinin birbirine yaklaştığı da görülmektedir.

Fark, 4 GHz’de ve 7 GHz – 15 GHz’de açıktır. Çimento ile ikame edilen kırmızı çamur miktarı arttıkça EM dalgalarının iletimi azalır. Kontrol, %10KÇ, %20KÇ, ve %30KÇnin 4GHz frekansında iletim değerleri sırasıyla 0,01242 dB, 0,00948 dB, 0,00819 dB ve 0,00514 dB’dir. 8GHz frekansında Kontrol, %10KÇ, %20KÇ ve %30KÇ iletim değerleri 0,00391 dB, 0,00249 dB, 0,00224 dB ve 0,00122 dB ‘dir. Bu bulgular ışığında, elektromanyetik dalgaların harç örneklerinden geçişinin kırmızı çamur yardımıyla sınırlandırıldığı veya durdurulduğu söylenebilir [111]. Kırmızı çamurdaki yüksek miktarda  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$ , harçta yüksek elektriksel tepki ve elektrik dipol momentine neden olmuştur. Harcın yüksek elektriksel tepkisi EM dalganın zayıflamasına neden olmuştur [72].



Şekil 4.30. %10 %20 ve %30 kırmızı çamur içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (b) Soğurmave (c) İletim değerleri



Şekil 4.30. (Devam) %10 %20 ve %30 kırmızı çamur içeren harçlara ait EM dalga (a) Yansıma (b) Soğurmave (c) İletim değerleri

#### 4.6. Nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif içeren çimentolu kompozitlerin Elektromanyetik Özelliklerinin İncelenmesi

EM kalkanlamada soğurma katkısı  $SE_A/SE_T$  olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, soğurma katkısı,  $SE_T$ 'in soğurmada kaynaklanan kısmıdır. Kesrin geri kalanı yansımada kaynaklanmaktadır.

$SE_R$  ve  $SE_A$  aşağıdaki iki denklemden elde edilebilir.

$$SE_R = 31.5 + 10 \log \left( \frac{\sigma}{f\mu} \right) \quad (4.1)$$

$$SE_A = 20 \log \left( \exp \left( -\frac{t}{\delta} \right) \right) = 8,686t\sqrt{\pi\mu f\sigma} \quad (4.2)$$

$\sigma$  elektriksel iletkenlik,  $\mu$  manyetik geçirgenlik,  $f$  frekans ve  $\delta$  yüzey derinliğidir. Eşitliklerden (4.1 ve 4.2), daha yüksek bir  $\sigma$ 'nun hem  $SE_R$  hem de  $SE_A$  için faydalı olduğu, fakat daha yüksek bir  $\mu$ 'nün  $SE_A$ 'yı artırıp  $SE_R$ 'i azalttığı açıktır.

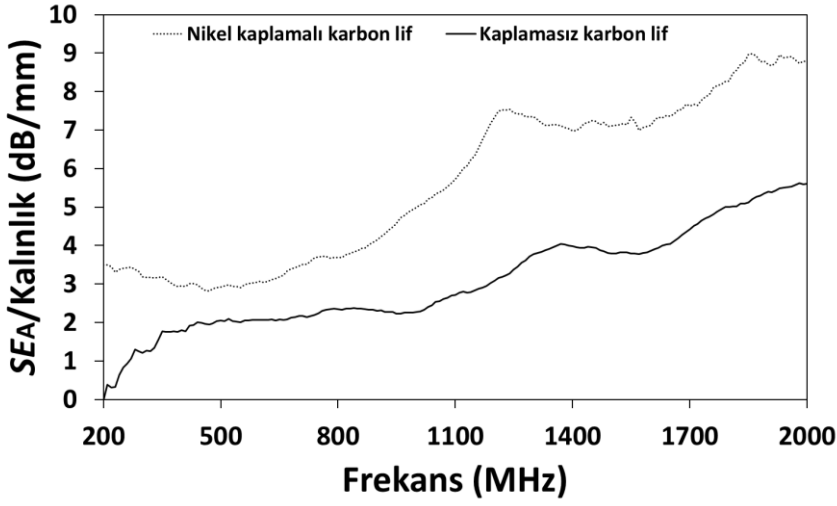
Elektromanyetik teoriye göre,  $SE_A$ , radyasyonun yayılma yönündeki mesafe ile orantılıdır. Birim kalınlık başına  $SE_A$ , malzemenin doğrusal soğurma katsayısı ile doğrudan ilişkilidir. Farklı içerikli numuneler arasındaki kalınlık farklılıkları nedeniyle (Çizelge 4.1), bu çalışmada birim kalınlık başına  $SE_A$  ( $SE_A/\text{Kalınlık}$ ) sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Test edilen numunelerin kalınlıkları (mm)

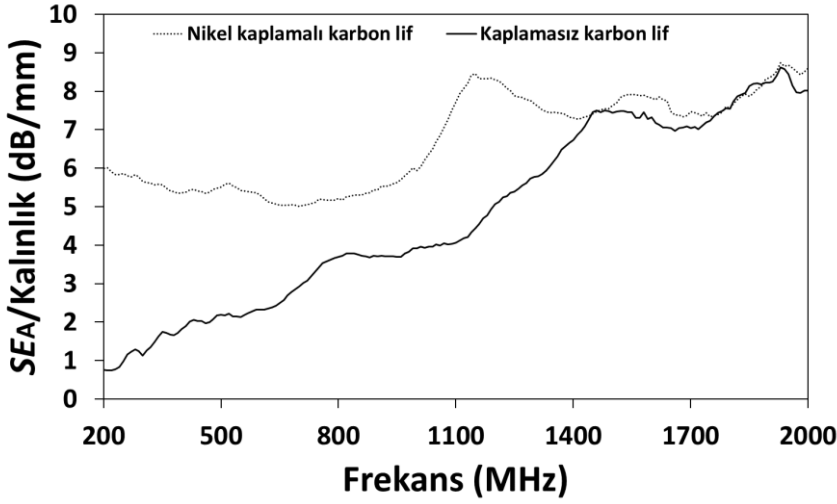
Lif hacmi (%)	Kaplamasız lif	Nikel kaplamalı lif
0	2,95	2,95
0,5	2,97	2,85
1,0	3,26	3,21
1,5	3,16	3,09

Şekil 4.31 4.32 ve 4.33, çeşitli karbon lif çimento-matris kompozitler için  $SE_A$ /Kalınlığa karşı frekansı göstermektedir. Karşılaştırma, her bir lif içeriği için kaplanmamış ve nikel kaplı karbon lif durumları arasında yapılır. Tüm lif tipi ve lif içeriği kombinasyonları için,  $SE_A$ /kalınlık artan frekansla artma eğilimindedir. Bu eğilim elektromanyetik teori (Eş. 4.2) ile uyumludur. Üç lif içeriğinden herhangi biri için nikel kaplı karbon lif, kaplanmamış karbon life göre daha yüksek  $SE_A$ /kalınlık değeri sağlar. Nikel kaplı karbon liflerin, kaplamasız liflere göre üstünlük derecesi, fiber içeriği arttıkça azalır. Diğer bir deyişle, nikel kaplama, lif içeriği daha düşük olduğunda daha kullanışlıdır. Lif içeriğindeki artış, lifin nikel kaplı olup olmadığına bakılmaksızın iletkenliği artırır ve böylece elektromanyetik teoriye (Eş. 4.2) göre  $SE_A$ 'yı artırır. Artan lif içeriği ile  $SE_A$ 'nın bu artışı, nikel kaplamanın sağladığı artan iletkenlik ve manyetik karakteri daha az etkili hale getirir.

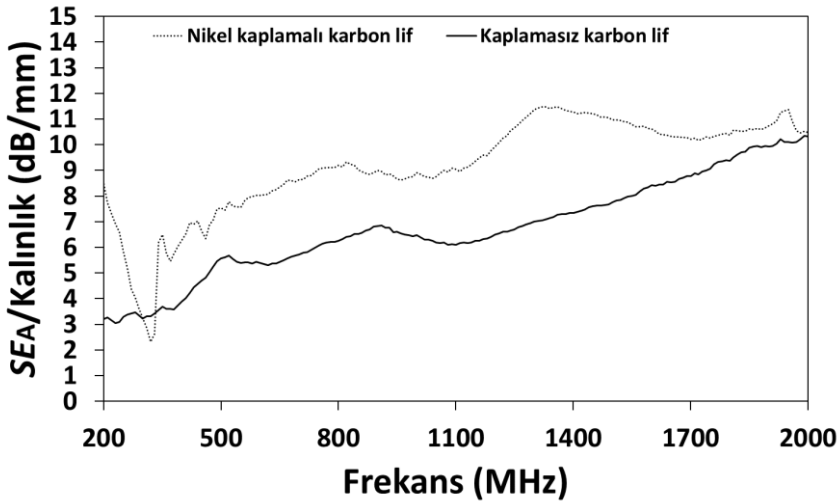
Şekil 4.34 ve 4.35, verilen frekans aralığı için  $SE_A$ /kalınlığın, lifin nikel kaplı olup olmadığına bakılmaksızın artan lif içeriği ile arttığını göstermektedir. Tek istisna, 400 MHz'nin altındaki nikel kaplı karbon lif için görülmüştür. Bu davranış hacimce %1,5 nikel kaplı lif içeren kompozitte tespit edilmiştir. Artan lif içeriği ile iletkenlikte artış meydana geleceği için  $SE_A$ /kalınlık değerinde artışı beklenmektedir. Elektromanyetik teoriye göre (Eş. 4.2) iletkenlik artışı  $SE_A$ 'yı artırır. Nikel kaplı karbon fiber durumunda, fiber içeriğindeki artışa, geçirgenlikteki ( $\mu$ ) artış da eşlik eder. Elektromanyetik teoriye göre (Eş. 4.2) geçirgenlik artışı  $SE_A$ 'yı güçlendirecektir. Bu, fiber içeriğinin hacimce %0'dan %0,5'e çıkması üzerine  $SE_A$ 'daki artışın, nikel kaplı karbon fiber durumunda, kaplanmamış karbon fibere göre neden daha önemli olduğunu açıklar.



