

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT YAPI MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ELEKTROMANYETİK EKLANLAMA ETKİNLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Mehmet ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2016

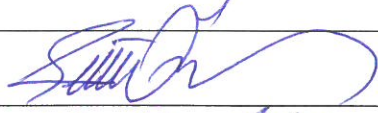

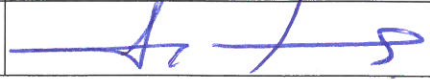
T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT YAPI MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ELEKTROMANYETİK EKLAN ETKİNLİĞİNİN
İNCELENMESİ

Mehmet ÇAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 14.06.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)	
Prof. Dr. Mustafa MERDAN	
Doç. Dr. Selçuk HELHEL	

ÖZET

İNŞAAT YAPI MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ELEKTROMANYETİK EKLANLAMA ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÇAKIR

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

14 Haziran 2016, 49 sayfa

Son yıllarda hızla gelişen teknolojiye bağlı olarak elektromanyetik dalgaların kullanımı günden güne artmaktadır. Bundan dolayı elektromanyetik dalgaların oluşturduğu elektromanyetik kirliliği, canlı üzerindeki etkileri ve bilgi güvenliği hakkında yapılan çalışmalar artmaktadır. Böylece inşaat yapı malzemelerin elektromanyetik dalgaları yutması ya da yansıtması önem çeken bir konu olmuştur. Bu çalışmada özellikle atık metal partiküllerin yapı malzemelerinde kullanılması ile oluşan yeni malzemelerin ekranlama etkinlikleri incelenmiştir. Bu amaçla kum yerine aynı hacim miktarların atık krom, çelik ve demir partikülleri kullanılarak 7 ayrı numune hazırlanmış ve ekranlama etkinlikleri ve dielektrik sabitleri değerlendirilmiştir. Yeni geliştirilen radar teknolojileri olsun yada gelişmekte olan GSM sektörü olsun çalışma alanları için 4.90-7.05 GHz aralığında araştırma ve geliştirme yapıldığı için ölçümler bu aralıkta yapılmıştır. Sonuç olarak %10 çelik partikülü içeren numune, %60 demir partikülü içeren numune den yaklaşık olarak 2 dB, hiçbir metal partikülü içermeyen numuneden ise 16 dB daha fazla yutma (soğurma) ekranlama etkinliği sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Dielektrik sabiti hesabı, Ekranlama etkinliği

JÜRİ: Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)

Prof. Dr. Mustafa MERDAN

Doç. Dr. Selçuk HELHEL

ABSTRACT

DETERMINATION OF ELECTRICAL PROPERTIES AND SHIELDING OF BUILDING MATERIALS

Mehmet ÇAKIR

MSc Thesis in Electric-Electronic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

14 June 2016, 49 pages

Using Electromagnetic waves are increasing day by day depends technology developing rapidly last years. Therefore the studies about the electromagnetic pollution, its on effects on organisms and information security created by electromagnetic waves have increased. Thus the electromagnetic wave absorption or reflection of building materials has been a major subject. In this study, the new materials consisting of waste metallic particles added building materials were investigated. For this purpose, 7 separate samples were prepared including waste steel, chrome or iron particles instead of the same amount of volume of sand and their shielding effectiveness and dielectric constants were evaluated. The measurements were done the range of 4.90-7.05 GHz due to the new radar and GSM technologies. As a result, the sample consists of 10% steel particles has shielding effectiveness more 2 dB than the sample consists of 60% iron particles and the sample consists of 10% steel particles has shielding effectiveness more 16 dB than the sample including any metal particles.

KEYWORDS: Dielectric constant calculation, shielding effectiveness

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Prof. Dr. Mustafa MERDAN

Assoc. Prof. Dr. Selçuk HELHEL

ÖNSÖZ

Bana bu konuda çalışma olanağı veren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Şükrü ÖZEN'e, bana her türlü yardımı ve desteği sağlayan Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e, Doç. Dr. N. Uğur KOÇKAL'a, arkadaşım Kayhan ATEŞ'e, değerli akademisyen dostum Ediz DELİHASANLAR'a, aileme ve sevgili eşim Ayşe ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Ayrıca, Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarlarının kullanılması nedeniyle EMUMAM Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Mehmet ÇAKIR

Antalya, Haziran 2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	3
2.1. Temel Kavramlar.....	3
2.2. Yakın Alan, Uzak Alan ve Düzlem Dalgalar	4
2.3. Deri Kalınlığı (δ)	4
2.4. Ekranlama Etkinliği.....	5
2.5. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri	7
2.6. Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate - SAR)	9
2.7. Yasal Düzenlemeler ve Sınır Değerler	9
2.8. Maddenin Dielektrik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	10
2.8.1 Dielektrik malzemeler	10
2.8.2 Dielektrik sabiti	11
2.9. Dielektrik Maddelerde Kutuplanma Çeşitleri	12
2.9.1 Elektronik kutuplanma	12
2.9.2 Atomik kutuplanma.....	12
2.9.3 İyonik kutuplanma.....	13
2.9.4 Gevşeme zamanı ve debye eşitliği	13
2.9.5 Cole-Cole denklemi.....	14
2.10. S-Parametreleri (Saçılma Parametreleri).....	15
2.11. Ölçüm Yöntemleri	16
2.11.1. İletim/Yansıma hat yöntemi	16
2.11.2. Ucu açık koaksiyel kablo yöntemi	17
2.11.3. Serbest uzay yöntemi	18
2.11.4. Rezonans yöntemi	19
2.12.ÇEVİRİM YÖNTEMLERİ	19
2.11.1.Nicholson-ross-weir çevrim yöntemi	20
2.11.2. Nist iterative çevrim yöntemi	21
2.11.3 New non-iterative çevrim yöntemi	21
2.11.4. Short circuit line (SCL) çevrim yöntemi	22
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Çalışmada İzlenilen Yol.....	23
3.2. Nicholson-ross-weir dönüşüm süreci	26
3.3. Matematiksel hesap	26

4. BULGULAR.....	29
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	48
6. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_{dB}	Soğrulma Ekranlama Etkinliği
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
c	Işık hızı
D	Elektrik Akı Yoğunluğu
dB	Desibel
E	Elektrik Alan
f	Frekans
H	Manyetik Alan
Hz	Hertz
J	Akım Yoğunluğu
kg	Kilogram
M_{dB}	Çoklu Yansıma Ekranlama Etkinliği
R_{dB}	Yansıma Ekranlama Etkinliği
S	Siemens
SE	Ekranlama Etkinliği
T	Periyot
t	Kalınlık
V	Hacim
V	Volt
W	Watt
χ_e	Elektriksel Alınganlık
ϵ	Dielektrik Sabiti
ω	Açısal Hız
ρ_{ev}	Elektrik Yük Yoğunluğu
ρ_{mv}	Manyetik Yük Yoğunluğu
δ	Deri Kalınlığı
μ	Manyetik Permeabilite
η	Ortam Empedansı
σ	İletkenlik Katsayısı
Γ	Yansıma Katsayısı
α	Zayıflama Sabiti
β	Faz Sabiti
γ	Yayıma Sabiti
λ	Dalga Boyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektromanyetik girişim bölgeleri	2
Şekil 2.1. Düzlem dalga için ekranlamanın aşamaları	5
Şekil 2.2. Frekansa bağlı dielektrik kutuplanma .eşitleri	13
Şekil 2.3. Dielektrik sabiti bileşenlerinin frekansa bağlı değişimleri	14
Şekil 2.4. Tek durulma zamanlı bir dielektrik için Cole-Cole diyagramı	15
Şekil 2.4. İki kapılı devre ve s-parametre elemanları	16
Şekil 2.5. İletim/yansıma hat ölçüm metodu	17
Şekil 2.6. Ucu açık koaksiyel kablo ölçüm metodu	18
Şekil 2.7. Free Space ölçüm metodu	19
Şekil 2.8. Resonant ölçüm metodu	19
2.12.3 New non-iterative çevrim yöntemi	21
Şekil 3.1. Numunelerde kullanılan malzemeler	23
Şekil 3.2. Numune hazırlanmasında kullanılan kalıp	23
Şekil 3.3. Numune ve numune tutacağı	23
Şekil 3.4. Ölçüm düzeneği	24
Şekil 3.5. İşlem süreci algoritması	25
Şekil 3.6. Nicholson-ross-weir dönüşüm algoritması	26
Şekil 4.1. Havaya ait dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi	29
Şekil 4.2. Referans numunesine ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği	29
Şekil 4.3. Referans numunesine ait ekranlamaya malzemenin yutma katkısı değerleri .	30
Şekil 4.4. Referans numunesine ait ekranlamaya malzemenin yansıtma katkısı değerleri	30
Şekil 4.6. Referans numunesine ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	31
Şekil 4.7. Referans numunesine ait iletkenlik değerinin frekansa göre değişim grafiği .	31
Şekil 4.8. %10 krom partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği	32
Şekil 4.9. %10 krom partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	32
Şekil 4.10. %10 krom partikülü içeren numunenin yansıma katkısı grafiği	33
Şekil 4.11. %10 krom partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	33
Şekil 4.12. %10 krom partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	33
Şekil 4.13. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği	34
Şekil 4.14. %10 çelik partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	34
Şekil 4.15. %10 çelik partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği	35
Şekil 4.16. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	35

Şekil 4.17. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	35
Şekil 4.18. %10 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği.....	36
Şekil 4.19. %10 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	36
Şekil 4.20. %10 demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği.....	37
Şekil 4.21. %10 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	37
Şekil 4.22. %10 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	38
Şekil 4.23. %30 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği.....	38
Şekil 4.24. %30 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	39
Şekil 4.25. 30%demir partikülü içeren numunenin yansıma katkısı grafiği.....	39
Şekil 4.26. %30 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	40
Şekil 4.27. %30 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	40
Şekil 4.28. %40 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği.....	41
Şekil 4.29. %40 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	41
Şekil 4.30. %40 demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği.....	42
Şekil 4.31. %40 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	42
Şekil 4.32. %40 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	43
Şekil 4.33. %60 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği.....	43
Şekil 4.34. %60 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği	44
Şekil 4.35. %60 demir partikülü içeren numunenin yansıma katkısı grafiği.....	44
Şekil 4.36. %60 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği	45
Şekil 4.37. %60 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği	45
Şekil 4.38. 4 ayrı numuneye ait yutma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği.....	46
Şekil 4.39. 4 ayrı numuneye ait yansıma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği.....	46
Şekil 4.40. 4 ayrı numuneye ait yansıma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği.....	47
Şekil 4.41. 4 ayrı numuneye ait yutma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği.....	48

Şekil 4.42. 4 ayrı numuneye ait yansıma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği	48
Şekil 4.43. 4 ayrı numuneye ait toplam ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği	49

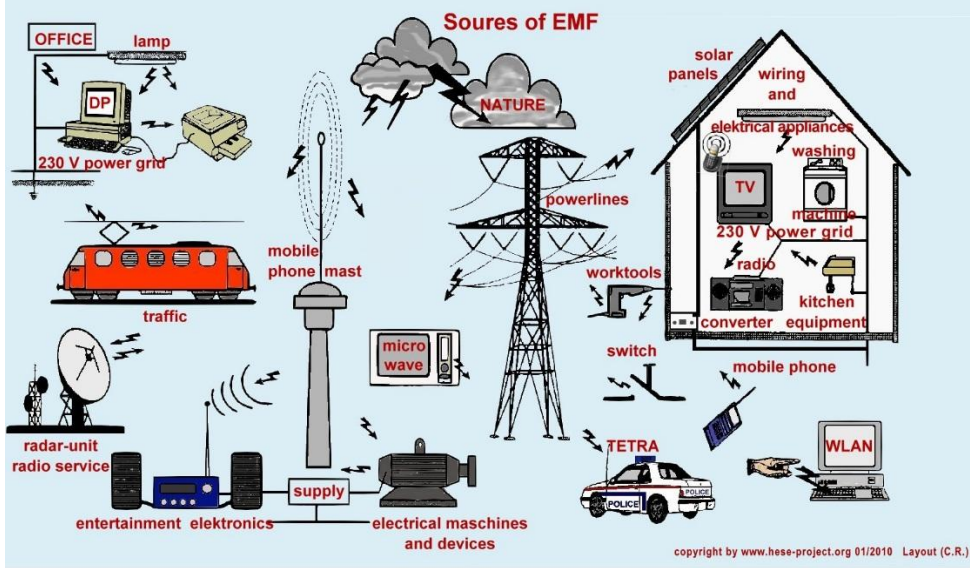
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Maxwell Eşitliklerinin Genelleştirilmiş İfadeleri	2
Çizelge 2.2. Türkiye'deki Maruziyet Limitleri	8
Çizelge 2.3. Bazı tipik yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri ve kayıp tanjantları	9
Çizelge 2.4. Çevrim yöntemleri	14

1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik ve haberleşme teknolojisindeki hızlı gelişmeye bağlı olarak, kişisel, endüstriyel ve ticari amaçlı, televizyon, radyo vericileri, bilgisayar, cep telefonu, baz istasyonları, mikro dalga fırınlar, endüstriyel ve tıbbi tanı için kullanılan cihazlar, kablosuz ev telefonları, kablosuz internet ve cep telefonu kullanımı tüm dünyada hızla artmaktadır. Şekil 1.1'de günlük hayatımızda içinde yaşadığımız elektromanyetik girişim bölgelerinin bir kısmı gösterilmektedir. Ayrıca endüstri, tıp ve telekomünikasyonda kullanılan uygulamalar aracılığıyla radyo frekanslı elektromanyetik alan seviyeleri de artmaktadır. Bundan dolayı elektromanyetik dalgaların insanlar üzerindeki biyolojik etkileri bir anda ilgi odağı haline gelmiştir (Cook 2002, Lahkola 2007, S. Özen). Buna paralel olarak mühendislik alanında elektromanyetik dalgaların kontrollü kullanımı konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmakta olup, özellikle elektromanyetik ekranlama esasına dayalı tekstil ve inşaat malzemeleri alanında yeni araştırmalar yürütülmektedir (ref). Metal malzemeler eklenerek, inşaat yapı malzemelerinin ekranlama etkinliğini artırmaya yönelik çalışmalar yoğunluk kazanmaktadır. Yansıma ekranlama etkinliğini arttırmak için yapı malzemelerine karbon ilave edilerek hazırlanan numuneler ile ilgili çalışmalar hız kazanmaktadır. Bir çalışmada 4.4 mm kalınlığında bir yapı malzemesine hacimsel olarak %30 karbon ekleyerek 200-1600 MHz frekans aralığında 10-40 dB ekranlama etkinliği sağlamışlardır Hongtao G., Shunhua, L., Yuping, D., ve Ji, C. (2006). Başka bir çalışmada ise 15 mm kalınlığında bir numuneye hacimsel olarak 0.92 oranında karbon eklenerek 1 GHz aralığında 22 dB ekranlama etkinliği sağlanmıştır (Cao and Chung 2003). Yapı malzemelerine carbondan başka değişik malzemeler ekleyerek yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Nikel kaplanmış mika (Jiang 2002), iletken kağıt (Shinagawa 1999), manyetik ahşap (Nagasawa 1999; Oka and Fujita 1999). Ayrıca bilgi güvenliği açısından istenilen durum gelen dalganın söğrulmasıdır çünkü yansıyan her dalga bir veriyi çalmayı ifade etmektedir. Ayrıca Dielektrik ölçümler, yiyecek bilimi, kimya, biyoloji, tıp, ilaç araştırmaları, nano teknoloji, askeri savunma, elektronik, malzeme bilimi, tarım ve daha birçok alanda incelenen malzemelerin yapısal özelliklerinin anlaşılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Maddelerin dielektrik özellikleri nem oranı, kimyasal yoğunluk, biyokütle, hacim yoğunluğu, kusurlar, kimyasal reaksiyonlar, mekanik gerilme gibi birçok fiziksel ve kimyasal özelliklerle yakından ilişkilidir. Özellikle maddelerin moleküler yapılarını belirlemede dielektrik ölçüm yöntemleri başarı ile kullanılmaktadır (Debye, 1945). Dielektrik maddelerin özellikleri, fizikçiler, kimyacılar, elektrik mühendisleri ve biyologlar gibi farklı dallardan bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Bu ilgiler farklı beklentilerde olmuştur: örneğin elektrik mühendisleri, dielektrik malzemenin değişen alan ve sıcaklık altında ne kadar enerji kaybına neden olduğuyla ilgili araştırma yaparlarken, kimyacılar elde edilen bu bilgilerle moleküllerin özellikleri ve yapıları üzerine temel araştırmalar yapabilmektedirler. Fizikçilerin ise bu maddelerdeki enerji kayıpları ve diğer ortaya çıkan gözlemlerin altında yatan fiziksel mekanizmaları açıklamakla ilgili çalışmalar yaptıklarını görüyoruz. Bu yararlılık zinciri daha da uzatılabilir. Bu nedenle ve daha birçok farklı amaçlar doğrultusunda dielektriklerin değişik özelliklerinin araştırılması ve ortaya çıkan deneysel verilerin analizlerinin yapılabilmesi ve yorumlanabilmesi için dielektrik kuramların geliştirilmesi zorunlu bir hal almıştır ve bu konu üzerindeki gerek deneysel gerek kuramsal çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. 4.9-7.05 GHz aralığında radar teknolojileri, GSM sektörü için önemli çalışmalar sürdürülmekte olduğu için bu frekans aralığında çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, yapı malzemelerinin ekranlama özellikleri araştırılmış olup, 4.9-7.05 GHz frekans aralığında farklı malzeme tiplerinin ekranlama karakteristikleri ve malzemelerin elektriksel özellikleri incelenmiştir.