Şekil 4.31. Hacimce %0,5 oranda lif içeren numuneler

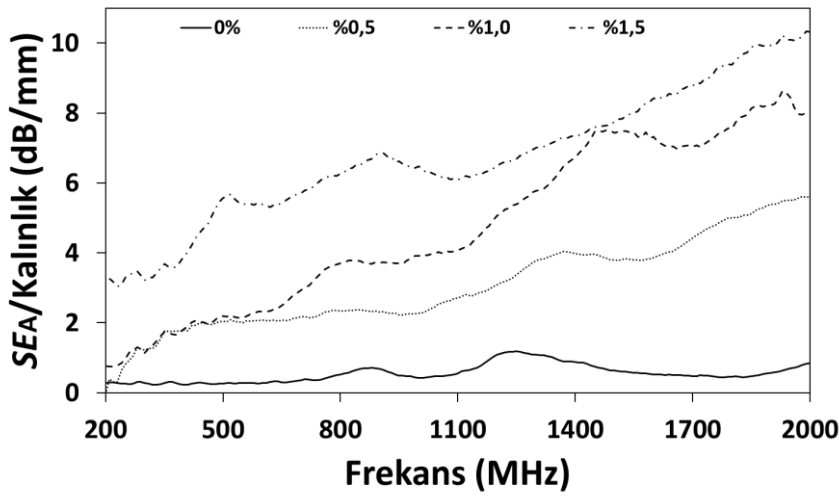


Şekil 4.32. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numuneler

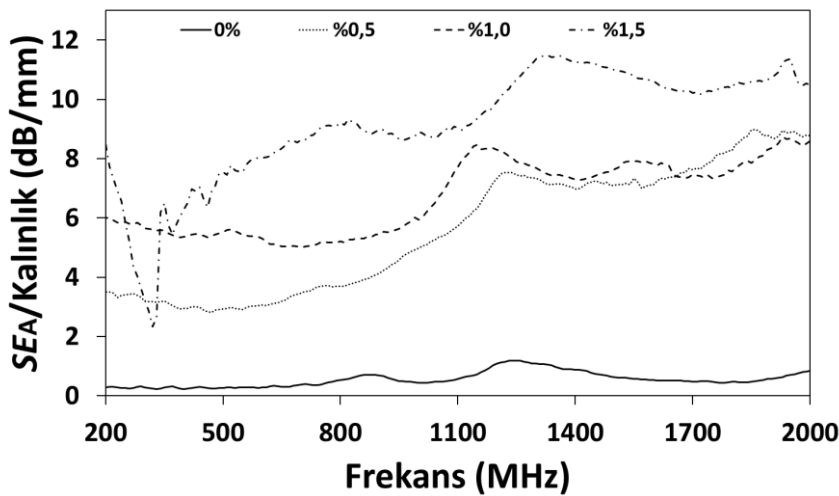


Şekil 4.33. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numuneler

Şekil 4.36, 4.37 ve 4.38, elektromanyetik teoriden (Denklem (4.1)) beklendiği gibi,  $SE_R$ 'nin artan frekansla düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Belirli bir lif içeriği için, değerler kaplamasız ve nikel kaplı karbon lif için benzerdir. Nikel kaplamanın sağladığı daha yüksek iletkenliğe rağmen,  $SE_R$ , kaplamasız ve nikel kaplı karbon fiberler için benzerdir. Bu, nikelin manyetik karakterinin geçirgenliğin artmasına ve dolayısıyla elektromanyetik teoriye (Denklem (4.1)) göre  $SE_R$ 'nin azalmasına neden olmasına bağlanır. Başka bir deyişle, iletkenlik artışı ve geçirgenlik artışının birleşik etkileri,  $SE_R$ 'nin esas olarak nikel kaplamanın varlığından etkilenmemesine neden olur.

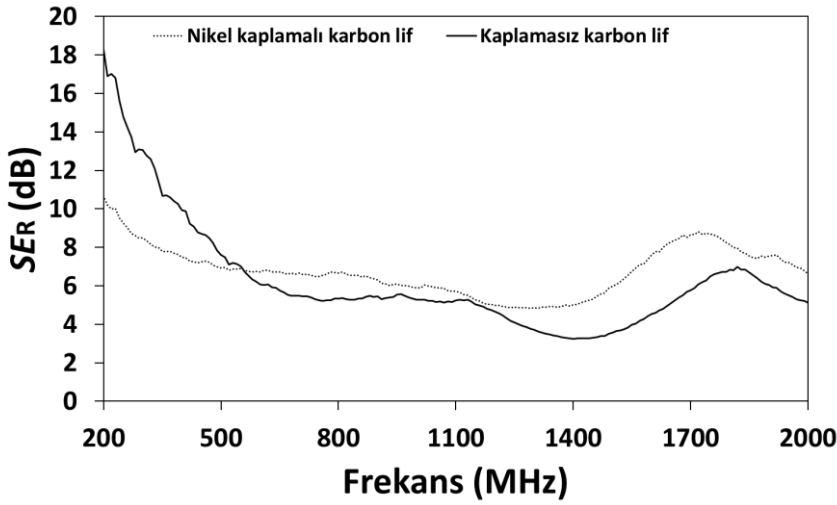


Şekil 4.34. Farklı oranda kaplamasız karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE/Kalınlık$  değerleri

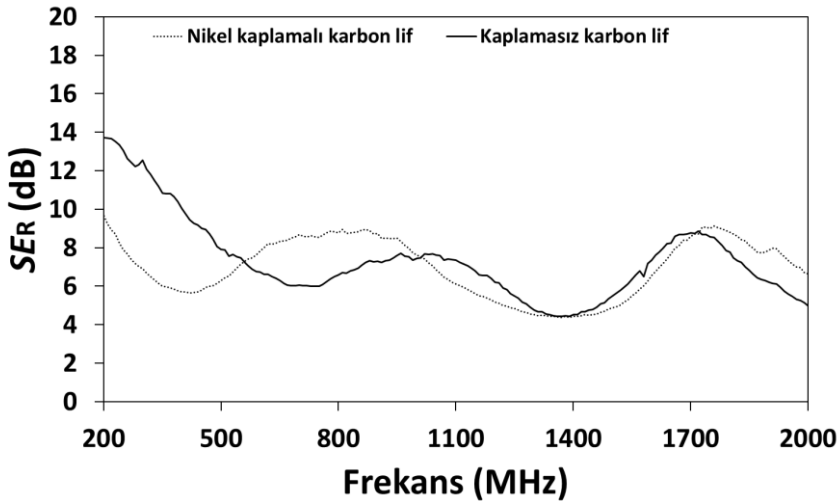


Şekil 4.35. Farklı oranda nikel kaplamalı karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE/Kalınlık$  değerleri

Şekil 4.39 ve 4.40’da gösterildiği gibi, kaplanmamış karbon lif durumunda,  $SE_R$ , 500 MHz’nin üzerindeki frekanslar için artan lif içeriği ile monoton olarak artar. Nikel kaplı karbon lif durumunda, bu eğilim bir dereceye kadar mevcuttur, ancak  $SE_R$  değerleri hacimce % 0,5 ve hacimce %1,0 olan lif içerikleri için benzerdir. İletkenlikteki artışa bağlı olarak artan lif içeriği ile  $SE_R$ ’nin artması beklenmektedir. Nikel kaplı karbon fiber durumunda, fiber içeriğindeki artış aynı zamanda geçirgenlikte bir artışa neden olduğu için eğilim daha az nettir. Elektromanyetik teoriye (Eş. 4.1) göre geçirgenlik artışı  $SE_R$ ’i azaltacaktır.

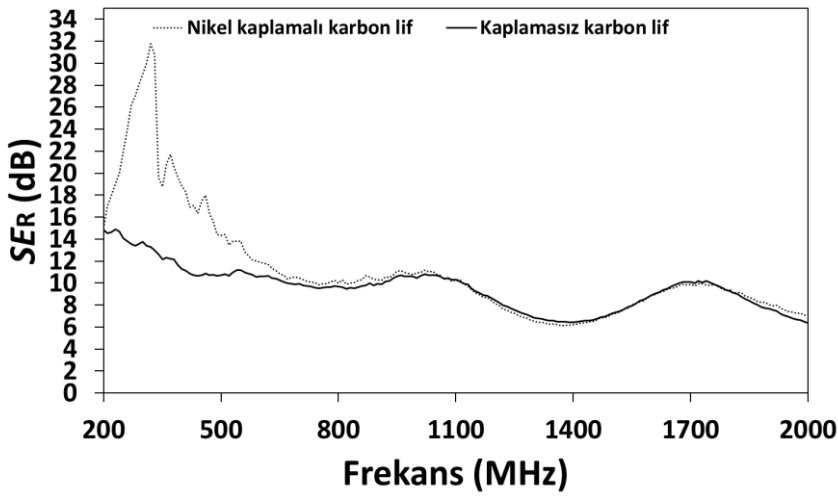


Şekil 4.36. Hacimce %0,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_R$  değerleri

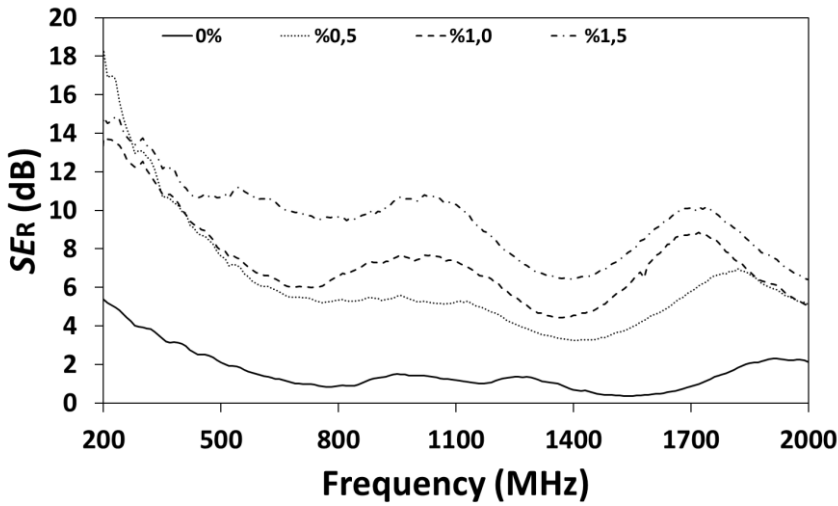


Şekil 4.37. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_R$  değerleri

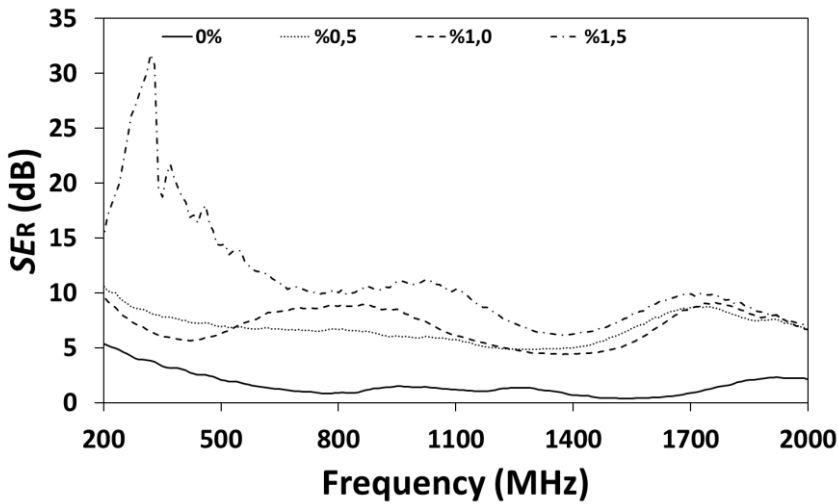




Şekil 4.38. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_R$  değerleri

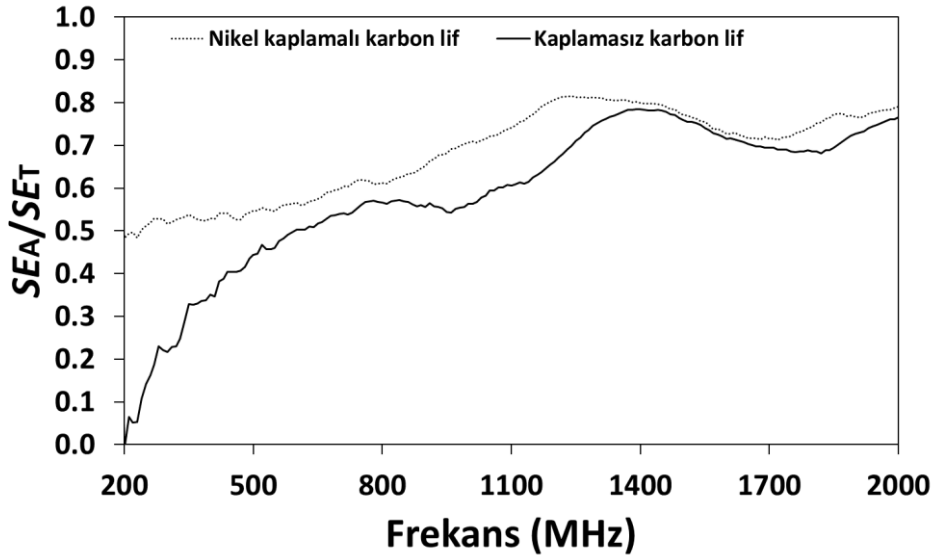


Şekil 4.39. Farklı oranda kaplamasız karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_R$  değerleri

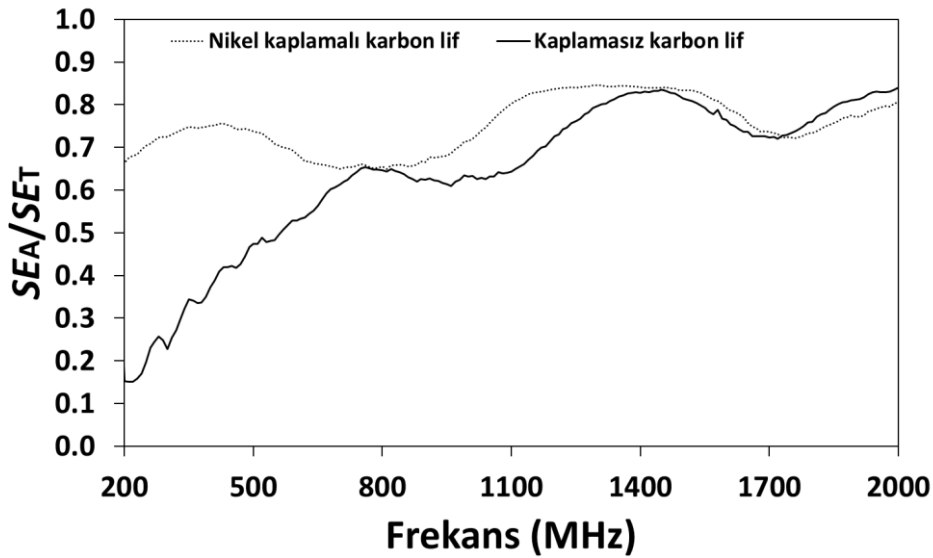


Şekil 4.40. Farklı oranda nikel kaplamalı karbon lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_R$  değerleri

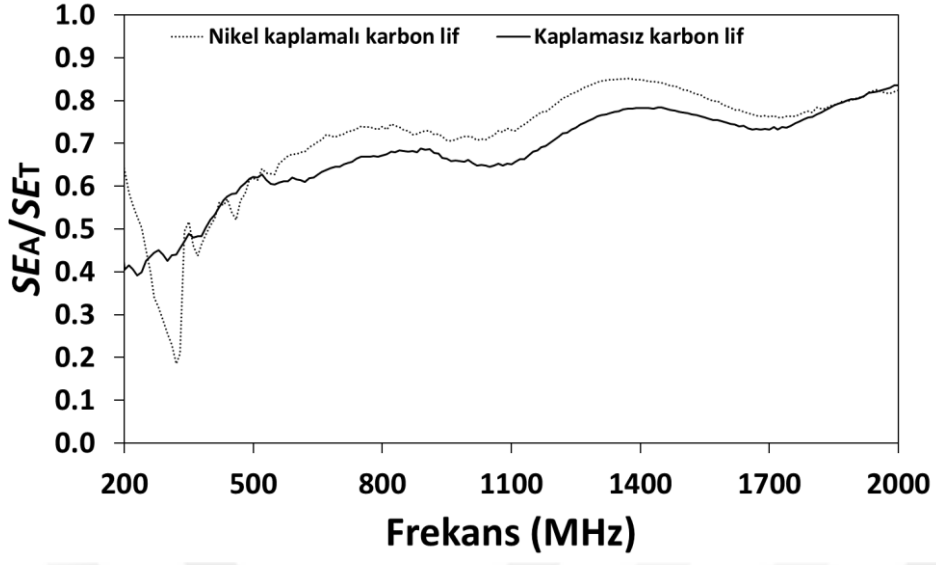
Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43, herhangi bir lif içeriği için,  $SE_A/SE_T$ 'in nikel kaplı karbon lif içeren çimento pastası için kaplanmamış karbon lif içeren çimento pastasından daha yüksek olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Lif içeriği daha düşük olduğunda fark daha büyüktür. Bu, toplam kaybın bir kısmı olarak absorpsiyon kaybının, nikel kaplamanın varlığında daha büyük olduğu anlamına gelir. Sonuçlar nikel kaplamanın varlığına bağlı olarak hem iletkenlik hem de geçirgenlikteki artışlarla tutarlıdır ve her iki artış da  $SE_A$ 'daki artışa katkıda bulunmuştur.



Şekil 4.41. Hacimce %0,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_A/SE_T$  değerleri



Şekil 4.42. Hacimce %1,0 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_A/SE_T$  değerleri



Şekil 4.43. Hacimce %1,5 oranda lif içeren numunelerin frekansa bağlı  $SE_A/SE_T$  değerleri

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tezde farklı kimyasal kompozisyona ve fiziksel özelliklere sahip elektrik ark fırını cürufu, tufal, atık tekerlek lastiği, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü, kırmızı çamur gibi yan ürünler - atıklar ve nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon lif çimento esaslı kompozitlerde katkı malzemesi olarak kullanılmışlardır. Bu kompozitler üzerinde mekanik (lifli çalışma hariç) ve EM testler yapılmıştır. EM dalga zayıflatıcı olmak üzere tasarlanan çimento esaslı kompozitlere EM dalga zayıflatma özelliği kazandırılırken bir yandan da mekanik özelliklerden taviz verilmemesi hedeflenmiştir. Çeşitli katkıları sahip oldukları kimyasal ve fiziksel özellikleri sayesinde kullandıkları kompozitlere üstün özellikler kazandırmışlardır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- EAO cürufu içeren harçların dayanım sonuçları incelendiğinde 7, 14 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerlerinin beklendiği üzere zamanın ilerlemesiyle artış gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımı için 7 günlük numunelerde EAO cürufu içeren bütün numuneler kontrol numunesine yani içerisinde EAO cürufu içermeyen numuneye göre daha iyi performans sergilemişlerdir. 14 günlük eğilme dayanımı değerleri için aynı trend gözlemlenmiştir fakat en iyi performans %40 EAO cürufu içeren harçlarda görülmüştür. 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise cüruf oranının %20 ve %40'a kadar çıkarılması kontrol numunesine göre artış sergilese de bu artış harç içerisinde daha fazla cüruf kullanımıyla düşmüştür. Basıç dayanımı değerlerinde 7, 14 ve 28 günlük harç numunelerinin hepsinde EAO cürufu içeren bütün harçlar kontrol numunesine göre daha iyi bir performans sergilemişlerdir. 7, 14 ve 28 günlük numunelerde en iyi performansları sırasıyla içerisinde %60, %40 ve %40 cüruf içeren harçlar sergilemişlerdir. Kullanılan cürufun düzgün olmayan yüzeyi sayesinde çimento hamuru ile iyi bir kenetlenme sağladığı bu fonksiyon sayesinde kompozitin dayanımında artış olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar ışığında EAO cürufunun harçlarda dayanımdan taviz vemediği kullanılabileceği görülmüştür.
- Iskenderun Demir-Çelik tesislerinden elde edilen Tufal I ve Tufal II diye adlandırılan iki farklı tufal ilk aşamada karakterize edilmiştir. Çıkan sonuçlar Tufal I'in manyetit, Tufal II'nin ise hematit yapıda olduğunu göstermiştir. Bu iki farklı tufal ile hazırlanan harçların eğilmede çekme dayanım sonuçları incelendiğinde Tufal I ile

hazırlanan harçların kontrol numunesine yakın değerler sergilediği ve en yakın performansı %15 Tufal I içeren harç olduğu görülür. Bu durum Tufal II için de geçerlidir. Fakat genel olarak sonuçlar incelendiğinde Tufal II içeren harçların Tufal I içeren harçlara göre daha iyi performans sergiledikleri söylenebilir. Basınç dayanımı sonuçları eğilmede çekme dayanımı sonuçlarıyla paraleldir. En iyi performanslar %15 tufal içeren harçlarda gözlenirken genele bakıldığında çok küçük farklarla da olsa Tufal II içeren harçların Tufal I içeren harçlara göre daha iyi bir dayanım performansı sergilediği görülür. Tufallerin düzgün olmayan yüzeyleri sayesinde kullanıldıkları karışımlarda belli bir dereceye kadar iyi bir kenetlenmeye sağlayarak dayanım değerlerinde ciddi tavizler vermeden kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Yan ürün veya atık olarak ortaya çıkan tufaller en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesinde dayanımdan ciddi tavizler verilmeden kullanılabilen yapılar ile gözlemlenmiştir.