Şekil 1.1. Elektromanyetik girişim bölgeleri

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Temel Kavramlar

Elektromanyetik dalga, Maxwell eşitlikleri ile açıklanabilir. James Clerk Maxwell'in formülize etmiş olduğu ve Maxwell eşitlikleri olarak bilinen bu eşitliklerin genelleştirilmiş ifadesi Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Burada birinci denklem; herhangi kapalı bir yüzeyden geçen elektrik akısı ile bu yüzey tarafından çevrelenmiş net yük arasındaki ilişkiyi ifade eder ve Gauss kanunu olarak bilinir. İkinci denklem ise; kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu belirten manyetik Gauss kanunudur. Üçüncü denklem ise; değişen bir manyetik alanın oluşturduğu elektrik alanı tanımlayan Faraday kanunu diye adlandırılır. Dördüncü denklem ise; değişen elektrik alanı ve elektrik akımları tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşumunu tanımlayan Amper devre kanunudur (Balanis 2012).

Elektromanyetik Alan teorisi James Clerk Maxwell tarafından dört temel nicelik ile $(\vec{E}, \vec{D}, \vec{B}, \vec{H})$ tanımlanmış ve Maxwell Denklemleri oluşmuştur. Bu dört denklem ile EM alan teorisi anlaşılır bir hale gelerek her türlü alan ve devre problemi çözümlerine gelmiştir (Arı ve Özen 2008, Balanis 2012, OSHA 1990).

Çizelge 2.1. Maxwell Eşitliklerinin Genelleştirilmiş İfadeleri

Diferansiyel Form	İntegral Form	Açıklama
$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int \rho_v dv$	Gauss Kanunu
$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	Manyetik alan için Gauss Kanunu
$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$	Faraday Kanunu
$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$	Ampere Devre Kanunu

Alan denklemlerindeki tüm bu niceliklerin zamanla değiştiği kabul edilmektedir. Niceliklerin tanımları ve birimleri ise aşağıdaki gibidir (Arı ve Özen 2008, Balanis 2012):

Bu eşitliklerde kullanılan elektrik akı yoğunluğu,

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{coulomb / m}^2) \quad (2.1)$$

Eşitliğinden elde edilir. Burada dielektrik sabiti (ϵ) ise;

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (F/m) \quad (2.2)$$

Burada $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} (F/m)$ dir, ϵ_r = Bağıl dielektrik sabitidir.

Manyetik akı yoğunluğu (B) ise;

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (\text{weber} / m^2) \quad (2.3)$$

Burada manyetik permeabilite (μ);

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (H/m) \quad (2.4)$$

Burada $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (H/m)$ dir, μ_r ise Bağıl permeabilitedir

Akım yoğunluğu (J) ise;

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (\text{amper} / m^2) \quad (2.5)$$

2.2. Yakın Alan, Uzak Alan ve Düzlem Dalgalar

Elektrik alanın (\vec{E}) manyetik alana (\vec{H}) oranına dalga empedansı denir ve η ile gösterilir. Uzak alan bölgesinde bu oran 377Ω dur.

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \frac{\vec{E}}{\vec{H}} = 120\pi = 377\Omega \quad (2.6)$$

Yakın alan bölgesinde kaynak yüksek akım, düşük gerilim karakterli ise yakın alan bölgesinde manyetik alan baskındır ve $\frac{\vec{E}}{\vec{H}} < 377\Omega$ ve bu bölgede kaynaktan uzaklaştıkça $H \sim 1/r^3$ ve $E \sim 1/r^2$ ile azalır. Kaynak yüksek gerilim, düşük akım karakterli ise yakın alan bölgesinde elektrik alan E baskındır ve $\frac{\vec{E}}{\vec{H}} > 377\Omega$ olur. Bu bölgede kaynaktan uzaklaştıkça $H \sim 1/r^2$ ve $E \sim 1/r^3$ ile azalır.

2.3. Deri Kalınlığı (δ):

Deri kalınlığı, kayıplı ortamda ilerleyen EM dalga için, genliğin başlangıçtaki değerinin %36,8'ine ($e^{-1}=0,368$) düştüğü mesafeye denir ve (δ) ile gösterilir. Deri kalınlığına aşağıdaki gibi ulaşılır:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad (2.7)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \sqrt{\pi f\mu\sigma} \quad (2.8)$$

(2.11) ve (2.12) 'deki formüllerden yararlanarak, deri kalınlığı:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}} \quad (2.9)$$

$$\omega = 2\pi f$$

μ = maddenin manyetik permeabilitesi

σ = maddenin iletkenliği

ε = maddenin dielektrik sabitini ifade eder.

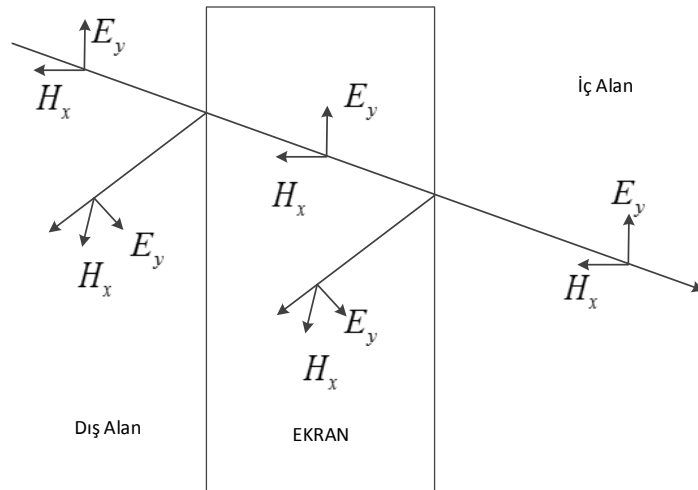
2.4 Ekranlama Etkinliği (SE)

Ekranlama Etkinliği, (SE, Shielding effectiveness), kaynak ile elektronik sistem arasında ekran yokken var olan alan şiddetinin, ekran varken oluşan alan şiddetine oranına denir. desibel (dB) olarak ifade edilir. Ekranlama etkinliği ne kadar yüksek olursa ekranlamanın da o kadar iyi olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Ekranlamada, elektromanyetik dalganın zayıflatılması üç aşamada gerçekleşir. Bunlar:

- Yansımaya (R_{dB})
- Soğrulma (yutma) (A_{dB})
- Çoklu yansımalar. (M_{dB})

Ekranlama Etkinliği (SE), bu üç aşamadaki ekranlama etkinliği değerlerinin toplanması ile elde edilir. (Schulz, 1988). Şekil 2.1'de düzlem dalga için ekranlamanın aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Düzlem dalga için ekranlamanın aşamaları

Düzlemsel ekranın elektrik alan ekranlama etkinliği (SE_E) ve manyetik alan ekranlama etkinliği (SE_M) dB cinsinden tanımlanır ve toplam ekranlama etkinliği (SE_{dB}) aşağıda verilmiştir.

Elektromanyetik dalga boşlukta ışık hızıyla yayılır. Yani ışık karakteristik bakımından bir elektromanyetik dalgadır. $\varepsilon = \varepsilon_0$ ve $\mu = \mu_0$ özel durumları için $\eta_0 = 377\Omega$ olduğunu ifade etmişir. Boşluk olmayan ortamlar için ortam empedansı

$$\eta = \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{\mu_r}} \quad (2.10)$$

Gelen dalga için

$$E_{is}(z) = E_{i0} \cdot e^{\gamma_1 z} \vec{ax} \quad (2.11)$$

$$H_{is}(z) = H_{i0} \cdot e^{\gamma_1 z} \vec{ay} = \frac{E_{i0}}{\eta_1} \cdot e^{-\gamma_1 z} \vec{ay} \quad (2.12)$$

Yansıyan dalga için

$$E_{re}(z) = E_{r0} \cdot e^{\gamma_1 z} \vec{ax} \quad (2.13)$$

$$H_{re}(z) = H_{r0} \cdot e^{\gamma_1 z} (-\vec{ay}) = -\frac{E_{r0}}{\eta_1} \cdot e^{\gamma_1 z} \vec{ay} \quad (2.14)$$

İletilen dalga için

$$E_{ts}(z) = E_{t0} \cdot e^{-\gamma_2 z} \vec{ax} \quad (2.15)$$

$$H_{ts}(z) = H_{t0} \cdot e^{-\gamma_2 z} (\vec{ay}) = \frac{E_{t0}}{\eta_2} \cdot e^{-\gamma_2 z} \vec{ay} \quad (2.16)$$

$$E_{r0} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} E_{i0} \quad (2.17)$$

$$E_{t0} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} E_{i0} \quad (2.18)$$

Buradan yansıma sabiti (Γ) ve iletim sabiti (τ)

$$\Gamma = \frac{E_{r0}}{E_{i0}} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.19)$$

$$\tau = \frac{E_{t0}}{E_{i0}} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.20)$$

Olarak bulunur.

Ekranlama etkinliği ise;

$$SE_E = 20 \log_{10} \left| \frac{\hat{E}^{inc}}{\hat{E}^{tran}} \right| \quad (2.21)$$

$$SE_M = 20 \log_{10} \left| \frac{\hat{H}^{inc}}{\hat{H}^{tran}} \right| \quad (2.22)$$

Bu ifadede, deri kalınlığı $t \gg \delta$ olan ekranlar için çoklu yansımaya kaybı M_{dB} ihmal edilebilir.

R_{dB} , M_{dB} ve A_{dB} , sırasıyla yansımaya kaybı, çoklu yansımalar ve soğurma kaybı olmak üzere aşağıda formülize edilmiştir.

$$R_{dB} = \left| \frac{(\eta_0 - \hat{\eta})^2}{4\eta_0 \hat{\eta}} \right| \quad (2.23)$$

$$M_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{\eta_0 - \hat{\eta}}{\eta_0 + \hat{\eta}} \right)^2 e^{-\frac{2t}{\delta}} e^{-j2\beta t} \right| \quad (2.24)$$

$$A_{dB} = 20 \log_{10} e^{\frac{t}{\delta}} \quad (2.25)$$

$$SE_{dB} = R_{dB} + M_{dB} + A_{dB} \quad (2.26)$$

$$SE_{dB} \approx \underbrace{20 \log_{10} \left| \frac{\eta_0}{4\eta} \right|}_{R_{dB}} + \underbrace{20 \log_{10} e^{t/\delta}}_{A_{dB}} + \underbrace{20 \log_{10} \left| 1 - e^{-2t/\delta} e^{-j2t/\delta} \right|}_{M_{dB}} \quad (2.27)$$

2.5. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri

Elektromanyetik alanlar duyu organları ile algılanamamakta, ancak ölçülerek değerlendirilebilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçları ise uluslararası ya da ulusların kendi belirledikleri insan sağlığına zarar vermeyeceği düşünülen sınır değerlere göre değerlendirilir. Sınır değerinin altındaki ölçümlerin insan sağlığına zarar vermeyeceği kabul edilmektedir. Oysa sınır değerler vücut sıcaklığını ortalama olarak 1°C arttıran elektromanyetik enerjinin zararlı ve 0,1°C artışın ise zararsız olduğu kabulünden yola

çıkılarak belirlenmektedir. Bu kabul radyo frekans radyasyonunun salt ısı etkisini değerlendirmekte ancak biyolojik, kimyasal, psikolojik ve genetik etkileri göz ardı etmektedir. Göz ardı edilen bu etkilere yönelik henüz bir standart oluşturulamamıştır (Çerezci vd 2012, Özen vd 2014).

Dünya Sağlık Örgütü, bağımsız ve kar amacı gütmeyen uzman kuruluşların araştırmalarını temel almaktadır. WHO, iyonlaştırmayan radyasyon konusunda ICNIRP'yi, kanser konusunda IARC Uluslararası Kanser Araştırmaları Kurumu'nu kabul etmektedir. İnsan vücudunda bedensel fonksiyonların hepsi 1-250 mikrovolt gerilimli elektrik uyarılarıyla devam eder. Bu kadar hassas çalışan bir sisteme dışarıdan etki eden elektromanyetik enerji bu sistem tarafından tolere edilemeyebilir ve sistemin dengesi bozulabilir (Özen vd 2014).

İnsan vücudunun elektromanyetik alanlarla etkileşimini belirleyen faktör, vücuttaki dokuların özellikleridir. İnsan dokuları su içeriği ve kimyasal yapılarına göre değişik elektromanyetik özellikler alır. Zamanla değişen elektromanyetik alanlara maruz kalma, vücuttaki dokularda enerji yutulmasına ve vücut içi akımların akmasına neden olur. Dokulardaki bu akım yoğunluğu (j), doku iletkenliği (σ) ve elektrik alana (E) bağlı olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$J = \sigma E, (A/m^2) \quad (2.28)$$

Dokuların bu özelliklerinden yararlanılarak, elektromanyetik alana maruz kalan bir vücudun birim kütle başına soğurduğu güç (SAR değeri) hesaplanabilir. Dokunun iletkenliği, dokularda ısı yutulmaya neden olan parametredir. Hacmi (V), iletkenliği σ (S/m) ve yoğunluğu ρ (kg/m^3) olan bir doku içerisindeki elektrik alan şiddeti E (V/m) ise, yutulan SAR değeri (W/kg) olarak şu eşitlikle verilir:

$$SAR = \iiint_v \frac{\sigma E^2}{\rho} dV, (W/kg) \quad (2.29)$$

Dokuların elektriksel özellikleri belirli bir frekansta doku direncine bağlıdır. Bundan dolayı dokuların elektriksel özellikleri insanlar arasında farklılık gösterir (Helhel ve Ozen 2007).

Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri kısa süreli hissedilen etkiler ve uzun zamanda hissedilen etkiler olarak ikiye ayrılır. Baş ağrıları, göz yanmaları, görüş alanında daralma, kulak çınlaması, yorgunluk, halsizlik, baş dönmeleri, gece uykusuzlukları gibi etkiler kısa süreliğine hissedilen etkiler olmakla birlikte; moleküler ve kimyasal bağlara, hücre yapısına ve bağışıklık sistemine etki eden etkiler uzun zamanda ortaya çıkabilen etkilerdir (Foster ve Schwan 1996, Demir 2004, Elhasoğlu 2006, Markov 1994).

Uluslararası Elektromanyetik Alanlar Güvenlik Komisyonu; göz ardı edilemez kanıtlara dikkat çekmekte, sınır değerler altında da sağlık etkileri olabileceğini, henüz

farkına varılmamış olmasına karşın elektromanyetik alanların acil ve potansiyel halk sağlığı sorunu olarak ele alınması gerektiğini bildirmektedir (Çerezci vd 2012).

2.6. Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate - SAR)

Elektromanyetik alanların, dokular içindeki iyonlara olan etkileri neticesinde onların hareketlerini arttırmaları neticesinde şiddetlerine bağlı olarak bir ısı enerjisi de ortaya çıkar. Bunun sonucunda da dokular içerisinde sıcaklık artışı görülür (Çerezci vd 2012).