- ATL ve Tufal I'in beraber kullanıldığı çalışmada ATL ilk aşamada harç içerisinde tek başına oranları artırılarak kullanılmıştır. Eğilme ve basınç dayanımı değerleri beklendiği üzere lastik kullanımının artmasıyla azalmıştır. İkinci aşamada ATL'ler %15 tufal ile birlikte kullanılmışlardır. ATL kullanımının artmasıyla dayanımda düşüşler tekrar gözlemlense de bu düşüş Tufal I'in kullanımıyla sınırlandırılmıştır. Düşük dayanım ve yoğunluğa sahip ATL kullanıldığı kompozitin dayanım değerlerini kendine doğru çekerek zayıflatmıştır. Bu zayıflama girintili çıkıntılı yüzeye sahip Tufal I kullanılarak belirli bir dereceye kadar sınırlandırılmıştır. Tufal I in çimento hamuruyla daha iyi kenetlenmesi ATL kullanımından doğan zayıflıkları bir nebze engellemiştir. Bu iki malzemenin bir arada kullanımı büyük bir problem arz eden ATL'nin harç içerisinde daha fazla kullanılabilen fikrine ışık tutmuştur.
- İçerisinde %20 oranda YFC içeren harçların %10 ve %30 YFC içeriğine sahip numunelerden daha fazla basınç dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür. %20 ve %30 YFC içeren harçlar oldukça yakın basınç dayanımı değerleri sergilemişlerdir. Cüruf miktarının harç içerisinde artırılmasıyla hidrasyon ürünlerinin arttığı dolayısıyla dayanım değerlerinde de artışlar meydana geldiği düşünülmektedir.
- %10 oranda UK içeren harçların %20 ve %30 UK içeriğine sahip numunelerden daha fazla basınç dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür. UK miktarının harç içerisindeki artışlarına bağlı dayanım düşüşlerinin sebebi harç karışımındaki çimento içeriğinin azalmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

- %20 oranda SD içeren harçların %10 ve %30 SD içeriğine sahip numunelerden daha fazla basınç dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür. Harç içerisinde SD içeriği %10'dan %20'ye artırıldığında dayanımda artış gözlemlenmiş fakat kullanılan SD %20'den 30'a çıkartıldığında dayanım düşmüştür. SD'nın çok ince yapıda olması bu mineral katkının harç içerisindeki kullanımını sınırlandırmıştır. Yüksek miktarda SD işlenebilirliği azalttığı için daha fazla SD kullanımının dayanımı azalttığı düşünülmektedir.
- İçerisinde %10 oranda PK içeren harçların %20 ve %30 PK içeriğine sahip numunelerden daha fazla basınç dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür. PK SD'ye benzer bir şekilde harç içerisindeki oranının artmasıyla işlenebilirliği düşürmüştür. Bu sebeple harç içerisinde PK oranının %10'dan %20 ve %30'lara çıkarılması dayanımda düşüşler ile sonuçlanmıştır.
- Çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarda yer değiştirilerek üretilen harçlarda kırmızı çamur ilavesiyle birlikte eğilmede çekme dayanımında çamur içermeyen numuneye kıyasla önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Basınç dayanımı değerlerinde ise kırmızı çamur ikamesi dayanımda düşüşe sebep olsa da harç içerisinde kırmızı çamur oranının %10'dan %20 ve %30'lara çıkarılması basınç dayanımı değerlerinde iyileşme sağlamıştır. Kırmızı çamurun kompozitteki miktarının artışıyla birlikte mikro boşlukların dolduğu böylece dayanımda artış meydana geldiği düşünülmektedir.
- 28 günlük EAO cürufu içeren harçların EM dalga yansıma parametreleri incelendiğinde üst üste binmiş değerler göze çarpsa da 17 GHz frekansına yakın frekans değerlerinde harç içerisindeki cüruf miktarının artırılmasıyla bu değer de arttığı göze çarpmaktadır. Harçların iletim parametreleri sonuçları yansıma parametreleri sonuçlarına göre daha açıktır. Hemen hemen bütün frekans bandında (ölçülen) harç içerisinde EAO cürufu miktarının artırılmasıyla bu değer büyüklük olarak artmıştır. En yüksek değer %100 EAO cürufu içeren harçlarda gözlemlenmiştir. Kontrol numunesinde EM dalga iletiminin engellenmesi 15 dB civarlarındayken %100 EAO cürufu içeren harçlarda bu değer ortalama 35 dB civarlarındadır. Geçirgenlik (dielektrik) sabiti değerlerine göre harcın iletkenliğinin cüruf ile artmasıyla bu değer de beklendiği üzere arttığı gözlemlenmiştir. Üretilen bu harçların ekranlama etkinlikleri incelendiğinde ise bu değer cüruf kullanımıyla ciddi artışlar gösterdiği görülmüştür. Bu değer standart bir harç için 10 dB

civarlarında iken EAO cürufunun kullanılmasıyla 8-10 kat arttırılabileceği gözlemlenmiştir. EAO cürufunun içerisinde demir oksitler barındırması EAC cürufuna EM dalga ekranlama özelliği katmıştır. Dolayısıyla EAO cürufunun harç içerisinde değerlendirilmesi harca da bu özelliği vermiştir.

- Tufal I ve Tufal II toz halde iken yani harç içerisinde kullanılmadan iletim parametreleri ( $S_{12}$ ) incelendiğinde Tufal I'in etkili bir şekilde EM dalgaların iletimini zayıflatmış Tufal II'nin hava gibi davranarak EM dalga iletimini engellemede hiçbir etkinlik sergilemediği görülmüştür. Bu iki malzemenin dielektrik sabitleri test edildiğinde Tufal I Tufal II ye göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. EM dalgaların iletiminin engellenmesi için Tufal I ve Tufal II ile hazırlanan harçlarda Tufal I içeren harçların Tufal II içeren harçlara göre daha etkili oldukları açıkça görülür. Tufal I miktarının harç içerisindeki oranının artmasıyla EM dalga ekranlama etkinliği de artmıştır. Tufal I'in hematit ve kristal kübik yapıda olması, manyetit ve rombohedral yapıda olan Tufal II'ye EM dalga iletiminin engellenmesi konusunda kullanıldığı malzemede üstünlük kurmasını sağlamıştır.
- ATL ve Tufal ile hazırlanan harç numunelerde EM dalga iletiminin engellendiği açıkça görülmüştür. Tek başına ATL kullanımının EM iletimi azaltmada çok az etkili olduğu görülmüştür. Aynı şekilde harç içerisinde sadece %15 Tufal I kullanımı ATL içeren harçlara göre EM dalga iletimini zayıflatmada daha etkili olsa da bu iki malzemenin beraber kullanılmasıyla EM dalga iletimini engelleme daha başarılı olmuştur. Karbon içerikli olan ATL EM daga iletiminin engellenmesi konusunda bir performans sergilese de yeterli değildir. ATL Tufal I ile oluşturduğu sinerjik etki ile kullanıldığı kompozite daha güçlü bir EM dalga iletim zayıflatma özelliği kazandırmıştır.
- YFC içeren harçlarda yansıma değerleri 7-18 GHz aralığında 0,12'in altında seyretmektedir. Bunun yanında, iletim değerlerin 9,5 GHz deki pik noktasının haricinde 5,5-19 GHz aralığında 0,01 in altında seyretmektedir. 8 GHz'den yüksek frekanslar için EM dalga soğurma değerleri neredeyse %90'dan yüksektir. Harç içerisinde kullanılan YFC'nin kimyasal yapısında bulunan alüminyum oksitlerin harcın EM özelliklerini belirlediği düşünülmektedir.
- UK içeren harçlarda 6,4 GHz frekansın üstündeki değerlerde yansıma değerlerinin %10 dan fazladır. Harç içerisinde UK miktarının artmasıyla yansıma değerlerinde düşüşler açıkça görülür. İletim değerleri 5,5 GHz den sonra yaklaşık %1 den daha

düşüktür. Soğurma değerleri ise yaklaşık olarak 8 GHz in üstünde %90 dan fazladır. Harç içerisinde kullanılan UK'nın kimyasal yapısında bulunan alüminyum ve demir oksitlerin harcın EM özelliklerini belirlediği düşünülmektedir.

- SD içeren bütün numunelerde 6.5 GHz üstü frekanslarda yansıma değerlerinin %10 dan daha az olduğu belirlenmiştir. Farklı içerikte SD içermelerine rağmen harçların birbirine yakın yansıma değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Fakat, en az iletim değerine sahip kompozitin %30 SD içeren harçlar olduğu söylenebilir. İletim değerlerinin 5,5 GHz den sonra yaklaşık olarak %1 in altında olduğu anlaşılmaktadır. 8 GHz üstü frekanslarda soğurma değerlerinin SD içeren harçlarda %90'ların üstünde olduğu görülür. Harç içerisinde kullanılan SD'nin kimyasal yapısında bulunan silisyum oksitlerin harcın EM özelliklerini belirlediği düşünülmektedir
- 6,5 GHz üstü frekans değerlerinde PK içeren harçlarda yansıma değerlerinin %10'un altında olduğu görülmektedir. 5,5 GHz üstü frekanslarda bu harç grubunun iletim değerlerinin yaklaşık %1'den daha az olduğu görülmektedir. 7,7 GHz frekans üstü değerlerde soğurmanın %90 civarında olduğu görülmektedir. Harç içerisinde kullanılan PK'nın kimyasal yapısında bulunan silisyum oksitlerin harcın EM özelliklerini belirlediği düşünülmektedir.
- Kırmızı çamur içeren ve içermeyen harçlarda yansıma ve soğurma değerleri hemen hemen bütün frekans bant aralığında benzer davranış göstermişlerdir. Fakat iletim değerleri incelendiğinde kırmızı çamurun kimyasal bileşenlerinde bulunan alüminyum ve demir sayesinde EM dalgaların iletiminin zayıflatıldığı tespit edilmiştir. Özellikle 4 GHz, 7-15 GHz frekans bantlarında iletim değerlerinde kırmızı çamurun etkisi daha açık görülmektedir.
- Nikel kaplamalı lifler kaplamasız liflere kıyasla kullanıldıkları kompozitlerin EM dalga soğurma özelliklerini hem iletkenlik hem de geçirgenlik değerlerinde artışa başlı olarak arttırmışlardır. Nikel kaplama kompozitin hem iletkenliğini hem de geçirgenliğini arttırdığından  $SE_R$  değerleri üzerinde bir etkisi olmamıştır. Bu davranış EM dalga teorisiyle örtüşmüştür.  $SE_A$ /Kalınlık ve  $SE_R$  değerleri her iki lif tipinin kullanıldığı kompozitlerde lif oranının artmasıyla artmıştır.