Özgül Soğurma Oranı (SAR), elektromanyetik alana maruz kalındığında beden tarafından, vücudun birim doku kütlesi başına soğrulan enerji oranının bir ölçüsüdür. SAR birimi W/kg'dır ve,

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{2\rho}, \text{ (W/kg)} \quad (2.30)$$

formülü ile hesaplanır. Burada; E , doku üzerindeki elektrik alanının tepe genliği (V/m); σ , dokunun iletkenliği (S/m) ve ρ , dokunun (kg/m^3) cinsinden yoğunluğudur (El Dein ve Amr 2010).

İnsan vücudunda soğrulan enerji dağılımı homojen olmadığından ve EM ışınımın, etkilenme koşullarına bağlı olduğundan, ortalama SAR kesin sınır değildir. Tüm vücudun ortalama SAR değeri 0.4 (W/kg)'dan olmasına karşın soğrulan enerji sınırlı sayıdaki dokuda yığılabılır ve o dokudaki sıcaklık artışı yüksek olabilir (Düzgün 2009).

İnsan vücudunda herhangi bir dokunun kendi iç sıcaklığının 0.5°C den daha fazla artması, o dokunun tolere edemeyebileceği bir değer olarak kabul edilmiştir. Bu değeri temel alarak geliştirilen bir sınır değer, tüm vücut ortalama özgül soğurma değeri olarak kabul edilmiştir. 4 W/kg olarak verilen bu limitin 10 kat düşük değeri (0.4 W/kg), ihtiyat ilkesi ışığında Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), **Uluslararası İyonize Olmayan** Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) tarafından, insan vücudunun RF ve mikrodalga etkilerinin hissedilmeyeceği sınır termal etkilerin başladığı değer olarak kabul edilmiştir (Çerezci vd 2012).

2.7. Yasal Düzenlemeler ve Sınır Değerler

Avrupa ülkelerinde referans alınan maksimum değerler bazı ülkelerde daha fazla kısıtlama ile uygulanmaktadır. ICNIRP'nin halk için tavsiye limitleri Aşağıdaki çizelgede belirtilmiş olup, alan şiddeti ve güç yoğunluğu için verilen referans seviyeleri 6 dakikadan daha az maruziyet durumunda sınır değer olarak kabul edilmektedir. Çizelge 2.2'de Türkiye'deki Maruziyet Limitleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye'deki Maruziyet Limitleri

Frekans Bandı (MHz)	E-Elektrik alan Şiddeti (V/m)		H- Manyetik alan Şiddeti (A/m)		B- Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)		Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m^2)	
	Tek cihaz	Ortam	Tek cihaz	Ortam	Tek cihaz	Ortam	Tek cihaz	Ortam
0.01-0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
01.Eki	22/f1/2	87/f1/2	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	0.341 f1/2	0.375 f1/2	0.0009 f1/2	0.0037 f1/2	0.001 f1/2	0.0046 f1/2	f/3200	f/200
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

2.8. Maddenin Dielektrik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

2.8.1 Dielektrik malzemeler

Dielektrik kelimesi elektrik alanını ya da elektrik akısını geçiren fakat yüklü parçacıkların geçmesine izin vermeyen maddeler için kullanılmıştır. Bu, dielektriklerin, elektronlar da dahil herhangi bir yüklü parçacığın serbestçe hareketine izin vermediği anlamına gelir yani bu maddelerin yapısındaki elektronlar serbest halde değildirler, yalıtıktır. Diğer bir ifadeyle özdirençleri çok yüksektir, bu yüzden elektrik akımını iletmezler ya da çok az iletirler. İletkenlerde olduğu gibi elektrik akımını ileten gezici serbest elektronları yoktur. Uygulanan elektriksel alandan etkilenerek kutuplaşma özelliği taşırlar. Bu elektronik kutuplaşma tüm dielektrik malzemelerde görülür ve maddelerin uygulanan elektrik alanla etkileşimi sonucu kutuplaşması farklı farklıdır. Bu etkileşim dielektrik (yalıtkanlık) sabiti ile karakterize edilmiştir (Balanis 1989). Günümüz ileri teknoloji çağında, özellikle elektronikteki yönelim bazı dielektrik materyallerden yapılan katı malzemelerin kullanılması yönündedir. Katı dielektrik maddeler elektrik mühendisliği başta olmak üzere ilgili bilim dallarında diğer dielektriklere göre belki de en fazla kullanılanıdır. Katı dielektrikler dediğimiz porselen, cam, seramik ve çoğu plastiğin yanı sıra hava, nitrojen ve sülfür hexafluoride de kullanımına sıkça rastlanılan gaz fazdaki dielektriklerdir

2.8.2 Dielektrik sabiti

Yalıtkan bir maddenin elektriksel alandan nasıl etkilendiğinin ölçümüdür, yani ortamdaki birim yük başına ne kadar elektriksel alan oluştuğunu gösterir. Bir başka ifadeyle bir yalıtkanın elektriksel alana karşı kutuplaşma yoğunluğunun derecesini ölçer.

Ayrıca malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneği olan elektriksel alınganlığı (χ_e) ifade etmeye yarayan katsayıdır. ' ε ' simgesi ile gösterilir, birimi de Farad/metre (F/m)'dir (Taylor ve Thompson 2008).

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 = (1 + \chi_e) \varepsilon_0 \quad (2.31)$$

Vakum dielektrik sabiti ise boş uzayın sahip olduğu yalıtkanlık özelliğini ifade eder. Sayısal değeri ise aşağıda verilmiştir (Taylor ve Thompson 2008):

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0} \approx 8,8541878176... \times 10^{-12} \quad (F/m) \quad (2.32)$$

Burada ' c ' ışığın boşluktaki hızını ($299.792.458 \text{ ms}^{-1}$), μ_0 ise serbest uzayın manyetik geçirgenliğini ($4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$) ifade etmektedir (Taylor ve Thompson 2008).

Dielektrik sabiti genel olarak karmaşık sayı formatındadır. Karmaşık sayı formatında genel yazım şekli denklem (2.29)'de aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' + j\varepsilon_r'' \quad (2.33)$$

burada ε_r b serbest uzayın elektriksel geçirgenliğine göre yani bağıl olarak gösterilmiştir. Bağıl olmayan ifadesinin formatı da aynıdır ($\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''$). j değeri ise kompleks sayılarda kullanılan $\sqrt{-1}$ 'e karşılık gelmektedir.

Ayrıca bazı gösterimlerde ε_r' ifadesi kayıp tanjant ($\tan \delta$) ile birlikte verilmektedir. Kayıp tanjant dielektrik sabiti sanal kısmının reel kısmına $\frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$ oranıdır ve böylelikle ε_r'' bulunabilir (Balanis 1989). Aşağıdaki yer alan Çizelge 2.3'te çok bilinen bazı yalıtkan maddelere ait dielektrik sabiti değerleri paylaşılmıştır.

Çizelge 2.3. Bazı tipik yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri ve kayıp tanjantları

Materyal	Dielektrik katsayısı	Kayıp tanjant
Aliminyum	9.0	0.0006
Kan	58	0.27
Tereyağı (tuzlanmış)	4.6	0.1304
Tereyağı (tuzlanmamış)	2.9	0.1552
Mısır yağı	2.6	0.0077
Yumurta beyazı	35.0	0.5
Akciğer	32	0.3

Kas	49	0.33
Laylon	2.4	0.0083
Zeytin Yağı	2.46	0.0610
Kağıt	3-4	0.0125-0.0333
Teflon	2.1	0.0003
Odun	1.2-5	0.0040-0.4167

2.9. Dielektrik maddelerde kutuplanma çeşitleri

Kutuplanabilme kavramı, elektrik alan içine konulan maddenin moleküllerine ait elektrik dipol momentlerinin elektrik alanla aynı doğrultulu yönelmesini ifade etmektedir. Maddeyi oluşturan moleküller, dipol momentleri olsun ya da olmasın, bir elektrik alan içine konulduklarında böyle bir momente geçici olarak sahip olabilirler ve bunlar kısmen de olsa alanla paralel duruma geçerler.

2.9.1 Elektronik kutuplanma

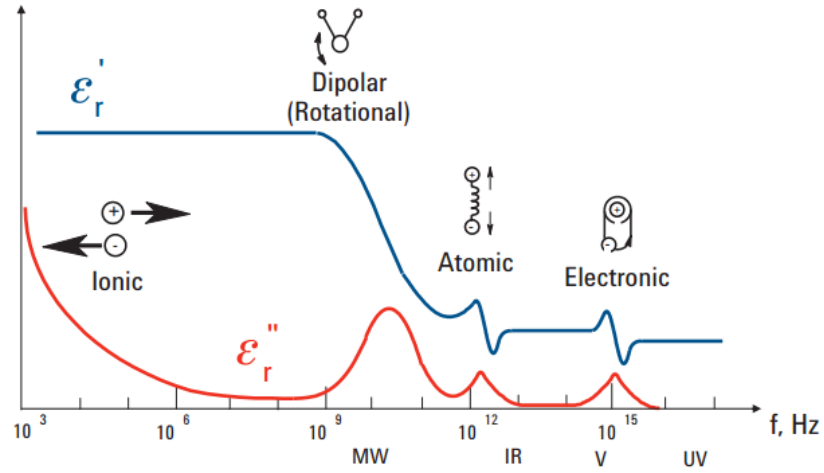
Bir dış elektrik alanın, atom ya da moleküllerin elektron bulutlarının temelde simetrik olanağımlarını bozması sonucu oluşur (Kao, 2004). Klasik açıdan bakıldığında bir atomun merkezi elektrik açıdan nötr nötronlar ve pozitif yüklü protonlardan oluşur. Elektronlar ise bu merkez etrafında kapalı yörüngelerde hareket ederler. Herhangi bir anda elektron ve çekirdek, negatif yükten pozitif yüke yönelen bir dipol moment meydana getirir.

2.9.2 Atomik kutuplanma

Elektronik boyutta yerdeğiştirmenin sonucu olarak ortaya çıkan elektronik kutuplanmanın aksine atomik kutuplanma çok atomlu bir molekülün bir dış elektrik alanı altında molekülü oluşturan atom merkezlerinin göreceli olarak birbirlerine göre çok küçük miktarlarda yer değiştirmesi neticesinde meydana gelir (Raju, 2003). Bu aslında normal örgü titreşimlerinin bozulması, yani bir kristal örgüdeki atomların hareketidir ve bu nedenle atomik kutuplanmaya titreşim kutuplanması da denir.

2.9.3 İyonik kutuplanma

İyonik bir örgü içinde pozitif iyonlar, uygulanan dış alan yönünde yer değiştirirken negatif iyonlar ise alanın zıt yönünde yer değiştirirler. Bu durumda tüm madde içinde açık bir kutuplanma meydana gelir. Şekil 2.2'de iyonik kutuplanma gösterilmiştir.

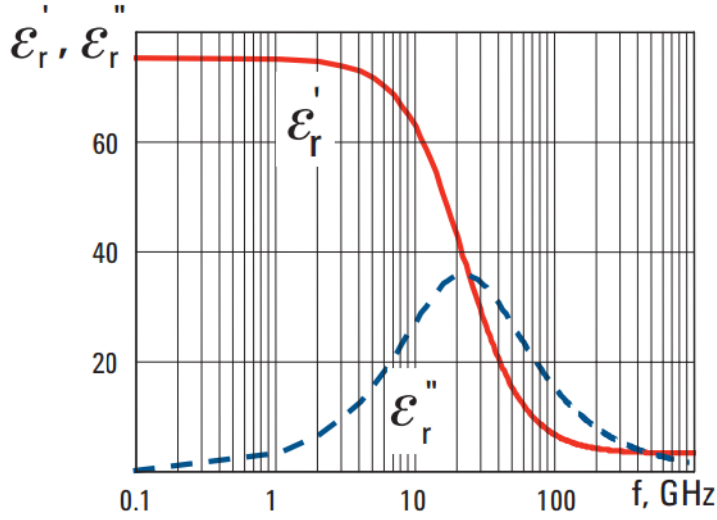


Şekil 2.2. Frekansa bağlı dielektrik kutuplanma .eşitleri

2.9. Gevşeme zamanı ve Debye eşitliği

Tek durulma zamanlı homojen sistemlerin kompleks dielektrik geçirgenlikleri Debye eşitliği ile tanımlanır. Bu tür maddeler aşırı bastırılmış harmonik osilatörler olarak ele alınır ve maksimum hareket frekansı sistemin zaman sabitini belirler [Debye, 1929].

Gevşeme zamanı (τ) materyal içerisindeki moleküllerin hareketliliğinin bir ölçüsüdür. Gevşeme zamanı, elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen süre olarak da tanımlanabilir. Gevşeme frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, gevşeme frekansından küçük olduğu zaman kutuplanma kolaylıkla oluşur ve elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar azdır. Frekans artarak gevşeme bölgesine ulaşıncaya, kutuplanma alana uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bu durumda kayıplarda maksimum olur. Frekans artmaya devam ederse, kutuplanma oluşmaz ve dielektrik sabiti hızla azalır. Kutuplanma oluşmadığı anda ise, dielektrik kayıp olmayacaktır. Şekil 2.3'te dielektrik sabiti bileşenlerinin frekansa bağlı değişimleri gösterilmiştir. Debye eşitliği olarak bilinen denklemler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.3. Dielektrik sabiti bileşenlerinin frekansa bağlı değişimleri

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (2.34)$$

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (2.35)$$

şeklinde. Bu eşitlik reel ve sanal kısımlarına ayrılırsa

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.36)$$

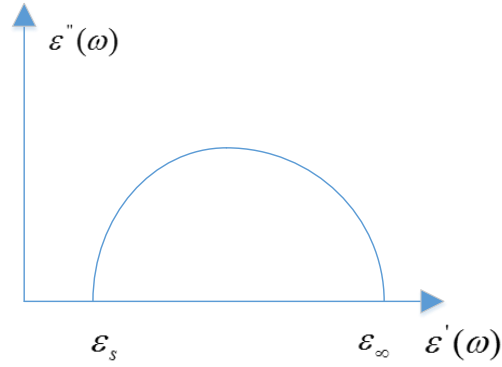
$$\varepsilon''(\omega) = (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty) \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.37)$$

2.10. Cole-Cole Denklemi

Bir dielektrik maddenin özelliklerini belirlemek için bazı ölçümler yapılır. Frekans ve sıcaklık gibi bazı değişkenlere karşı gerçekleştirilen bu dielektrik ölçümlerde maddenin belirleyici özelliklerinden olan geçirgenlik, dielektrik kayıplar gibi bazı nicelikler hakkında bilgi edilebilir. Bu niceliklerin frekansın logaritmik değerine karşılık çizilen grafikleri oldukça yararlı bilgiler sağlayabilir.

Ölçümlerde elde edilen sonuçlar kullanılarak pek çok grafik oluşturulabilir. Fakat aynı kartezyen koordinat sistemi üzerinde çizilen $\varepsilon'(\omega) - \varepsilon''(\omega)$ grafiği en kullanışlı yöntemlerden birisidir. Çünkü bu tür bir grafikten dielektiriğin enerjiyi depolama ve kaybetme oranları net olarak görülebilir. Bu çizime “argand diyagramı” denir ve ilk defa Cole-Cole tarafından gerçekleştirildiği için “Cole-Cole çizimi” olarak ta adlandırılır. Cole-Cole çizimi, bir sistemin tek bir durulma zamanına sahip olup olmadığının

bulunması için özel bir metot sağlar. Bu metot, dağılım fonksiyonunun farklı tiplerini karakterize etmek için de kullanışlıdır [Daniel ,1967]. Tek durulma zamanlı bir dielektrik için, Cole-Cole çizimi tam bir yarı dairedir ve argand diyagramı üzerinde aşağıdaki gibi gösterilebilir.



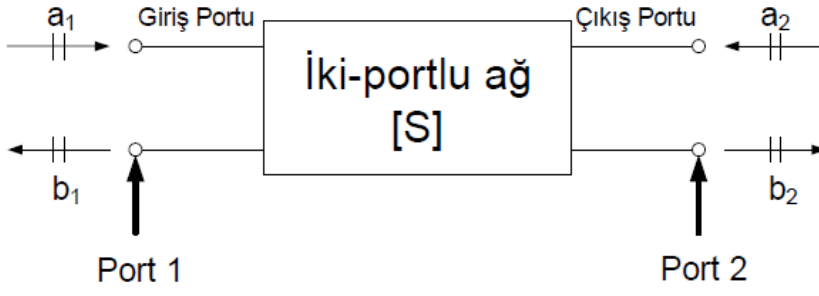
Şekil 2.4. Tek durulma zamanlı bir dielektrik için Cole-Cole diyagramı

Debye ilişkisini gösteren tek bir durulma frekansına sahip bir malzeme için, merkezi yatay $\epsilon'' = 0$ eksenine üzerinde olan ve kayıp faktörü pikinin ise $1/\tau$ 'da olduğu bir yarı-daire meydana gelir. Tek durulma zamanlı bir dielektrik için bu şekillenim $\epsilon'' = (\epsilon_s + \epsilon_\infty)/2$ 'de ϵ' eksenine üzerinde merkezi olan ve yarıçapı $\epsilon'' = (\epsilon_s - \epsilon_\infty)/2$ olan bir yarı daire şeklindedir. $\omega\tau = 1$ iken $\epsilon'' = (\epsilon_s - \epsilon_\infty)/2$ değerinde ϵ'' en yüksek değerini alır. Cole-Cole, Debye dielektrik ifadesini kompleks düzlemdeki yay şekli ile genelleştirmiş ve bunu durulma zamanı dağılımlarının belirli bir tipine uygulamıştır.

2.10. S-Parametreleri (Saçılma Parametreleri)

Saçılma terimi, bir düzlem elektromanyetik dalga engelle karşılaştığında veya farklı dielektrik ortamlar arasında geçiş yaptığında görülen etkiyi tanımlar. S parametreleri bağlamında ise saçılma, bir iletim hattında ilerlemekte olan akım ve gerilimin, hattın bir devreyle kesintiye uğraması sonucu karşılaştıkları süreksizlikten etkilenmesi olarak ifade edilir. Bu durum dalganın, hattın karakteristik empedansından farklı büyüklükte bir empedansla karşılaşmasına eşdeğerdir.

S-parametreleri bütün frekanslarda geçerli olsa da, daha çok sinyal güç ve enerjisinin, akım ve gerilimlerden daha kolay hesaplandığı, radyo frekansı (RF) ve mikrodalga frekanslarında çalışan devrelerde kullanılır. S-parametreleri frekansa bağlı değerlerdir. Bu sebeple verilen herhangi bir S-parametresi değeri için, karakteristik empedans ve sistem empedansının yanında, parametrenin ölçüldüğü frekans değeri de belirtilmelidir. Şekil 2.4'te İki kapılı devre ve s-parametre elemanları gösteren devre verilmiştir.



Şekil 2.4. İki kapılı devre ve s-parametre elemanları

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \quad (2.38)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \quad (2.39)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{V_2^-}{V_1^+} \quad (2.40)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \quad (2.41)$$

S11: Çıkış sonlandırma ile giriş yansımaya katsayısı

S12: Giriş sonlandırma ile ters iletim katsayısı

S21: Çıkış sonlandırma ile ileri iletim katsayısı

S22: Giriş sonlandırma çıkış yansımaya katsayısı

$$b_1 = S_{11}a_1 = S_{12}a_2 \quad (2.42)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 = S_{22}a_2 \quad (2.43)$$

Dielektrik ölçümü malzemelerin elektriksel ve manyetik özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Malzemelerin dielektrik özelliklerini ölçme yanında ölçülen S parametrelerinin de dielektrik özelliklere dönüşüm metotları da bulunmaktadır.

2.11. Ölçüm Metodları

2.11.1. İletim/Yansımaya Hat metodu

Bu metotta Vektör Network Analizörün problemleri arasına yerleştirilen malzeme için yansıyan sinyal (S_{11}) ve iletilen sinyal (S_{21}) değerleri ölçülür. Elde edilen S parametre değerlerinin dielektrik ve manyetik geçirgenlik değerlerine dönüşümü ise

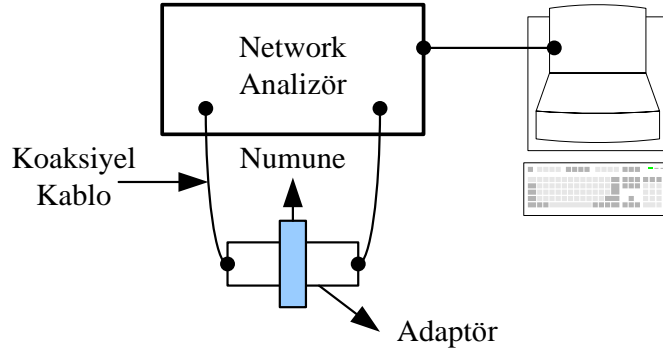
program üzerinde eşitliklerin yazılmasıyla sağlanır. İyi bir dielektrik ölçümü için maksimum Elektrik Alan istenir ki bu da açık devreyle ya da kapasitif terminallerle sağlanabilir. Vektör network analizör konektörlere bağlanır ve bir kabın içerisine yerleştirilen ölçümü yapılacak malzeme de konektörler arasına konur ve dielektrik ölçümler yapılır. Şekil 2.5'te bu ölçüm metodu gösterilmiştir.

Bu yöntemin avantajları:

- ✓ Bu yöntemle malzemenin hem dielektrik hem de manyetik geçirgenliği ölçülebilir.
- ✓ Koaksiyel hatlar ve dalga kılavuzları orta ve yüksek kayıplı örneklerde kullanılabilir.

Bu yöntemin dezavantajları:

- ✓ Ölçümün doğruluğu hava boşluğunun etkileri ile sınırlıdır.



Şekil 2.5. İletim/yansıma hat ölçüm metodu

2.11.2. Ucu açık koaksiyel kablo metodu

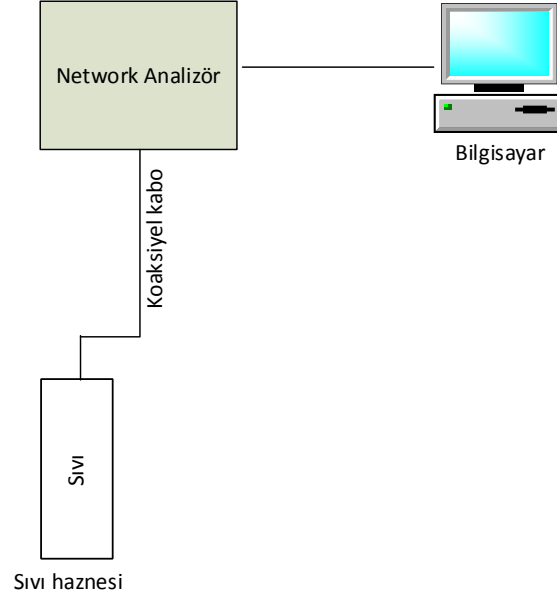
Bu metotta prob malzemenin karşısına yerleştirilir ya da sıvı içerisine konularak yansıma verimi vektör network analizörü ile hesaplanır. Burada ölçümün doğruluğu prob açıklığının fiziksel karakteristiklere olan duyarlılığı ile ilgilidir. Şekil 2.6'da ucu açık koaksiyel kablo metodu gösterilmiştir.

Bu yöntemin avantajları:

- ✓ Hazırlaması kolay ve yeni bir imalata gerek yoktur.
- ✓ Ayarlamalar yapıldıktan sonra aralıklarla ölçüm yapıldığı takdirde kısa zaman içerisinde çok fazla örnek sonuç elde edilebilir.
- ✓ Ölçümler normal doğa ortamlarında yapılabilir.

Bu yöntemin dezavantajları:

- ✓ Sadece yansıma ölçümleri yapılabilir.
- ✓ Numune üzerinde ölçüm yapılırken hava şartlarından etkilenme olasılığı vardır.



Şekil 2.6. Ucu açık koaksiyel kablo ölçüm metodu

2.11.3. Serbest Uzay Methodu

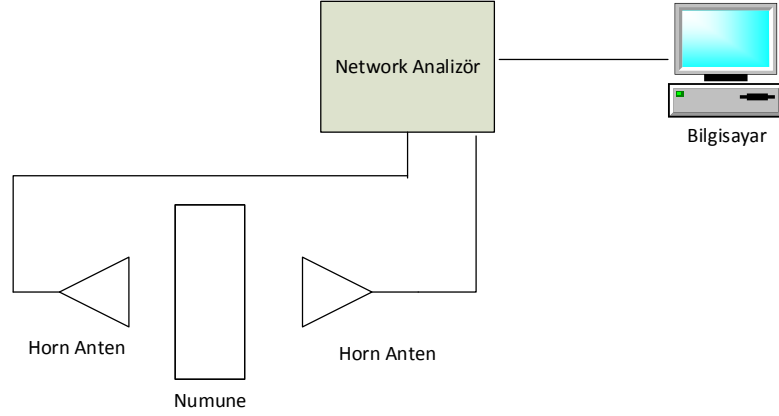
Serbest uzay metodu malzemenin özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda veya uygunsuz doğa koşullarında ölçülmesine olanak sağlar ve genellikle geniş band frekanslar için kullanılır. Malzemenin geniş ve büyük olması gerekir. Genellikle iki anten karşı karşıya yerleştirilir ve bu antenler de vektör network analizöre bağlanır. Şekil 2.7’de bu ölçüm metodu gösterilmiştir.

Bu yöntemin avantajları:

- ✓ Yüksek frekanstaki ölçümler için kullanılabilir.
- ✓ Malzemeyi tahrip edici etkisi yoktur.
- ✓ Uygun olmayan doğa şartlarında da ölçüm olanağı sağlar.
- ✓ Manyetik ve elektriksel özellikler ölçülebilir.

Bu yöntemin dezavantajları:

- ✓ Uzun ve geniş malzeme olması gerekir
- ✓ Malzeme ile antenler arasında çoklu yansıma meydana gelir.
- ✓ Malzeme kenarlarından dışarıya dalgalar yayılır.



Şekil 2.7. Free Space ölçüm metodu

2.11.4. Rezonans Methodu

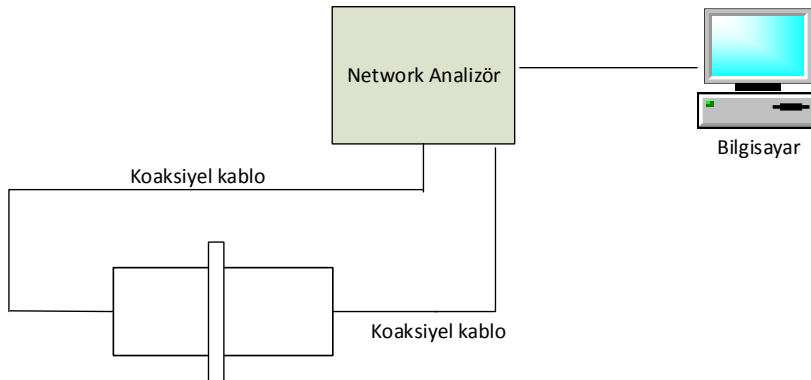
Rezonant metodu dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenliği saptamak için en kesin yöntemdir. Bu ölçümlerin yanında malzemelerin kayıp karakteristikleri de ölçülebilir. Rezonant metodunun bir çok çeşidi bulunmaktadır. Ancak en çok kullanılanları Perturbation methods olarak bilinen çeşitleridir. Bu metodlar tüm dielektrik ölçümleri, manyetik malzemeler ve orta ve çok kayıplı malzemelerin özelliklerinin ölçümünde kullanılır. Şekil. 2.8’de rezonant ölçüm metodu gösterilmiştir.

Bu sistemin avantajları:

- ✓ Çok küçük malzemelerin ölçümünde kullanılabilir.
- ✓ Malzemedeki alanlar ve boşluk için yaklaşık değerler çıkarılır.

Bu sistemin dezavantajları:

- ✓ Yüksek frekansta kullanılacak vektör network analizörün bulunması gerekir
- ✓ Dar band frekanslar içinde sınırlıdır.



Şekil 2.8. Rezonant ölçüm metodu

2.12.Çevrim Yöntemleri

S-parametrelerinden dielektrik sabiti ve manyetik alan sabitini bulmak için birçok yaklaşım mevcuttur. Çizelge 2.4.'te bu yaklaşımlardan 4 tanesi bulunmaktadır. Her çevrim metodu avantaj ve dezavantaja sahiptir. Her metot S-parametreleri, numune kalınlığı gibi değişik faktörlere bağlı kalmaktadır

Çizelge 2.4. Çevrim yöntemleri

Çevrim Tekniği	S Parametreleri	Dielektrik Özellikleri
Nicholson-Ross-Weir	S11, S12, S21, S22 ya da S11, S21	ϵ_r ve μ_r
NIST Iterative	S11, S12, S21, S22 ya da S11, S21	ϵ_r ve $\mu_r = 1$
New Non-iterative	S11, S12, S21, S22 ya da S11, S21	ϵ_r ve $\mu_r = 1$
Short Circuit Line	S11	ϵ_r

2.12.1.Nicholson-ross-weir çevrim yöntemi

Bu yöntem, s-parametrelerden elektrik alan sabiti ve manyetik alan sabitini doğrudan bir hesaplama sağlar. Test edilen malzemenin s-parametreleri bir çift (S11, S21) gereklidir.

Bu metodun avantajları:

- ✓ Hızlıdır.
- ✓ Tekrarlamasızdır.
- ✓ Dalga Klavuzları ve koaksiyel kablolar için kullanılabilir.

Bu metodun dezavantajları:

- ✓ Kısa numuneler kullanılmalıdır.
- ✓ Düşük kayıplı materyaller için uygun değildir.
- ✓ Yarım dalga boyu birçok karşılık gelen frekanslarda farklılık gösterir.

2.12.2. Nist iterative çevrim yöntemi

NIST iterative metodu hesaplamaları Newton-Raphson kök bulma metodu kullanarak yapar ve sadece dielektrik sabit hesabı için uygundur. Yansıma ve iletim katsayılarını hesaplamak için test altındaki numunenin s-parametrelerinin bütün dördünü (S11, S21, S12, S22) veya bir çiftini (S11, S21) kullanır. Eğer iyi bir başlangıç değeri varsa bu metod iyi bir şekilde çalışır. Örnek kalınlığı yarım dalga boyunun ($n\lambda/2$) tamsayı katı olduğunda NRW metoda bulunan hatalı noktaları yok eder. Uzun örnekleme ve düşük kayıplı malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmak için uygundur.

Bu metodun avantajları:

- ✓ Düzgün dielektrik katsayısı sonuçları
- ✓ Doğruluk
- ✓ Numunelerin istenilen uzunlukta kullanılabilme
- ✓ Düşük kayıp ve yüksek kayıp malzemeler için sağlamlık.

Bu metodun dezavantajları:

- ✓ Sadece dielektrik sabiti için uygulanabilme
- ✓ Dielektrik sabiti için başlangıç tahmini gerektirme

2.12.3 New non-iterative çevrim yöntemi

New non-iterative metodu bir farklı formül dışında NRW metoduna oldukça benzer ve geçirgenliğin yani $\mu_r = 1$ durumu için dielektrik sabiti hesaplanması için uygundur. Yansıma ve iletim katsayılarını hesaplamak için test altındaki numunenin s-parametrelerinin bütün dördünü (S11, S21, S12, S22) veya ikisini (S11, S21) kullanır. Bu metodun keyfi bir örnek uzunluğu için bütün frekans aralıklarında kararlı olması gibi bir avantajı vardır. Bu metodun temeli NRW metodun basitleştirilmiş bir versiyonuna dayanır ve örnekteki yarım dalga boyunun tam katıyla ilgili olan frekanslarda hiç ıraksama görülmez. Dielektrik sabiti için bir başlangıç değerine ihtiyaç duymaz ve hesaplamayı çok hızlı bir şekilde yapabilir. Doğruluk dereceleri tekrarlayan metodla karşılaştırılabilir. Bu metod NRW metodtan kısmen farklı formüller kullanır.