Harç içerisinde toplam elektrik ark ocağı cürufu içeriğinin artmasıyla birlikte EM geçirgenlik artar ve geçirgenliğin neredeyse sabit ve frekans-bağımsız davranış göstermesi dikkat çekicidir. Bu özelliklere sahip olan önerilen harçların eğer kayıp faktörleri



azaltılabilirse, gelecekteki radome uygulamaları için bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Ek olarak bu çalışmada gelecek sensör tasarımları için mikrodalga aralığında yüksek frekans yaklaşımının tahribatsız şekilde çimento esaslı kompozitlerin özelliklerinin tespiti için de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Düşük frekanslardaki özellikler de ilginç olabilir ancak kaynağın frekans sınırlamaları ve düşük güç özellikleri nedeniyle bu çalışmada bu özellikler tanımlanamamıştır. Sonuç olarak, elektrik ark ocağı cürufu agregaları ile önerilen harç, yüksek ekranlama, eğilme çekme dayanımı ve basınç dayanımı özellikleri gerektiren uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahiptir.

MMK Metalurji den alınan tufaller ile hazırlanan çimento esaslı kompozitlerin EM özellikleri incelendikten sonra bu kompozitin EM dalga zayıflatmada kullanılamayacağı fakat havaya benzer davranış sergilediğinden yeni nesil radom uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmüştür. Öte yandan Eryılmazlar A.Ş. den alınan tufal içeren kompozitlerin EM dalga zayıflatıcı olarak kullanılabileceği bu çalışmanın çıktıları arasındadır. Eryılmazlar A.Ş. den alınan tufal içeren kompozitlerin EM dalga iletim değerleri düşük, kalkanlama etkinliği değerleri ise yüksek çıkmıştır. Bu davranışın sebebi tufalin ferromanyetik özelliklere sahip olması, kübik kristal yapıda olması ve yüksek demir içeriği ile açıklanmıştır. %30 oranında Eryılmazlar A.Ş. den alınan tufali içeren kompozitlerin gelen enerjinin yapıya girmesini neredeyse engellediği görülmüştür. Bu nedenle bu tufali içeren harç, tüm kablosuz iletişim bantlarında EM dalga kalkanlama özellikleri olan yeni bir yapı malzemesi oluşturmak için kullanılabilir sonucuna varılmıştır. Tüm deneysel sonuçlar, demir-çelik endüstrisinden meydana gelen tufal adı verilen devasa ve tehlikeli atıkların yeni nesil yapı için EM dalga zayıflatıcı olarak çimento bazlı kompozitlerde kullanılabileceğini göstermiştir. Eryılmazlar A.Ş. den alınan tufal içeren çimento esaslı kompozitler EM dalga koruyucu malzemeler için uygun adaylardır. Böylece sadece İskenderun Körfezi'ndeki demir çelik endüstrisinin tufal depolama probleminin çözülmesine katkıda bulunulmayıp tufallere katma değer kazandırabilecektir.

Elektromanyetik karakterizasyon sonuçları, farklı atık tekerlek lastiği yüzdelere sahip numunelerin yansıma katsayılarında çok az değişiklik olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tüm numuneler -8.7 dB'den düşük yansıma katsayısı ile iyi mekanik özellikler sergilemişlerdir. Numunelerin yansıma katsayıları C band frekans aralığı için -4 dB ile -20 dB arasında kaydedilirken, X bandındaki her bir örnek için -10 dB'den düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar tasarlanan kompozitleri ilgili frekans bandı için kalkanlama/ekranlama

uygulamalarında uygulanabilir kılınmıştır. Ek olarak, farklı yüzdelere sahip atık tekerlek lastiği içeren harç numuneleri için dielektrik sabitlerinin gerçek kısmı da rapor edilmiştir. Sonuçlar nceki çalışmaları desteklemiş ve örneklemelerin yüksek yönlülüğe sahip radome tasarımına uygun olduğunu göstermiştir. Sadece lastik agrega içeren kompozitlerin 5-12 GHz frekans aralığında dielektrik sabiti değerlerinin havadan aza sıfıra yakın olduğu grlmştir. Bununla birlikte tufal içeren lastikli harçların 5-12 GHz frekans aralığında dielektrik sabitleri hem havadan hem de şahit numuneden daha yüksek olduğu da anlaşılmıştır. Harçların yüksek dielektrik sabitine sahip olması bu yapıların radom uygulamalarında kullanımını engeller fakat bu malzemelerin EM dalga zayıflatıcı olarak kullanılmasına olanak sağlar.

YFC, UK, SD ve PK gibi mineral katkı maddeleri içeren harçların, mekanik özelliklerden ödün vermeden mikrodalga mühendisliğinin çeşitli uygulamalarında kullanılabileceğini grlmştir. Uzun zamandır çimentolu kompozitlerde mineral katkı olarak kullanılan bu malzemeler bu tez ile farklı özellikleri de tespit edilmiş oldu. EM dalga iletimi zayıflamada kullanılabileceği görülen bu katkılar daha fazla çalışılarak neler yapılabilirliği hakkında daha fazla bilgi edinilebilir

Kırmızı amur içeren harçlarda eğilme ve basınç değerlerinde kontrol yani satandart harca göre aşırı derecede değişim gözlemlenmemiştir. Bu malzemenin belirli oranlarda yapı malzemesi olarak kullanılan imento esaslı kompozitlerde değerlendirilmesinin mkn olduğu tespitler arasındadır. Ayrıca bu atığın kimyasal yapısındaki alüminyum ve demirden dolayı yeni bir kullanım alanı olan EM dalga zayıflatmada da değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Karbon lif içeren imento pastaları yüksek kalkanlama etkinliği değerlerine sahipken nikel kaplamalı karbon liflerin imento esaslı kompozitlerde kullanılması bu özelliği daha da arttırmıştır. Hasas cihazların etkileyici EM dalgalardan korunması için bu liflerin imento esaslı kompozitlerde kullanılmasının uygun olabileceği bu tez kapsamında grlmştir.

## KAYNAKLAR

1. Thomas, T. L., Stolley, P. D., Stemhagen, A., Fontham, E. T., Bleecker, M. L., Stewart, P. A., & Hoover, R. N. (1987). Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: A case-control study. *Journal of the National Cancer Institute*, 79(2), 233–238. <https://doi.org/10.1093/jnci/79.2.233>
2. Batool, S., Bibi, A., Frezza, F., Mangini, F. (2019). Benefits and hazards of electromagnetic waves, telecommunication, physical and biomedical: A review. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 23(7), 3121–3128. [https://doi.org/10.26355/eurrev\\_201904\\_17596](https://doi.org/10.26355/eurrev_201904_17596)
3. Gong, Y. X., Zhen, L., Jiang, J. T., Xu, C. Y., Shao, W. Z. (2009). Preparation of CoFe alloy nanoparticles with tunable electromagnetic wave absorption performance. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321(22), 3702–3705. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2009.07.019>
4. Moučka, R., Lopatin, A. V., Kazantseva, N. E., Vilčáková, J., Sába, P. (2007). Enhancement of magnetic losses in hybrid polymer composites with MnZn-ferrite and conductive fillers. *Journal of Materials Science*, 42(22), 9480–9490. <https://doi.org/10.1007/s10853-007-2081-0>
5. Park, K. Y., Lee, S. E., Kim, C. G., Han, J. H. (2006). Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures. *Composites Science and Technology*, 66(3–4), 576–584. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.05.034>
6. Chen, X., Ye, Y., Mater, J. C.-J. I. (2011). Recent progress in electromagnetic wave absorbers. *En.Cnki.Com.Cn*. Retrieved November 27, 2020, from [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTotol-WGCL201105001.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotol-WGCL201105001.htm)
7. Jiang, D., Murugadoss, V., Wang, Y., Lin, J., Ding, T., Wang, Z., Shao, Q., Wang, C., Liu, H., Lu, N., Wei, R., Subramania, A., Guo, Z. (2019). Electromagnetic Interference Shielding Polymers and Nanocomposites - A Review. In *Polymer Reviews* (Vol. 59, Issue 2, pp. 280–337). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/15583724.2018.1546737>
8. Wang, L., Qiu, H., Liang, C., Song, P., Han, Y., Han, Y., Gu, J., Kong, J., Pan, D., Guo, Z. (2019). Electromagnetic interference shielding MWCNT-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Ag/epoxy nanocomposites with satisfactory thermal conductivity and high thermal stability. *Carbon*, 141, 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.10.003>
9. Cheng, Y., Ren, X. (2016). Enhanced Microwave Absorbing Properties of La<sub>3</sub>+ Substituting Barium Hexaferrite. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 29(3), 803–808. <https://doi.org/10.1007/s10948-015-3355-4>
10. Zhang, K., Luo, J., Yu, N., Gu, M., Sun, X. (2019). Synthesis and excellent electromagnetic absorption properties of reduced graphene oxide/PANI/BaNd<sub>0.2</sub>Sm<sub>0.2</sub>Fe<sub>11.6</sub>O<sub>19</sub> nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds*, 779, 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.11.284>