Bu metodun avantajları:

- ✓ Düzgün dielektrik katsayısı sonuçları ve hiçbir sapma olmaması.
- ✓ Doğruluğun yüksek olması
- ✓ Numunelerin istenilen uzunlukta kullanılabilme
- ✓ Hızlı sonu. verebilme
- ✓ Tekrarlama olmaması
- ✓ Başlangıç tahmini gerektirmemesi

Bu metodun dezavantajları:

- ✓ Sadece dielektrik sabiti için uygulanabilme

2.12.4. Short circuit line (SCL) çevrim yöntemi

Bu yöntem koaksiyel hatlar veya dalga kılavuzlarının üzerinde bir bağlantı noktası ölçüsüdür. Bu yöntem tekrarlamalı NIST ile aynı Newton-Raphson kullanıcısının sayısal yaklaşımı kullanarak hesaplama yapar ve sadece hesaplama dielektrik sabiti için uygundur. Bu yansıma katsayısı hesaplamak için numunenin yalnızca S_{11} parametresi kullanır. Yöntem doğru bir sonuç elde etmek için iyi bir başlangıç tahmini gerektirir. Bu yöntem ayrıca, doğru ölçümleri için numune uzunluğu ve pozisyon bilgisini gerektirmektedir.

Bu metodun avantajları:

- ✓ Düzgün dielektrik katsayısı sonuçları ve hiçbir sapma olmaması.
- ✓ Doğruluk
- ✓ Numunelerin istenilen uzunlukta kullanılabilme
- ✓ Genişbant ölçümü için tercih düşük kayıplı uzun örnekleri kullanmak

Bu metodun dezavantajları:

- ✓ İlk tahmin gerekir
- ✓ Doğru örnek uzunluğu ihtiyacınız var
- ✓ Tekrarlı olması

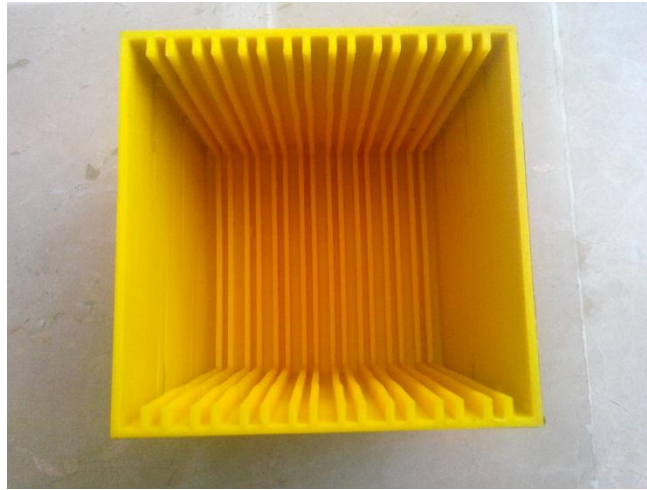
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışmada İzlenilen Yol

Numuneler Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında hazırlanmış olup sırasıyla hacimsel olarak kum yerine referans numunesine %10, %30, %40, %60 oranlarında demir, %10 oranında da krom ve çelik partikülleri ayrı ayrı karıştırılarak 7 ayrı numune hazırlanmıştır. Şekil 3.1.'de numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemelerden kum, çimento, demir partikülleri, çelik partikülleri ve krom partikülleri gösterilmiştir. Şekil 3.2.'de hazırlanan karışımın istenilen şekli ve kalınlığı alması için hazırlanan 10x10x7.6 mm ölçülerinde kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerde kullanılan malzemeler



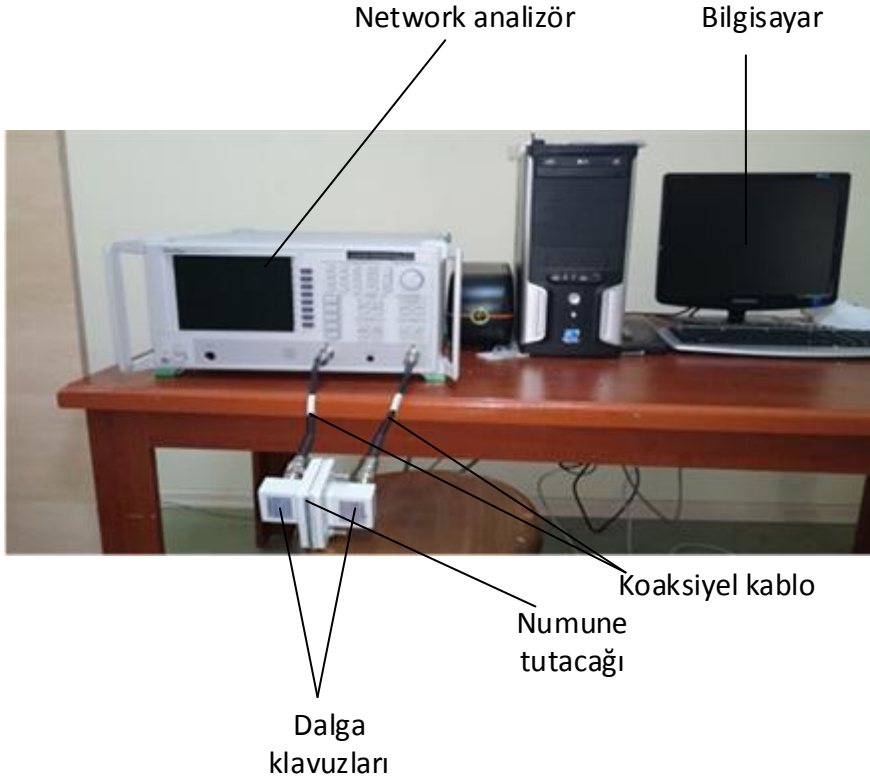
Şekil 3.2. Numune hazırlanmasında kullanılan kalıp

Hazırlanan numuneler kullanılan adaptör (WR-159) ölçülerine uygun olarak kesilmiştir. Kesilen numunelerden biri ve numune tutacağı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Numune ölçüleri 40,386x20,193x7.6 mm olarak kesilmiştir. Numune tutacağının iç boşluğunun ölçüleri ise 40,386x20,193 mm'dir

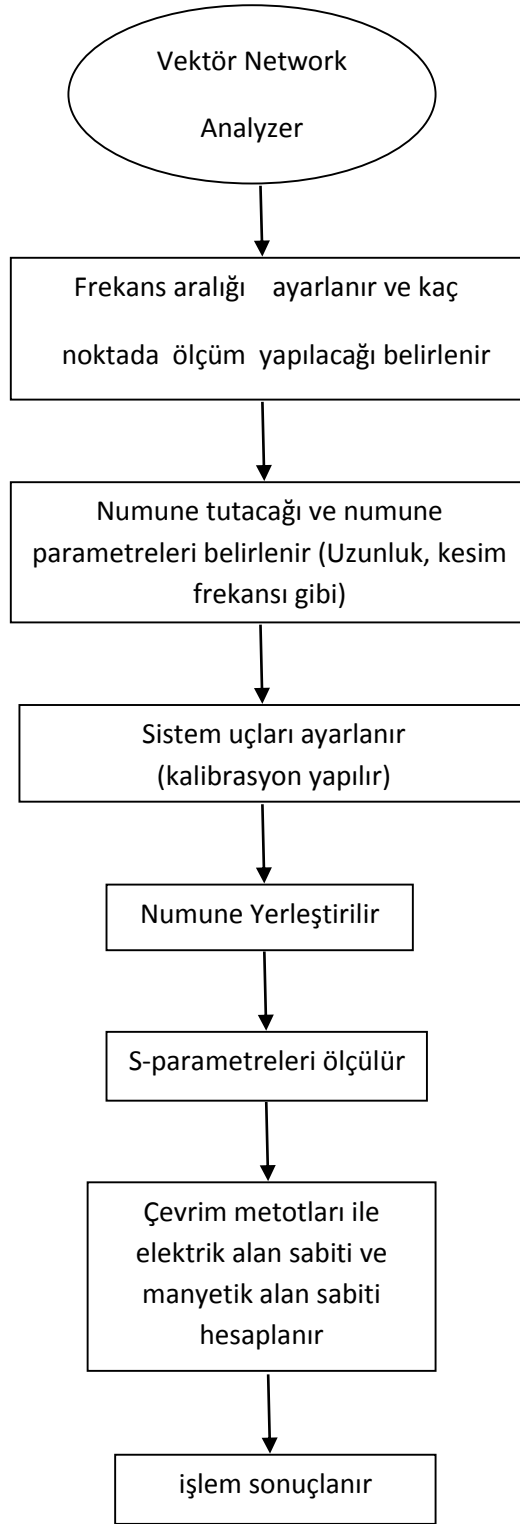


Şekil 3.3. Numune ve numune tutacağı

Numuneler numune tutucuya yerleştirildikten sonra dalga klavuzlarına dalga klavuzları da koaksiyel kablolarla network analizöre bağlanmıştır. İletim yansıma metoduna göre ölçümler yapılmıştır. Ölçümler 4.95-7.05 GHz aralığında 401 noktada yaklaşık 5 MHz adım aralıklarıyla ölçüm yapılmıştır. Elde edilen S11 ve S21 değerleri Nicholson-Ross-Weir çevrim yöntemiyle dielektrik sabiti hesaplanmıştır. Yapılan ölçüm modeli Şekil 3.4'te gösterilmiştir. İzlenen yol basamakları Şekil 3.5'te sunulmuştur. Şekil 3.7.'de Nicholson-ross-weir dönüşümün matlab kodu sunulmuştur.



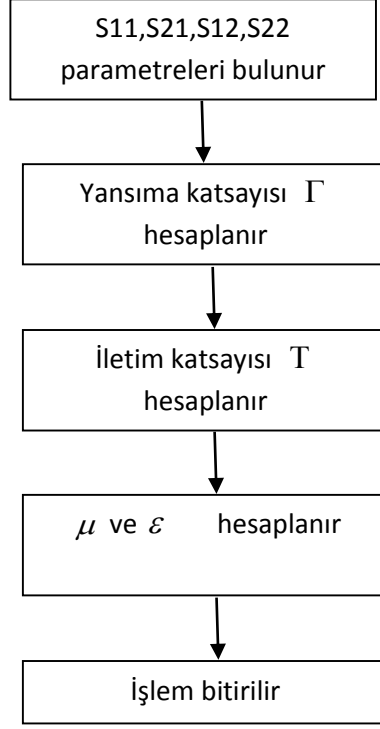
Şekil 3.4. Ölçüm düzeneği



Şekil 3.5. İşlem süreci algoritması

3.2. Nicholson-ross-weir dönüşüm süreci

Nicholson-ross-weir dönüşüm süreci adımları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Nicholson-ross-weir dönüşüm algoritması

3.3. Matematiksel hesap

NRW yöntemi işlemi ile aşağıdaki denklemler çıkarılabilir:

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1 - T^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.1)$$

$$S_{21} = \frac{T(1 - \Gamma^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.2)$$

Yansıma katsayısı aşağıdaki gibi çıkarılabilir:

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.3)$$

s-parametrelerinden doğru kök bulmak için $|\Gamma_1| < 1$ gereklidir.

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (3.4)$$

İletim katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3.5)$$

$$\gamma = j \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\varepsilon_r \mu_r^* - \frac{\lambda_0}{\lambda_c}} \quad (3.6)$$

$$\frac{1}{\Lambda} = j \left(\frac{\gamma}{2\pi} \right) \quad (3.7)$$

Manyetik alan katsayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (3.8)$$

λ_0 serbest uzayda dalgaboyu ve λ_c kesim frekansı dalga boyu ve

$$\frac{1}{\Lambda^2} = \left(\frac{\varepsilon_r \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right)^2 \quad (3.9)$$

Eletrik alan katsayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\varepsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right) \quad (3.10)$$

```

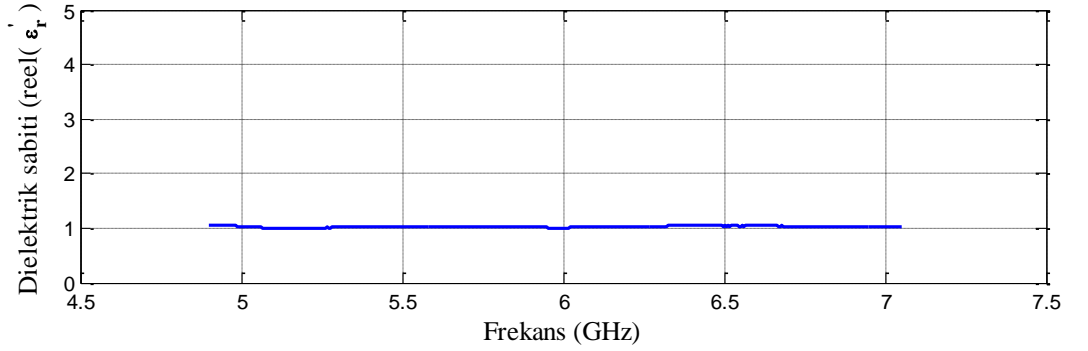
s11=input('s11 degerini giriniz=');
s21=input('s21 degerini giriniz=');
lamda0=input('lamda0 degerini giriniz=');
lamdaC=input('lamdaC degerini giriniz=');
L=input('L degerini giriniz=');
X=xpara(s11,s21);
R1=ro1(X);
R2=ro2(X);
if abs(R1)<1
    R=R1;
else
    R=R2;
end
T=(s11+s21-R)/(1-(s11+s21)*R);
a=-i*(1/(2*pi*L)*(log(1/T)));
lamda=1/a;
muR=(1+R1)*a/((1-R)*sqrt((1/lamda0^2)-(1/lamdaC^2)))
E=(lamda0^2/muR)*((1/lamdaC^2)-((1/(2*pi*L)*(log(1/T))))^2)

```

Şekil 3.7. Nicholson-ross-weir dönüşümün matlab kodu

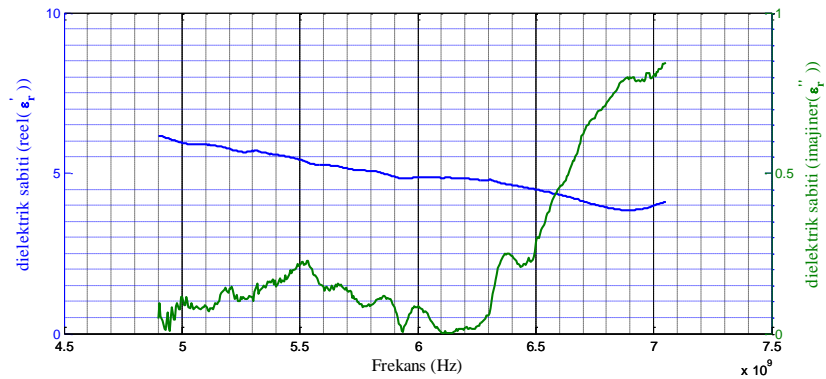
4. BULGULAR

Malzeme içerisine farklı oranlarda krom, çelik ve demir partikülleri karıştırılarak hazırlanan numunelerin dielektrik parametreleri ve ekranlama etkinliklerini belirlemek için iletim yansıma metoduna göre ölçümleri Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) yapılmıştır. Frekans aralığı 10MHz ile 9 GHz olan Anritsu MS4624B markalı network analizör, 2 adet WR159 adaptör ve koaksiyel kablo kullanılmıştır. Adaptör ölçülerine uygun numune tutucu tasarlanmıştır. Cihazın kalibrasyonu yapıldıktan sonra referans olarak havanın dielektrik sabiti ölçülmüş olup Şekil 4.1'de sunulmuştur. Ölçüm sonuçlarında havanın dielektrik sabitinin yaklaşık bir olarak bulunması yapılan kalibrasyon için referans gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hava için dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi

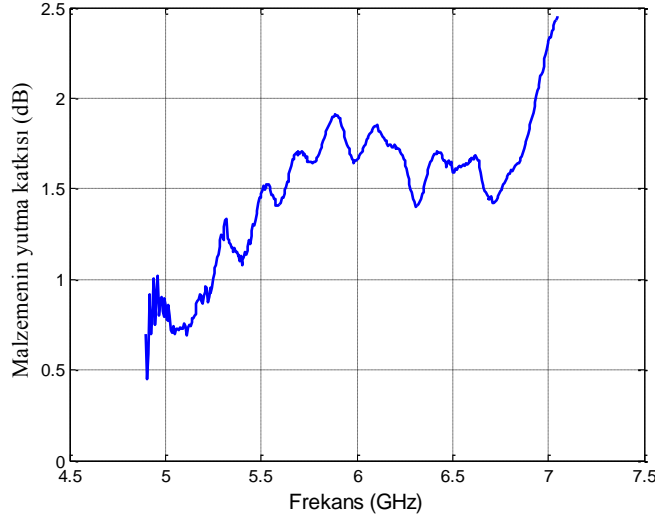
Şekil 4.2'de referans numunesine ait dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekansa bağlı değişim grafiği sunulmuştur. İçinde hiçbir metal partikül barındırmayan referans numunesi frekansa bağlı olarak dielektrik sabiti 5.5 değerinden 4.5 değerine düştüğü görülmektedir. Referans numunesine ait dielektrik sabitinin real bileşeni 6-4 değerlerin arasında frekansa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Yapılan daha önceki çalışmalarda da kuru betona ait dielektrik sabitinin 2.4 GHz noktasında yaklaşık olarak 5 olduğu bilinmektedir. Dielektrik sabitinin sanal bileşeni 6.3 GHz noktasından sonra ortalamasının çok üstünde arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ise 6.3 GHz noktasından sonra materyal içinde depolanan enerjinin artması gösterilebilir.



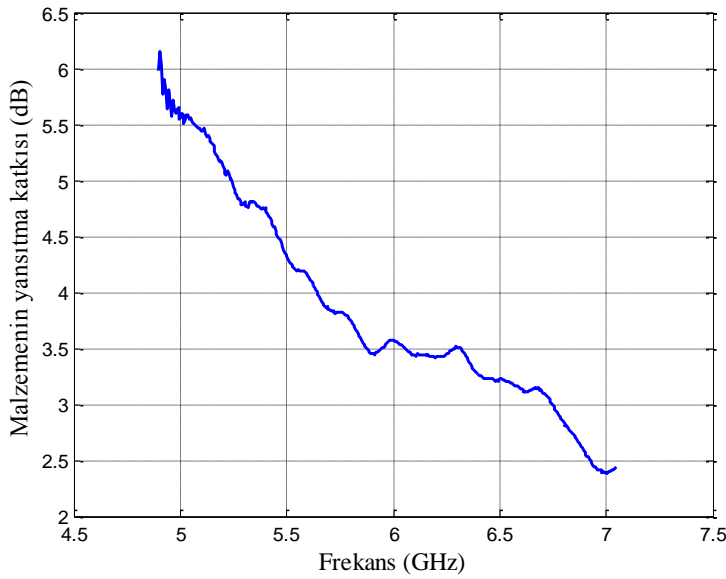
Şekil 4.2. Referans numunesine ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği

Referans numunesi ait ekranlama etkinliğinin soğurma (yutma) bileşeni ortalama olarak 1.5 dB değerinde bir ekranlama oluşturduğu Şekil 4.3'te görülmektedir. Frekansa

bağlı olarak bu bileşen değeri artmakta olup 7.05 GHz noktasında yaklaşık olarak 2.5 dB'lik bir ekranlama değeri sağlamıştır. Yansıtma bileşeni ise frekansa bağlı olarak azalmış başlangıçta 6 dB'lik ekranlama değerinden 7.05 GHz noktasına 2.5 dB'lik bir ekranlama değerine kadardüştüğü Şekil 4.4'te görülmektedir. Toplam ekranlama değerinin baskın bileşeni yansıtma bileşeni olduğundan dolayı yansıtma bileşenine bağlı olarak frekansa bağlı olarak azaldığı Şekil 4.6'da görülmektedir.

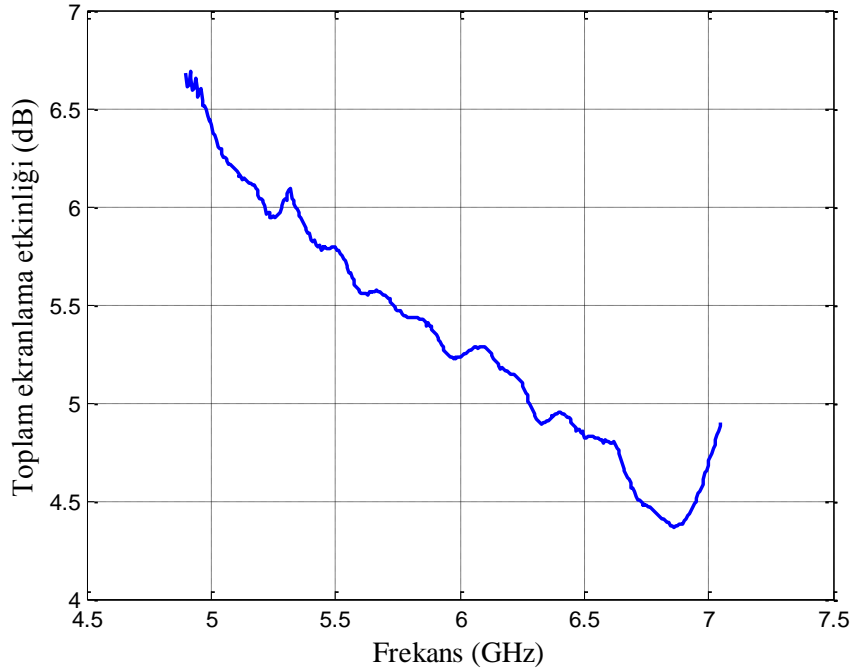


Şekil 4.3. Referans numunesine ait ekranlamaya malzemenin yutma katkısı değerleri



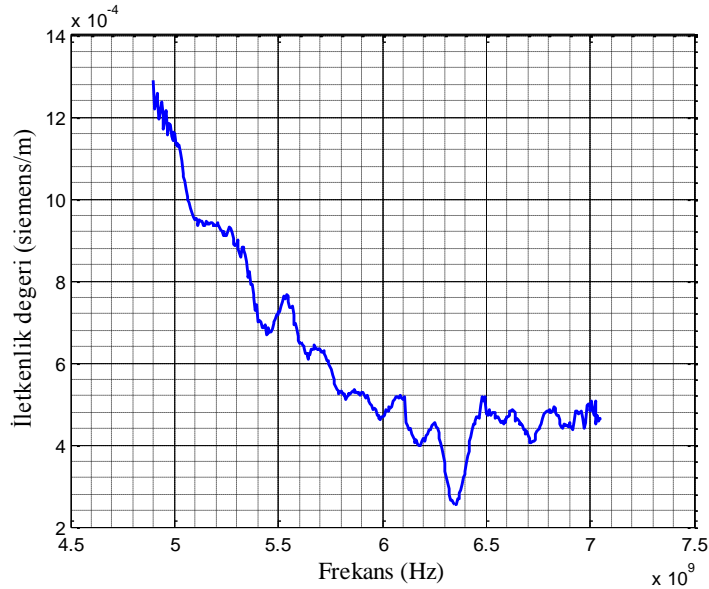
Şekil 4.4. Referans numunesine ait ekranlamaya malzemenin yansıtma katkısı değerleri

Şekil 4.6'da referans numunesine ait toplam ekranlama değerlerinin frekansa göre değişim grafiği gösterilmiştir. İçinde hiçbir metal partikülü içermeyen numune yaklaşık olarak 4-8 dB'lik bir ekranlama sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.6. Referans numunesine ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği

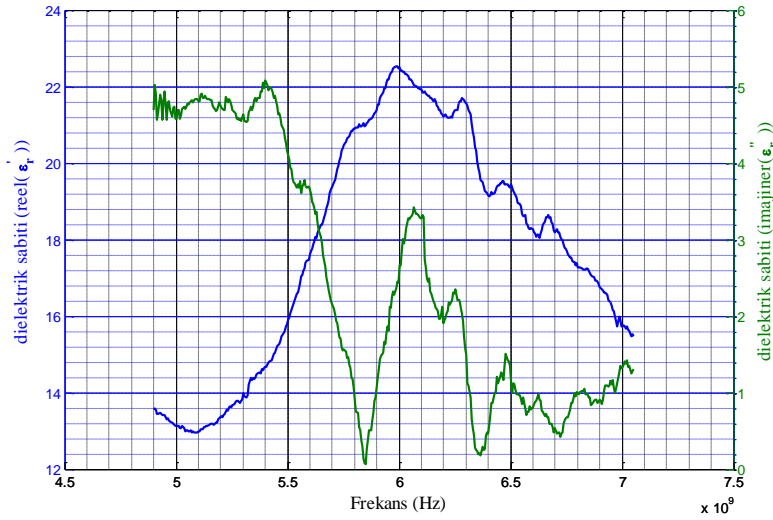
Şekil 4.7’de referans numunesinin 4.90-7.05 GHz aralığındaki iletkenlik değerleri gösterilmiştir. İletkenlik değeri 4.90 GHz noktasında yaklaşık olarak 0.1 (S/m) gibi bir değer alırken frekansa bağlı artışını dalgali olarak sürdürerek 7.05 GHz noktasında yaklaşık olarak 0.27 (S/m) değerini aldığı görülmektedir.



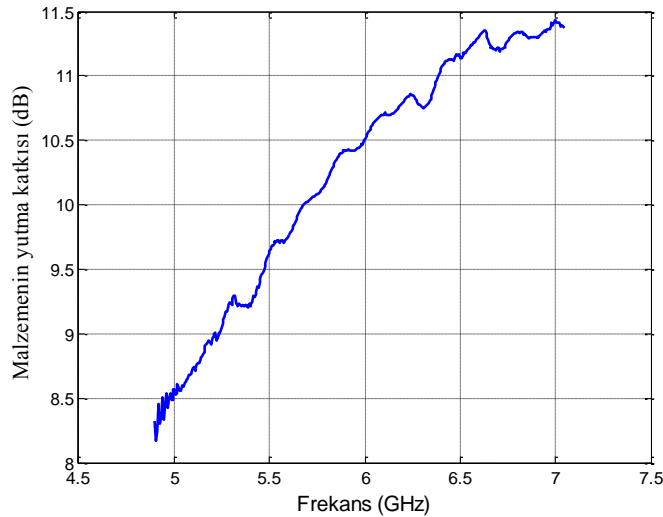
Şekil 4.7. Referans numunesine ait iletkenlik değerinin frekansa göre değişim grafiği

Referans numunesine hacimsel olarak %10 kum yerine %10 krom partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Dielektrik sabitinin reel (gerçek) bileşeni başlangıç noktası olan 4.90 GHz noktasında 14 değerindeyken, 5.7 GHz noktasına kadar yükselmiş ve 22 değerine ulaşmış daha sonra azalarak 7.05 GHz noktasında ise 16

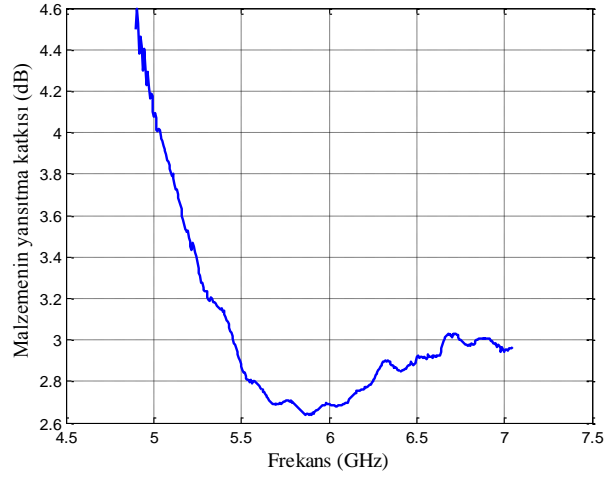
değerine kadar düştüğü Şekil 4.8’de görülmektedir. Ekranlamaya katkı eden yutma değerleri Şekil 4.9’da ve yansıtma değerleri Şekil 4.10’da, toplam ekranlama grafiği Şekil 4.11’de, iletkenlik grafiği Şekil 4.12’te verilmiştir. %10 krom partikülü içeren numunenin yutma bileşeni referans numunesine ait yutma katkısına göre yaklaşık olarak 7.5 dB’lik daha fazla ekranlama sağlamış olduğu görülmektedir. Numunenin yansıtma bileşenin değeri 4.90 GHz noktasında 4.6 dB’lik bir etki gösterirken frekansa bağlı olarak azalmış ve 7.05 GHz noktasında yaklaşık olarak 3 dB’lik bir ekranlama değeri göstermiştir. Numuneye ait ekranlamanın yutma bileşeni artık yansıtma bileşenine göre daha baskın olduğu görülmektedir. Toplam ekranlama değeri baskın olan yutma bileşenine bağlı olarak frekansa bağlı olarak artmış ve yaklaşık olarak 14.5 dB’lik bir değer aldığı görülmüştür.



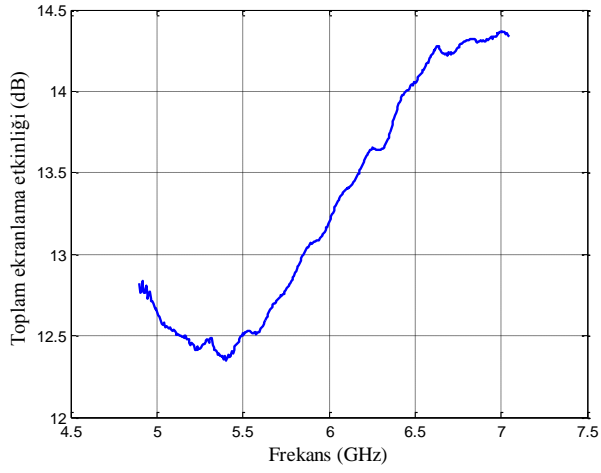
Şekil 4.8. %10 krom partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği



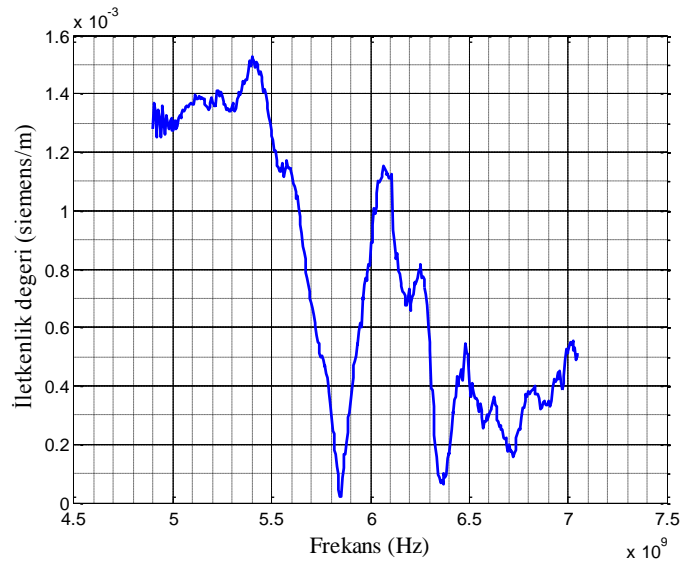
Şekil 4.9. %10 krom partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği



Şekil 4.10. %10 krom partikülü içeren numunenin yansıma katkısı grafiği

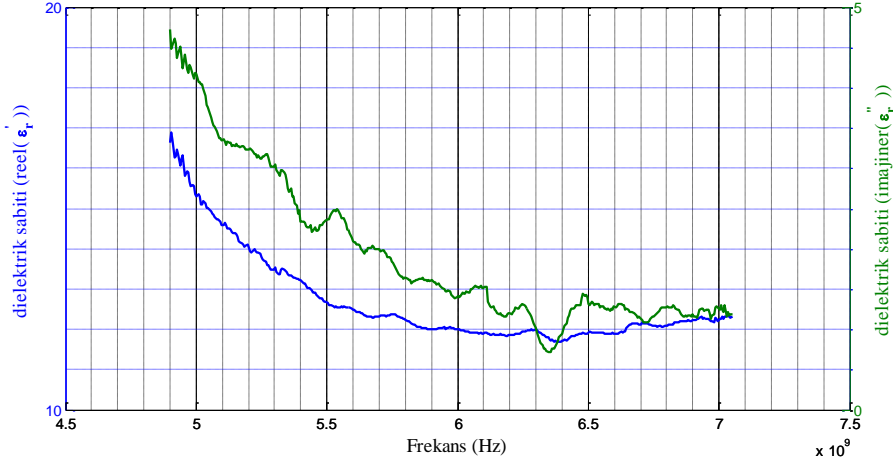


Şekil 4.11. %10 krom partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği



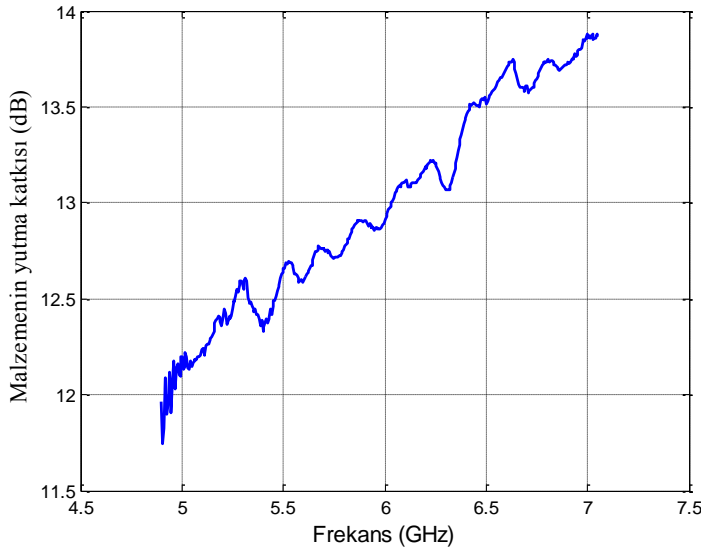
Şekil 4.12. %10 krom partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

Referans numunesine hacimsel olarak %10 kum yerine %10 çelik partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunenin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 4.13'te sunulmuştur. Dielektrik sabitinin reel bileşeni 4.90 GHz noktasında 17 değerindeyken 5.7 GHz noktasında 12 değerine düşmüş ve 7.05 noktasına kadar yaklaşık olarak aynı değerde sabit kalmıştır. Ekranlamaya katkı eden yutma değerleri Şekil 4.14'de ve yansıtma değerleri Şekil 4.15'de, toplam ekranlama grafiği Şekil 4.16'da, iletkenlik grafiği 4.17'de sunulmuştur.