11. Long, Y., Pan, J., Farooq, S., Boer, H. (2016). A sustainability assessment system for Chinese iron and steel firms. *Journal of Cleaner Production*, 125, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.030>
12. Zhang, Q., Li, Y., Xu, J., Jia, G. (2018). Carbon element flow analysis and CO<sub>2</sub> emission reduction in iron and steel works. *Journal of Cleaner Production*, 172, 709–723. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.211>
13. Delil Aydeniz Demir, Dilan YILDIRIM, N. K. (2017). Çelikhane Cürufundan ve Tufalından Bitki Besin Elementlerinin Geri Kazanımı ve Bu Elementlerin Bitki Büyümesine Etkisi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1–7. <https://pdfs.semanticscholar.org/6110/dc0dc7173c36c7428dcc9f158055af434315.pdf>
14. Alwaeli, M. (2016). The implementation of scale and steel chips waste as a replacement for raw sand in concrete manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1038–1044. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.211>
15. Luza, A. L., Fabris, D. C. N., Gislou, E. S., de Medeiros Machado, M., Montedo, O. R. K. (2014). Crystallization kinetics of iron rich glass-ceramic obtained from waste of steel industry. *Materials Science Forum*, 775–776, 244–249. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.244>
16. Cunha, A. F. da, Araújo Filho, G. de, Martins Júnior, Á., Gomes, O. C. B., Assis, P. S. (2006). ASPECTOS TÉCNICOS DA UTILIZAÇÃO DA CAREPA GERADA EM PROCESSOS SIDERÚRGICOS E TRATADA POR DESAGREGAÇÃO ULTRA-SÔNICA. *Tecnologia Em Metalurgia e Materiais*, 3(2), 1–5. <https://doi.org/10.4322/tmm.00302001>
17. Ma, N., Houser, J. B., Wood, L. A. (2018). Production of cleaner mill scale by dynamic separation of the mill scale from the fast-moving flume water at a hot rolling mill. *Journal of Cleaner Production*, 176, 889–894. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.039>
18. Mišík, M., Burke, I. T., Reismüller, M., Pichler, C., Rainer, B., Mišíková, K., Mayes, W. M., Knasmueller, S. (2014). Red mud a byproduct of aluminum production contains soluble vanadium that causes genotoxic and cytotoxic effects in higher plants. *Science of the Total Environment*, 493, 883–890. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.052>
19. Zhang, Xiaolei, Chen, J., Jiang, J. J., Li, J., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. (2020). The potential utilization of slag generated from iron- and steelmaking industries: a review. In *Environmental Geochemistry and Health* (Vol. 42, Issue 5, pp. 1321–1334). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00419-y>
20. Zalnezhad, M., Hesami, E. (2020). Effect of steel slag aggregate and bitumen emulsion types on the performance of microsurfacing mixture. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(2), 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.12.005>

21. Mozejko, C. A., Francisca, F. M. (2020). Enhanced mechanical behavior of compacted clayey silts stabilized by reusing steel slag. *Construction and Building Materials*, 239, 117901. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117901>
22. Liu, X., Zhang, N. (2011). Utilization of red mud in cement production: a review. *Journals.Sagepub.Com*, 29(10), 1053–1063. <https://doi.org/10.1177/0734242X11407653>
23. Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., Morelli, M. R. (2011). Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement. *Materials Research*. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000001>
24. Tsakiridis, P., S. A.-L.-J. of H. (2004). Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. Elsevier. Retrieved November 28, 2020, from [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004030?casa\\_token=E\\_RhXliUSgegAAAAA:VjuGrnWuw6EgTlzmAWiFdztmzGxXOCzn1zsta2nmLjdsIa93TiAAM5ylN857F2aeZdX7gHcI8w](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004030?casa_token=E_RhXliUSgegAAAAA:VjuGrnWuw6EgTlzmAWiFdztmzGxXOCzn1zsta2nmLjdsIa93TiAAM5ylN857F2aeZdX7gHcI8w)
25. Hoque, M. M., Hosse, M. A. (2019). Sustainable Use of Steel Industry Slag (SIS) for Concrete Production: A State Art of Review. *Open Journal of Applied Sciences*, 09(12), 841–850. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2019.912067>
26. Mohamed, O. A., Mustafa, M. M. (2019). A review of alkali-activated slag as cement replacement. *Key Engineering Materials*, 803 KEM, 262–266. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.262>
27. Mamdouh, A., Azizi Safiee, N., Hejazi, F., Azarkerdar, A. (2019). Application of waste from steel industry to construction material: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012026>
28. Prasad, R., Mahmoud, A. E. razek, Parashar, S. K. S. (2019). Enhancement of electromagnetic shielding and piezoelectric properties of White Portland cement by hydration time. *Construction and Building Materials*, 204, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.140>
29. Li, B., Ji, Z., Xie, S., Wang, J., Zhou, J., Zhu, L. (2019). Electromagnetic wave absorption properties of carbon black/cement-based composites filled with porous glass pellets. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(13), 12416–12425. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-01600-w>
30. Long, W. J., Gu, Y. cun, Ma, H., Li, H. dao, Xing, F. (2019). Mitigating the electromagnetic radiation by coupling use of waste cathode-ray tube glass and graphene oxide on cement composites. *Composites Part B: Engineering*, 168, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.050>
31. Velciu, G., Marinescu, V., Moanta, A., Radermacher, L., Bors, A. M. (2018). The influence of the ash addition from thermal power plant on the mechanical, thermal and dielectric characteristics of mortars. *Revista de Chimie*, 69(8), 2040–2044. <https://doi.org/10.37358/rc.18.8.6469>

32. He, Y., Cui, Y., Lu, L., Wang, F., Hu, S. (2018). Microwave Absorbing Mortar Using Magnetic Hollow Fly Ash Microspheres/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Composite as Absorbent. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(6), 04018112. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002298](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002298)
33. Lv, X., Duan, Y., Chen, G. (2018). Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with graphene nano-platelets and hollow glass microspheres. *Construction and Building Materials*, 162, 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.047>
34. Wang, Danna, Ding, S., Li, L., Han, B. (2019). Electromagnetic properties of multi-layer graphenes filled cementitious composites. *Materials Research Express*, 6(4), 045046. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aafc3d>
35. Narong, O. L. C., Sia, C. K., Yee, S. K., Ong, P., Zainudin, A., Nor, N. H. M., Hassan, M. F. (2018). Optimisation of EMI shielding effectiveness: Mechanical and physical performance of mortar containing POFA for plaster work using Taguchi Grey method. *Construction and Building Materials*, 176, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.025>
36. Wang, Z., Zhang, T., Zhou, L. (2016). Investigation on electromagnetic and microwave absorption properties of copper slag-filled cement mortar. *Cement and Concrete Composites*, 74, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.003>
37. Mazzoli, A., Corinaldesi, V., Donnini, J., Di Perna, C., Micheli, D., Vricella, A., Pastore, R., Bastianelli, L., Moglie, F., Mariani Primiani, V. (2018). Effect of graphene oxide and metallic fibers on the electromagnetic shielding effect of engineered cementitious composites. *Journal of Building Engineering*, 18, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.02.019>
38. Cao, M. S., Song, W. L., Hou, Z. L., Wen, B., Yuan, J. (2010). The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites. *Carbon*, 48(3), 788–796. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.10.028>
39. Zukowski, B., dos Santos Mendonça, Y. G., de Souza, J. V. B., Filho, R. D. T. (2020). Cement-based EMI shielding materials. In *Materials for Potential EMI Shielding Applications* (pp. 333–340). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817590-3.00020-8>
40. Yao, W. lin, Xiong, G., Yang, Y., Huang, H. qing, Zhou, Y. fen. (2017). Effect of silica fume and colloidal graphite additions on the EMI shielding effectiveness of nickel fiber cement based composites. *Construction and Building Materials*, 150, 825–832. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.019>
41. Nam, I. W., Kim, H. K., Lee, H. K. (2012). Influence of silica fume additions on electromagnetic interference shielding effectiveness of multi-walled carbon nanotube/cement composites. *Construction and Building Materials*, 30, 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.025>

42. Nam, I. W., Lee, H. K. (2016). Synergistic effect of MWNT/fly ash incorporation on the EMI shielding/absorbing characteristics of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 115, 651–661. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.082>
43. Cao, J., Chung, D. D. L. (2004). Use of fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding. *Cement and Concrete Research*, 34(10), 1889–1892. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.003>
44. Liu, Z., Ge, H., Wu, J., Chen, J. (2017). Enhanced electromagnetic interference shielding of carbon fiber/cement composites by adding ferroferric oxide nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 151, 575–581. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.017>
45. Wen, S., Chung, D. D. L. (2004). Electromagnetic interference shielding reaching 70 dB in steel fiber cement. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 329–332. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.014>
46. Fan, Y., Zhang, L., Volski, V., Vandenbosch, G. A. E., Blanpain, B., Guo, M. (2017). Utilization of Stainless-steel Furnace Dust as an Admixture for Synthesis of Cement-based Electromagnetic Interference Shielding Composites. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15779-7>
47. Micheli, D., Pastore, R., Vricella, A., Morles, R. B., Marchetti, M., Delfini, A., Moglie, F., Primiani, V. M. (2014). Electromagnetic characterization and shielding effectiveness of concrete composite reinforced with carbon nanotubes in the mobile phones frequency band. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2014.07.001>
48. Zhang, Y. F., Hao, W. J., Duan, Y. P., Liu, S. H. (2014). Electromagnetic wave absorption properties of cement filled with carbon black. *Applied Mechanics and Materials*, 496–500, 2431–2434. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.496-500.2431>
49. Sun, Y., Zhang, Y. F., Hao, W. J. (2014). Electromagnetic wave absorption cement based on composited absorbing agent. *Advanced Materials Research*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1035.520>
50. Guan, H., Liu, S., Duan, Y., Zhao, Y. (2007). Investigation of the electromagnetic characteristics of cement based composites filled with EPS. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.08.001>
51. Baoyi, L., Yuping, D., Yuefang, Z., Shunhua, L. (2011). Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with porous materials. *Materials and Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.12.017>
52. Xie, S., Ji, Z., Yang, Y., Hou, G., Wang, J. (2016). Electromagnetic wave absorption enhancement of carbon black/gypsum based composites filled with expanded perlite. *Composites Part B: Engineering*, 106, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.014>