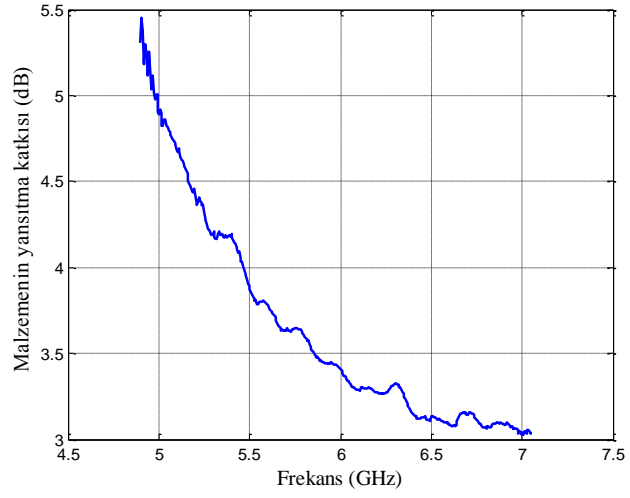


Şekil 4.13. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği

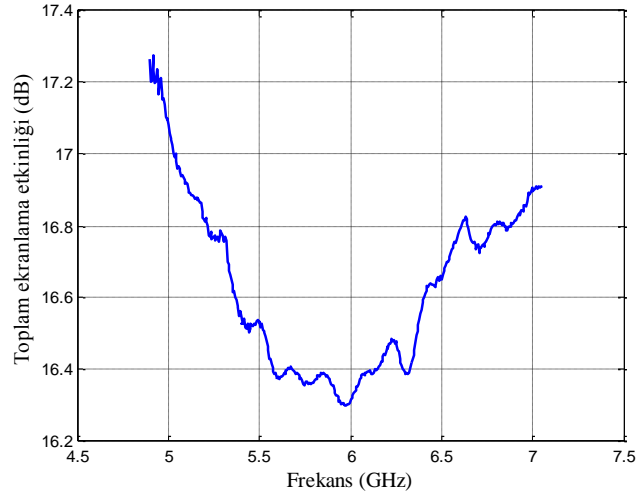
Ekranlama etkinliğine katkı eden yutma ve yansıtma bileşenlerinden yutma bileşeni daha baskın bir karakter göstermiştir. 4.90 GHz noktasında yaklaşık olarak 11.8 dB'lik bir ekranlama özelliği gösteren yutma bileşeni frekansa bağlı olarak artmış ve 7.05 GHz noktasında 13.8 dB'lik bir değere ulaşmıştır. Yansıtma bileşeni ise yutma bileşeninin aksine frekansa bağlı olarak azalmış ve 5.5 dB'lik değerden 3dB'lik değere kadar düşmüştür. Toplam ekranlama etkinliği ise yaklaşık olarak 16.5 dB'lik bir değer almış olduğu Şekil 4.16'da görülmektedir.



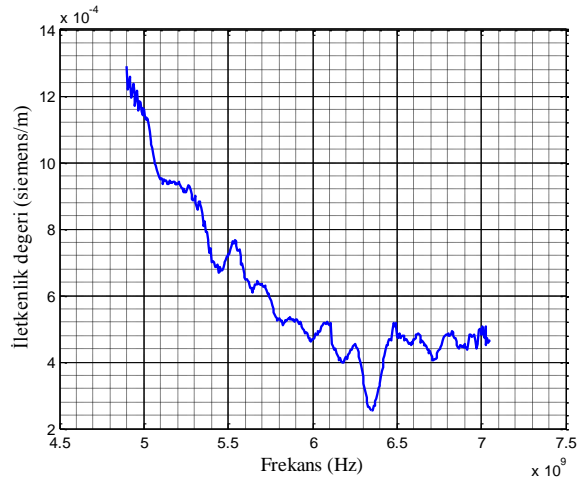
Şekil 4.14. %10 çelik partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği



Şekil 4.15. %10 çelik partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği

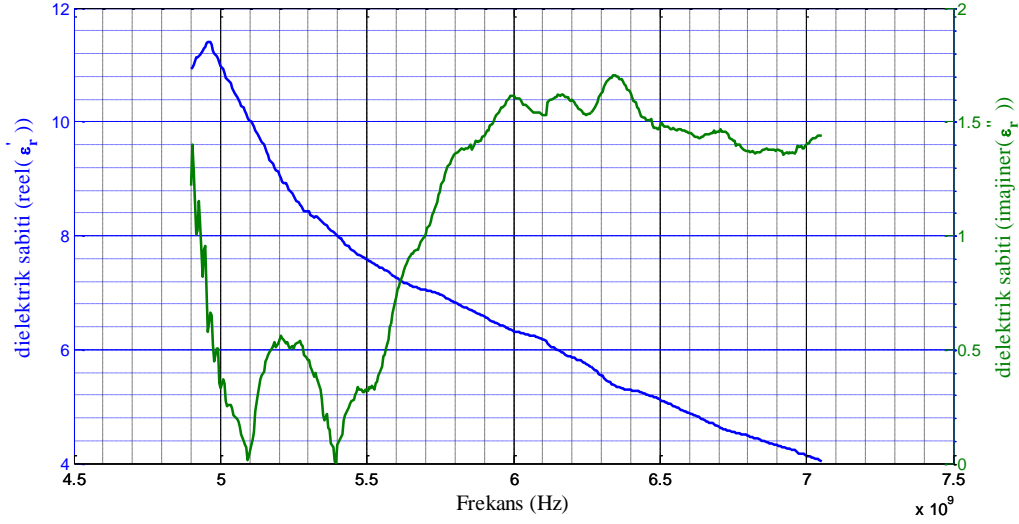


Şekil 4.16. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği

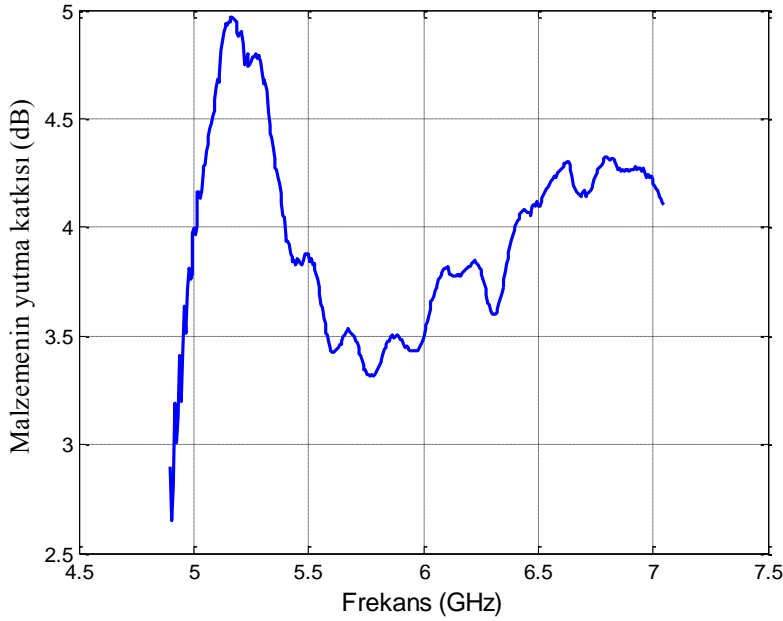


Şekil 4.17. %10 çelik partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

Referans numunesine hacimsel olarak %10 kum yerine %10 demir partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Dielektrik sabitinin reel bileşeni 4.90 GHz noktasında yaklaşık olarak 11 değerindeyken frekansa bağlı olarak azalmık ve 7.05 GHz noktasında 4 değerine kadar düştüğü Şekil 4.18'de görülmektedir. Ekranlamaya katkı eden yutma bileşeni ortalama olarak 4 dB'lik bir etki oluşturduğu Şekil 4.19'da görülmektedir. Bu değer referans numunesine göre yaklaşık olarak 2 dB'lik fazla ekranlama sağladığını göstermektedir. Yansıtma bileşeninin ekranlama etkinliği başlangıçta yaklaşık olarak 7 dB değerleribdeyken zamanla azalmış ve son olarak 2 dB değerine düşmüş olduğu Şekil 4.20'de görülmektedir.

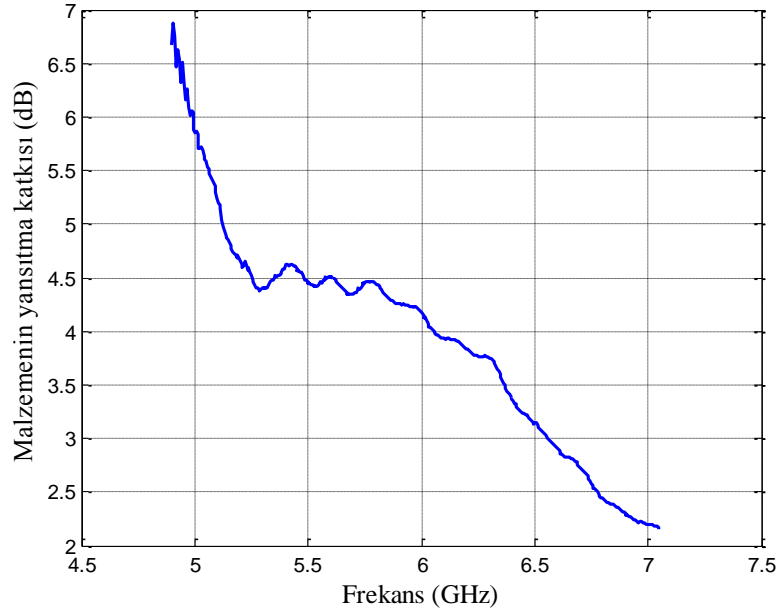


Şekil 4.18. %10 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği

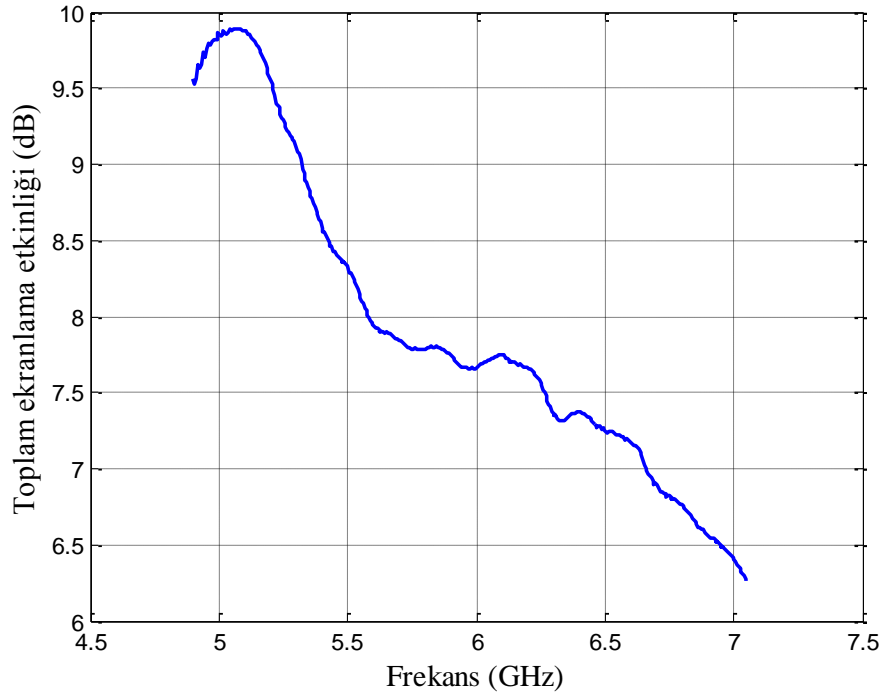


Şekil 4.19. %10 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği

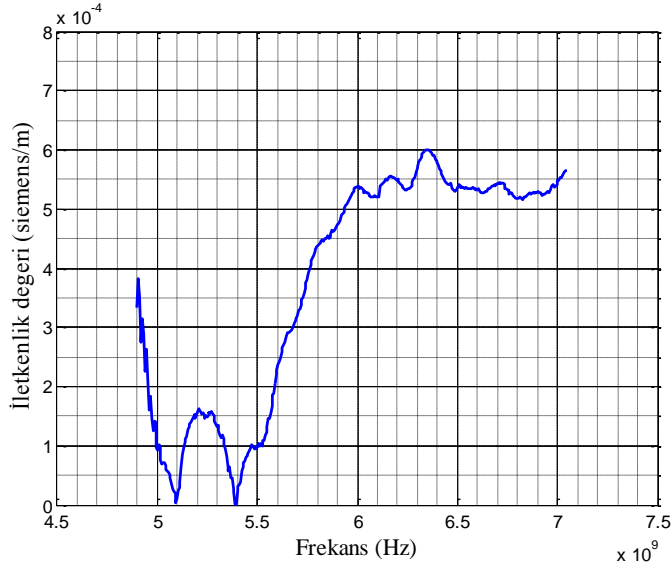
Toplam ekranlama etkinliği numunenin yansıtma bileşeni baskın olduğundan dolayı zamanla azaldığı Şekil 4.21’de görölmektedir. Numuneye ait iletkenlik grafiği 4.22’te sunulmuştur.