53. Bantsis, G., Mavridou, S., Sikalidis, C., Betsiou, M., Oikonomou, N., Yioultsis, T. (2012). Comparison of low cost shielding-absorbing cement paste building materials in X-band frequency range using a variety of wastes. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.01.010>
54. Fan, Y. (2019). Development of electromagnetic interference materials from metallurgical wastes. In *Minerals, Metals and Materials Series*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10386-6\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10386-6_27)
55. Dai, Y., Wu, J., Wang, D., Li, R., Lu, C., Xu, Z. (2019). Electromagnetic Wave-Absorbing Properties of Steel Slag. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3831-7>
56. He, Y., Lu, L., Sun, K., Wang, F., Hu, S. (2018). Electromagnetic wave absorbing cement-based composite using Nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic fluid as absorber. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.004>
57. Lesbayev, A. B., Elouadi, B., Borbotko, T. V., Manakov, S. M., Smagulova, G. T., Boiprav, O. V., Prikhodko, N. G. (2017). Influence of magnetite nanoparticles on mechanical and shielding properties of concrete. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. <https://doi.org/10.18321/ectj666>
58. Wang, Dan, Yang, P., Hou, P., Zhang, L., Zhang, X., Zhou, Z., Xie, N., Huang, S. Cheng, X. (2017). Cement-based composites endowed with novel functions through controlling interface microstructure from Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.017>
59. Guan, B., Ding, D., Wang, L., Wu, J., Xiong, R. (2017). The electromagnetic wave absorbing properties of cement-based composites using natural magnetite powders as absorber. *Materials Research Express*. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa7025>
60. Khushnood, R. A., Ahmad, S., Restuccia, L., Spoto, C., Jagdale, P., Tulliani, J. M., Ferro, G. A. (2016). Carbonized nano/microparticles for enhanced mechanical properties and electromagnetic interference shielding of cementitious materials. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10(2), 209–213. <https://doi.org/10.1007/s11709-016-0330-5>
61. Lu, L., He, Y., Ping, B., Wang, F., Hu, S. (2017). TiO<sub>2</sub> containing electromagnetic wave absorbing aggregate and its application in concrete. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.153>
62. Ma, G., Sun, J., Wang, L., Aslani, F., Liu, M. (2018). Electromagnetic and microwave absorbing properties of cementitious composite for 3D printing containing waste copper solids. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.005>
63. Fan, Y., Zhang, B., Song, J., Volski, V., Vandenbosch, G. A. E., Guo, M. (2018). An Innovated Application of Reutilize Copper Smelter Slag for Cement-based Electromagnetic Interference Composites. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34680-5>



64. Lunak, M., Kusak, I., Chobola, Z. (2016). Carbon Admixtures Influence on the Electrical Properties of Slag Mortars Focusing on Alternating Conductivity and Permittivity. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.359>
65. Liu, S. T., Yan, K. K., Zhang, Y. H., Jin, S. Di, Ye, Y., Chen, X. G. (2015). Magnesiothermic reduction of rice husk ash for electromagnetic wave adsorption. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.06.074>
66. Jia, L. C., Li, Y. K., Yan, D. X. (2017). Flexible and efficient electromagnetic interference shielding materials from ground tire rubber. *Carbon*. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.05.100>
67. Bantsis, G., Sikalidis, C., Betsiou, M., Yioultsis, T., Xenos, T. (2011). Electromagnetic absorption, reflection and interference shielding in X-band frequency range of low cost ceramic building bricks and sandwich type ceramic tiles using mill scale waste as an admixture. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.06.010>
68. Bantsis, G., Betsiou, M., Bourliva, A., Yioultsis, T., Sikalidis, C. (2012). Synthesis of porous iron oxide ceramics using Greek wooden templates and mill scale waste for EMI applications. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.07.064>
69. He, Y., Li, G., Li, H., Lü, L., He, L. (2018). Ceramsite containing iron oxide and its use as functional aggregate in microwave absorbing cement-based materials. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*. <https://doi.org/10.1007/s11595-018-1797-9>
70. Zhang, Xiuzhi, Sun, W. (2010). Microwave absorbing properties of double-layer cementitious composites containing Mn-Zn ferrite. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.013>
71. Zhang, Y., Liu, S., Hao, W. (2018). Microwave absorption and mechanical properties of double-layer cement-based composites containing different replacement levels of fly ash. *Science and Engineering of Composite Materials*. <https://doi.org/10.1515/secm-2016-0325>
72. Pande, A., Gairola, P., Sambyal, P., Gairola, S. P., Kumar, V., Singh, K., Dhawan, S. K. (2017). Electromagnetic shielding behavior of polyaniline using Red Mud (industrial waste) as filler in the X – band (8.2–12.4 GHz) frequency range. *Materials Chemistry and Physics*, 189, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.12.045>
73. Gairola, S. P., Pande, A., Gairola, P., Sharma, S., Purohit, L. P., Dhawan, S. K. (2018a). Synthesis and electromagnetic shielding behaviour of poly(o-toluidine)/red mud composite. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(1), 560–564. <https://doi.org/10.1002/pat.4165>
74. Muhmood, L., Vitta, S., Venkateswaran, D. (2009). Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags. *Cement and Concrete Research*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.002>

75. Umadevi, T., Kumar, M. G. S., Mahapatra, P. C., Babu, T. M., Ranjan, M. (2009). Recycling of steel plant mill scale via iron ore pelletisation process. *Ironmaking and Steelmaking*. <https://doi.org/10.1179/174328108X393795>
76. Gündoğdu, N. (2013). Demir-çelik Tesislerinden Elde Edilen Tufalden Metalik Demirin Geri Kazanımı. <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/9184>
77. Durowaye, S. I., Sekunowo, O. I., Lawal, A. I., Ojo, O. E. (2017). Development and characterisation of iron millscale particle reinforced ceramic matrix composite. *Journal of Taibah University for Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.08.005>
78. Flesch, C., Bourgeat-Lami, E., Mornet, S., Duguet, E., Delaite, C., Dumas, P. (2005). Synthesis of colloidal superparamagnetic nanocomposites by grafting poly( $\epsilon$ -caprolactone) from the surface of organosilane-modified maghemite nanoparticles. *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 43(15), 3221–3231. <https://doi.org/10.1002/pola.20772>
79. Woo, K., Lee, H. J., Ahn, J. P., Park, Y. S. (2003). Sol-Gel Mediated Synthesis of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanorods. *Advanced Materials*, 15(20), 1761–1764. <https://doi.org/10.1002/adma.200305561>
80. Sun, J., Zhou, S., Hou, P., Yang, Y., Weng, J., Li, X., Li, M. (2007). Synthesis and characterization of biocompatible Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, 80(2), 333–341. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.30909>
81. Lu, A. H., Salabas, E. L., Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie - International Edition*, 46(8), 1222–1244. <https://doi.org/10.1002/anie.200602866>
82. Jing, Z., Wu, S. (2004). Synthesis and characterization of monodisperse hematite nanoparticles modified by surfactants via hydrothermal approach. *Materials Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2004.07.010>
83. Park, H. H., Kwon, J. H., Kwak, S. Il, Ahn, S. (2016). Electromagnetic shielding analysis of multiple slits on a metal plate coated with a ferrite sheet. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2016.2583788>
84. Liu, H., Wei, Y., Li, P., Zhang, Y., Sun, Y. (2007). Catalytic synthesis of nanosized hematite particles in solution. *Materials Chemistry and Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2006.10.001>
85. Yufanyi, D. M., Ondoh, A. M., Foba-Tendo, J., Mbadcam, K. J. (2015). Effect of Decomposition Temperature on the Crystallinity of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematite) Obtained from an Iron(III)-Hexamethylenetetramine Precursor. *American Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.5923/j.chemistry.20150501.01>
86. XU, J., Yao, Z., Yang, G., Han, Q. (2020). Research on crumb rubber concrete: From a multi-scale review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 232, p. 117282). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117282>

87. Mashaan, N. S., Ali, A. H., Karim, M. R., Abdelaziz, M. (2014). A review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. In The Scientific World Journal (Vol. 2014). <https://doi.org/10.1155/2014/214612>
88. Laska Ankara'da atık lastikleri elektriğe çevirecek. (n.d.). Retrieved November 28, 2020, from <https://www.enerjigunlugu.net/laska-ankarada-atik-lastikleri-elektrige-cevirecek-36035h.htm>
89. Gupta, T., Chaudhary, S., Sharma, R. K. (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.102>
90. Seydişehir Alüminyum Tesisi – Eti Alüminyum. (n.d.). Retrieved November 28, 2020, from <https://www.etialuminyum.com/tesisler/seydisehir-aluminyum-tesisi/#1507905319223-298fe454-9624>
91. Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. In Critical Reviews in Analytical Chemistry. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
92. Presle, M., Trias, D., Boileau, S. (2017). Methodology and Physicochemical Characterization Techniques Used for Failure Analysis in Laboratories. In Reliability of High-Power Mechatronic Systems 2: Aerospace and Automotive Applications Issues, Testing and Analysis. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-261-8.50007-3>
93. Ahmed, W., Jackson, M. J. (2014). Emerging nanotechnologies for manufacturing. In Emerging Nanotechnologies for Manufacturing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-28990-0.00018-X>
94. Ebnesajjad, S. (2014). Surface and Material Characterization Techniques. In Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-26435-8.00004-6>
95. Debney, G. C., Kerr, R. P., Schild, A. (1969). Solutions of the Einstein and Einstein-Maxwell equations. Journal of Mathematical Physics. <https://doi.org/10.1063/1.1664769>
96. Luukkonen, O., Maslovski, S. I., Tretyakov, S. A. (2011). A stepwise Nicolson-Ross-Weir-based material parameter extraction method. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2011.2175897>
97. Chung, D. D. L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. Journal of Materials Engineering and Performance. <https://doi.org/10.1361/105994900770346042>
98. Kong, I., Hj Ahmad, S., Hj Abdullah, M., Hui, D., Nazlim Yusoff, A., Puryanti, D. (2010). Magnetic and microwave absorbing properties of magnetitethermoplastic natural rubber nanocomposites. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2010.06.036>

99. Joseph, N., Sebastian, M. T. (2013). Electromagnetic interference shielding nature of PVDF-carbonyl iron composites. *Materials Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.09.014>
100. Kulkarni, G., Kandesar, P., Velhal, N., Phadtare, V., Jatrakar, A., Shinde, S. K., Kim, D. Y., Puri, V. (2019). Exceptional electromagnetic interference shielding and microwave absorption properties of room temperature synthesized polythiophene thin films with double negative characteristics (DNG) in the Ku-band region. *Chemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.114>
101. Bisht, K., Ramana, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 811–817. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.131>
102. Jafari, K., Toufigh, V. (2017). Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.097>
103. Djelloul, O. K., Menadi, B., Wardeh, G., Kenai, S. (2018). Performance of self-compacting concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregates and ground granulated blast-furnace slag. *Advances in Concrete Construction*, 6(2), 103–121. <https://doi.org/10.12989/acc.2018.6.2.103>
104. Saha, A. K. (2018). Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete. *Sustainable Environment Research*. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001>
105. Khan, M. I., Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.016>
106. Molaei Raisi, E., Vaseghi Amiri, J., Davoodi, M. R. (2018). Mechanical performance of self-compacting concrete incorporating rice husk ash. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.053>
107. Ribeiro, D., Labrincha, J., research, M. M.-M., 2011, undefined. (n.d.). Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement. *SciELO Brasil*. Retrieved November 28, 2020, from [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392011000100012&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392011000100012&script=sci_arttext)
108. Wang, Y., Jin, Z., Liu, S., Yang, L., Luo, S. (2013). Physical filling effect of aggregate micro fines in cement concrete. *Construction and Building Materials*, 41, 812–814. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.037>
109. Luo, S., Liu, M., Yang, L., Chang, J., Yang, W., Yan, X., Yu, H., Shen, Y. (2019). Utilization of waste from alumina industry to produce sustainable cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 229, 116795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116795>
110. Tang, W. C., Wang, Z., Liu, Y., Cui, H. Z. (2018). Influence of red mud on fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.171>

111. Gairola, S. P., Pande, A., Gairola, P., Sharma, S., Purohit, L. P., Dhawan, S. K. (2018). Synthesis and electromagnetic shielding behaviour of poly(o-toluidine)/red mud composite. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(1), 560–564. <https://doi.org/10.1002/pat.4165>
112. Ozturk, M., Akgol, O., Sevim, U. K., Karaaslan, M., Demirci, M., Unal, E. (2018). Experimental work on mechanical, electromagnetic and microwave shielding effectiveness properties of mortar containing electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 165, 58-63.
113. Ozturk, M., Depci, T., Bahceci, E., Karaaslan, M., Akgol, O., Sevim, U. K. (2020). Production of new electromagnetic wave shielder mortar using waste mill scales. *Construction and Building Materials*, 242, 118028.
114. Ozturk, M., Depci, T., Karaaslan, M., Sevim, U. K., Akgol, O., Hacıoglu, S. O. (2020). Synergetic effect of waste tire rubber and mil scale on electromagnetic wave attenuation properties of new generation mortar. *Journal of Building Engineering*, 30, 101249.
115. Ozturk, M., Karaaslan, M., Akgol, O., Sevim, U. K. (2020). Mechanical and electromagnetic performance of cement based composites containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash. *Cement and Concrete Research*, 136, 106177.

## EKLER

Bu tezden elde edilen sonuçlar SCI ve SCI-Expanded kapsamındaki uluslararası hakemli dergilerde “Experimental work on mechanical, electromagnetic and microwave shielding effectiveness properties of mortar containing electric arc furnace slag [112]”, “Production of new electromagnetic wave shielder mortar using waste mill scales [113]”, “Synergetic effect of waste tire rubber and mil scale on electromagnetic wave attenuation properties of new generation mortar [114]” ve “Mechanical and electromagnetic performance of cement based composites containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash [115]” başlıklı makaleler halinde yayınlanarak bilim dünyasına sunulmuştur.



Ozturk, M., Akgol, O., Sevim, U. K., Karaaslan, M., Demirci, M., Unal, E. (2018). Experimental work on mechanical, electromagnetic and microwave shielding effectiveness properties of mortar containing electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 165, 58-63.

Ozturk, M., Cansiz, O. F., Sevim, U. K., Bankir, M. B. (2018). MLR & ANN approaches for prediction of compressive strength of alkali activated EAFS. *Computers and Concrete*, 21(5), 559-567.

Ozturk, M., Bankir, M. B., Bolukbasi, O. S., Sevim, U. K. (2019). Alkali activation of electric arc furnace slag: Mechanical properties and micro analyzes. *Journal of Building Engineering*, 21, 97-105.

Ozturk, M., Sevim, U. K., Bankir, M. B., Bolukbasi, O. S. (2019). Investigation of mechanical and microstructural performance of alkali activated electrical arc furnace slag mortars. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 3(1), 55-59.

Sevim, U. K., Ozturk, M., Onturk, S., Bankir, M. B. (2019). Utilization of boron waste borogypsum in mortar. *Journal of Building Engineering*, 22, 496-503.

Akgol, O., Unal, E., Bağmancı, M., Karaaslan, M., Sevim, U. K., Öztürk, M., Bhadauria, A. (2019). A nondestructive method for determining fiber content and fiber ratio in concretes using a metamaterial sensor based on a V-shaped resonator. *Journal of Electronic Materials*, 48(4), 2469-2481.

Ozturk, M., Sevim, U. K., Akgol, O., Karaaslan, M., Unal, E. (2019). An electromagnetic non-destructive approach to determine dispersion and orientation of fiber reinforced concretes. *Measurement*, 138, 356-367.

Dalgaç, Ş., Karadağ, F., Ünal, E., Özkaner, V., Bakır, M., Akgöl, O., .. Sabah, C. (2020). Metamaterial sensor application concrete material reinforced with carbon steel fiber. *Modern Physics Letters B*, 34(10), 2050097.

Bankir, M. B., Ozturk, M., Sevim, U. K., Depci, T. (2020). Effect of n-CaCO<sub>3</sub> on fresh, hardened properties and acid resistance of granulated blast furnace slag added mortar. *Journal of Building Engineering*, 29, 101209.

Ozturk, M., Depci, T., Bahceci, E., Karaaslan, M., Akgol, O., Sevim, U. K. (2020). Production of new electromagnetic wave shielder mortar using waste mill scales. *Construction and Building Materials*, 242, 118028.

Ozturk, M., Depci, T., Karaaslan, M., Sevim, U. K., Akgol, O., Hacıoglu, S. O. (2020). Synergetic effect of waste tire rubber and mil scale on electromagnetic wave attenuation properties of new generation mortar. *Journal of Building Engineering*, 30, 101249.

Ozturk, M., Sevim, U. K., Akgol, O., Unal, E., Karaaslan, M. (2020). Investigation of the mechanic, electromagnetic characteristics and shielding effectiveness of concrete with boron ores and boron containing wastes. *Construction and Building Materials*, 252, 119058.

Ozturk, M., Karaaslan, M., Akgol, O., Sevim, U. K. (2020). Mechanical and electromagnetic performance of cement based composites containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash. *Cement and Concrete Research*, 136, 106177.

Sevim, U. K., Bilgic, H. H., Cansiz, O. F., Ozturk, M., Atis, C. D. (2021). Compressive strength prediction models for cementitious composites with fly ash using machine learning techniques. *Construction and Building Materials*, 121584.





## DİZİN

**A**

alüminyum ..... iv, 3, 5, 6, 38, 109  
 asfalt ..... 5, 30  
 atık . iv, xi, 3, 4, 5, 6, 9, 19, 20, 30,  
 38, 39, 41, 72, 73, 74, 77, 90,  
 103, 104, 108

**B**

beton ..... 5, 6, 21, 53, 55

**D**

demir-çelik ..... iv, 3, 5, 6, 108  
 dielektrik ... xii, xiii, 2, 8, 9, 10, 11,  
 13, 14, 17, 18, 60, 62, 68, 70,  
 77, 79, 80, 86, 105, 106, 109

**E**

EDX ..... x, 26, 27, 29, 68  
 elektrik ark fırını cürufu .... 4, 103  
 EMiv, v, viii, xi, xii, xiii, xvi, 1, 2, 3,  
 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,  
 16, 17, 18, 19, 20, 26, 42, 44,  
 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,  
 56, 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68,  
 69, 71, 72, 73, 77, 78, 80, 83,  
 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 93,  
 94, 103, 105, 106, 107, 108,  
 109  
 empedans ..... xvi, 86, 89

**F**

ferrit ..... 1  
 ferromanyetik ... 3, 26, 69, 71, 108

FTIR .xi, xvii, 9, 26, 27, 28, 45, 46

**G**

gradasyon eğrisi ..... xi, 21, 22  
 grafit ..... 2, 12, 18

**H**

harç .. xii, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 18,  
 21, 31, 32, 41, 44, 49, 53, 54,  
 56, 57, 62, 63, 64, 65, 67, 70,  
 71, 72, 73, 77, 78, 79, 81, 82,  
 83, 84, 85, 92, 93, 94, 103,  
 104, 105, 106, 107, 108, 109

**I**

IR 26, 27, 68

**İ**

iletim xii, xiii, 2, 11, 50, 51, 60, 61,  
 67, 68, 69, 70, 71, 72, 78, 79,  
 83, 84, 86, 88, 89, 90, 93, 105,  
 106, 107, 108  
 iletken ..... 2, 3, 11, 78, 80, 86

**K**

kalkanlama .... iv, 1, 2, 3, 8, 12, 13,  
 16, 17, 18, 26, 51, 52, 60, 63,  
 69, 71, 72, 77, 108  
 karbon .. iv, viii, x, xi, 2, 3, 6, 8, 11,  
 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21,  
 30, 39, 40, 41, 42, 44, 51, 86,  
 95, 103  
 karbon lif... iv, x, 3, 11, 13, 21, 39,  
 40, 41, 44, 51, 95, 103

kırmızı çamur . iv, vii, xi, xvii, 4, 5,  
 38, 39, 92, 107

**M**

manyetik ..... 2  
 manyetit iv, 15, 16, 17, 25, 26, 27,  
 65, 71, 103, 106

**N**

nikel .. iv, 3, 12, 21, 40, 41, 42, 56,  
 103  
 nikel kaplamalı karbon lif ..... 21

**P**

pirinç kabuğu külü ... vii, xi, xvii, 4,  
 36, 37, 38

**R**

radar ..... 3

**S**

SEM. xi, xii, xiii, xvii, 9, 12, 22, 23,  
 26, 27, 45, 46, 52, 57, 58, 59,  
 68, 73, 74, 75  
 silis dumanı . vii, xi, xvii, 4, 12, 35,  
 36, 44, 82  
 soğurma .. iv, 1, 2, 6, 9, 10, 11, 12,  
 14, 15, 16, 17, 18, 19, 46, 51,  
 52, 71, 84, 86, 88, 89, 90, 93,  
 106, 107

---

**T**

tekerlek lastiği ..iv, vii, xi, xvi, 3, 5,  
6, 15, 30, 31, 41, 72, 73, 74,  
77, 103, 108  
tufal .... iv, xi, xii, xiii, 4, 25, 26, 27,  
56, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72,  
73, 74, 77, 78, 79, 103, 104,  
108, 109

---

**U**

uucu kl... xi, xvii, 13, 35, 36, 82,  
86

---

**X**

X-bant .....xvii, 8, 15  
XRD...xi, xii, xiii, xvii, 8, 9, 16, 22,  
23, 24, 26, 27, 45, 58, 59, 60,  
65, 74, 76

XRF .....x, xvii, 9, 22, 24, 45

---

**Y**

yan rn..... 4, 6, 11, 36  
yansıma ...xii, xiii, xvi, xvii, 14, 49,  
51, 70, 85, 87, 88, 90, 94  
yüksek fırın cürufu .. xi, xiii, 4, 32,  
33, 41, 80, 81, 82, 85, 103





**TEKNOVERSITE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