Şekil 4.20. %10 demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği

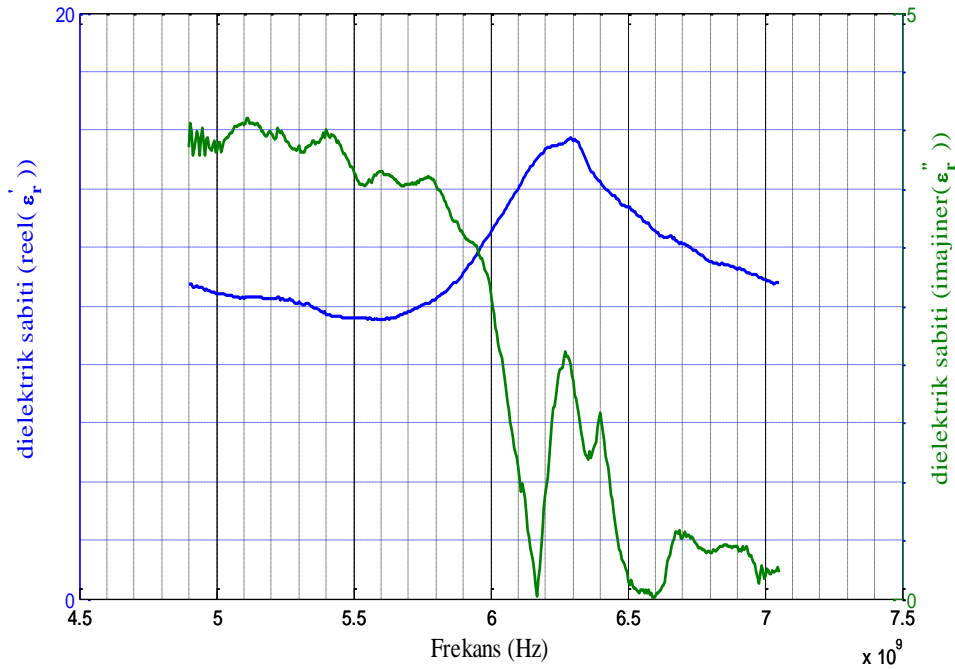


Şekil 4.21. %10 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değeriğinin değışim grafiği



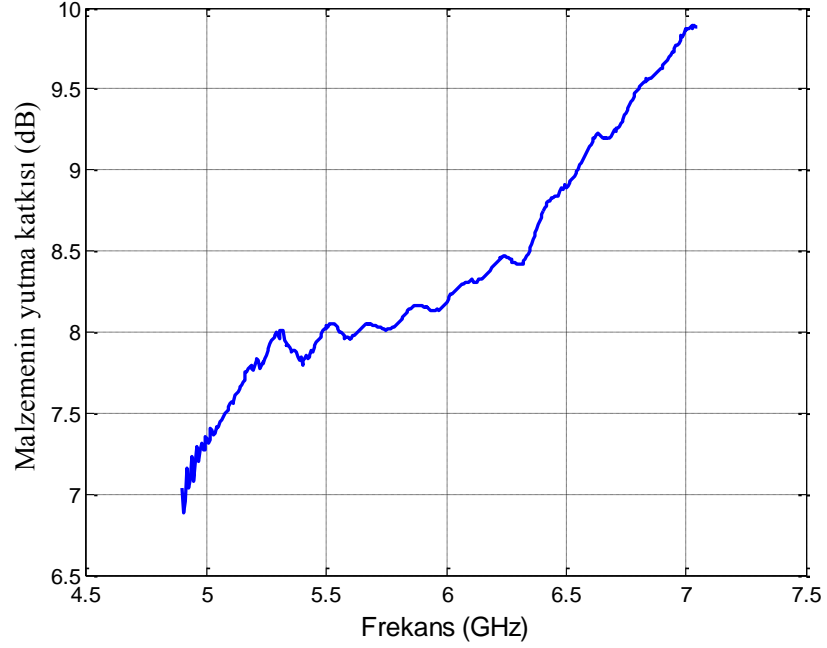
Şekil 4.22. %10 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

Referans numunesine hacimsel olarak %30 kum yerine %30 demir partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunenin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 4.23'te sunulmuştur. Grafiğe göre dielektrik sabiti ortalama olarak 10 değerindeyken 6-6.5GHz frekans aralığında yükselerek 16 değerine ulaştığı Şekil 4.24'te görülmektedir. Bu numuneye ait yansıtma değerleri Şekil 4.25'te sunulmuştur.

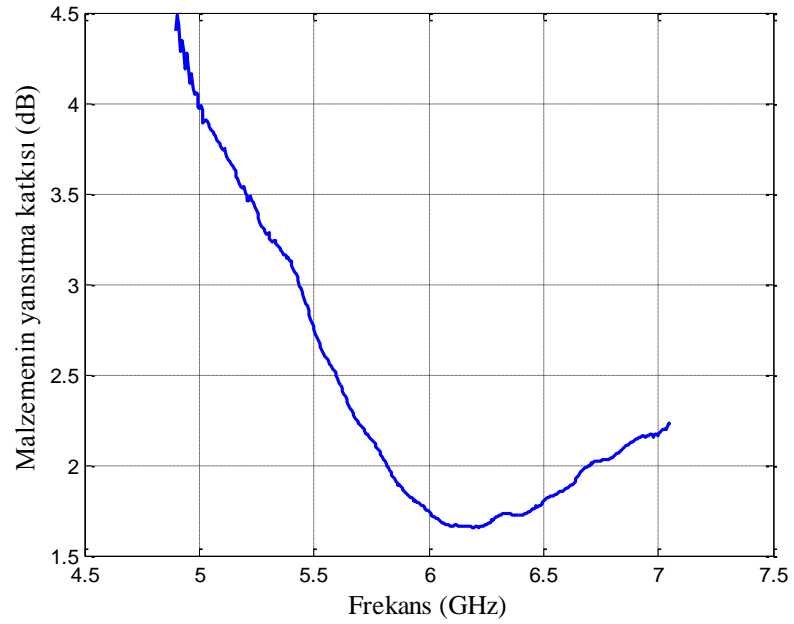


Şekil 4.23. %30 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği

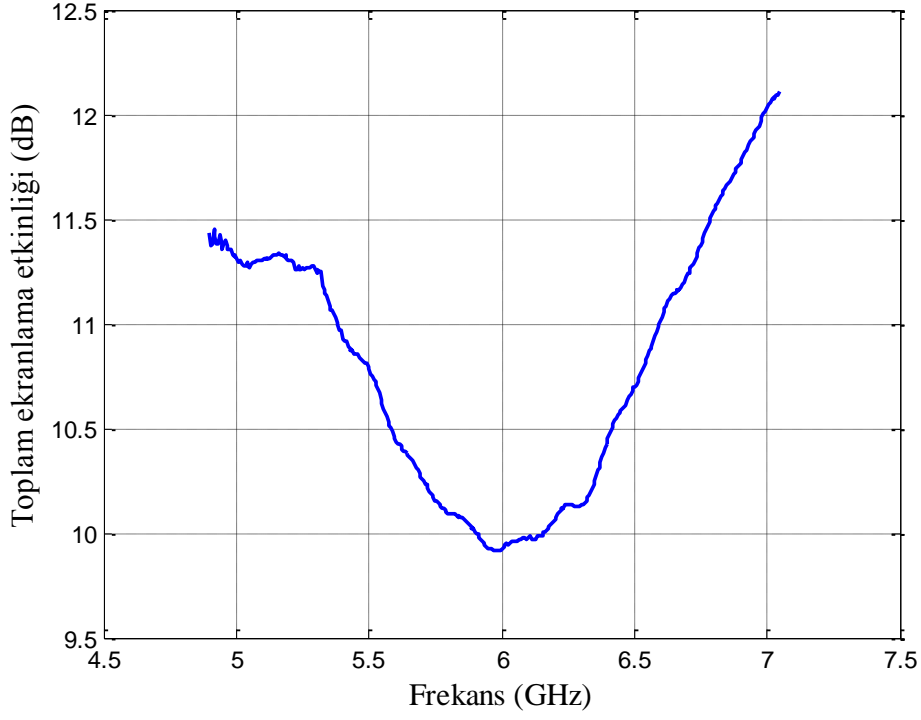
Şekil 4.24’de göre başlangıç noktasında 7 dB’lik bir ekranlama etkinliği sağlarken frekansa bağlı olarak bu değer artmış ve son noktada 10 dB’lik bir değere ulaşmıştır. Bu değer %10 demir partikülü içeren numuneye göre ortalama 4.5 dB’lik fazla ekranlama etkinliği sağlamıştır. toplam ekranlama grafiği Şekil 4.26’da sunulmuştur. Yutma bileşeni %10 demir partikülü içeren numunenin yutma bileşenine göre daha fazla ekranlama sağladığından dolayı toplam ekranlama değeride ortalama 3 dB daha fazla ekranlama değeri göstermiştir, iletkenlik grafiği 4.27’de sunulmuştur.



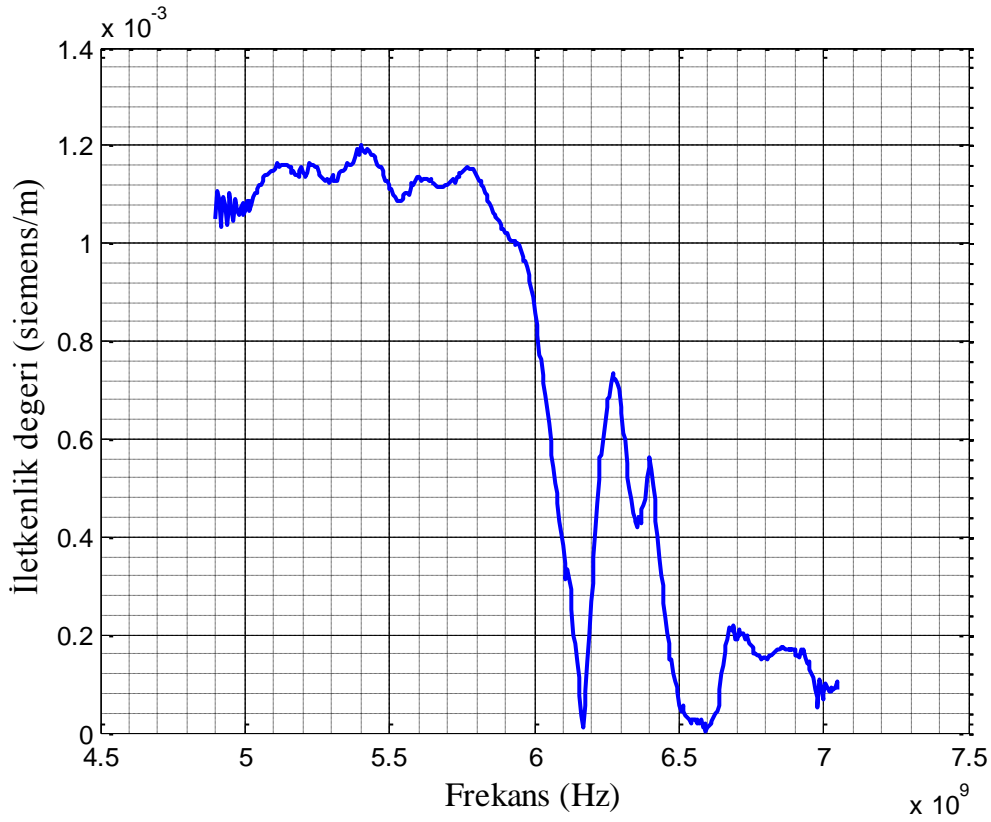
Şekil 4.24. %30 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği



Şekil 4.25. 30% demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği

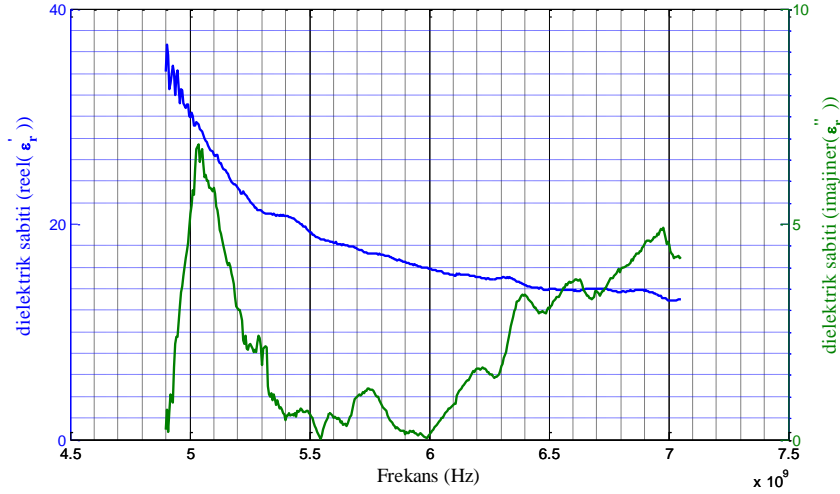


Şekil 4.26. %30 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği



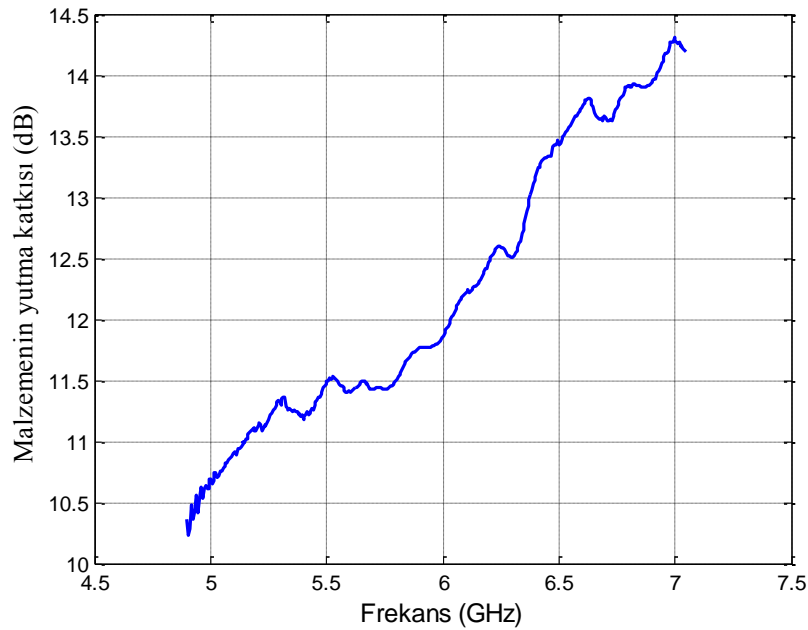
Şekil 4.27. %30 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

Referans numunesine hacimsel olarak %40 kum yerine %40 demir partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunenin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 4.28’de sunulmuştur. Numunenin dielektrik sabiti 36 gibi bir değerden başlayarak frekansa bağlı olarak azalmış 7.05 GHz noktasında 14 değerine düşmüştür. ekranlamaya katkı eden yutma değerleri Şekil 4.29’da ve yansıtma değerleri Şekil 4.30’da, toplam ekranlama grafiği Şekil 4.31’de, iletkenlik grafiği 4.32’de verilmiştir.

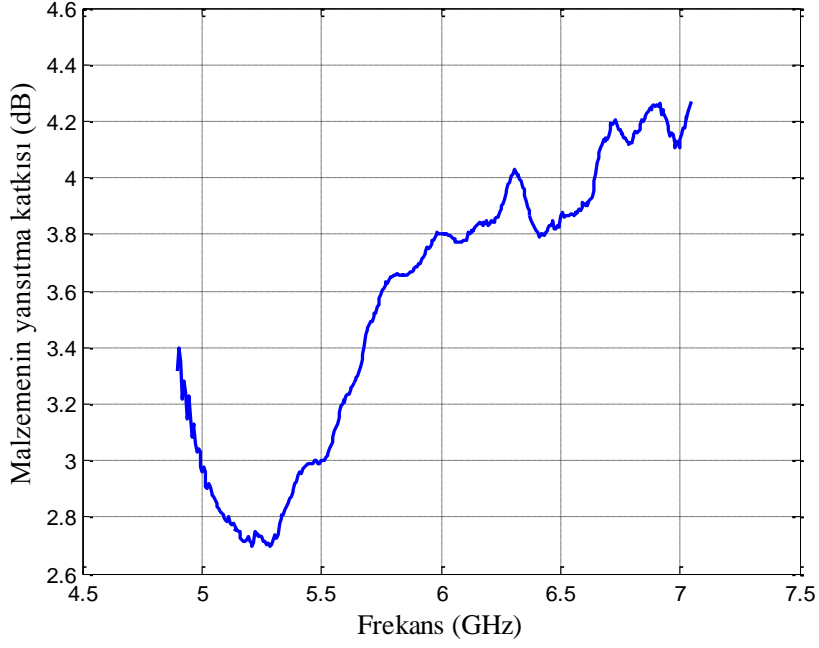


Şekil 4.28. %40 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağımlı değişim grafiği

Numune içindeki partikül miktarındaki artış yutma bileşeninde referans numunesine göre yaklaşık 10 dB daha fazla ekranlama sağlamıştır. Frekansa bağlı olarak frekans arttıkça ekranlama etkinliğinde de artış olmuş 4.90 GHz noktasında 10.5 olan ekranlama değeri 7.05 GHz noktasında 14 dB lik bir ekranlama sağlamıştır.

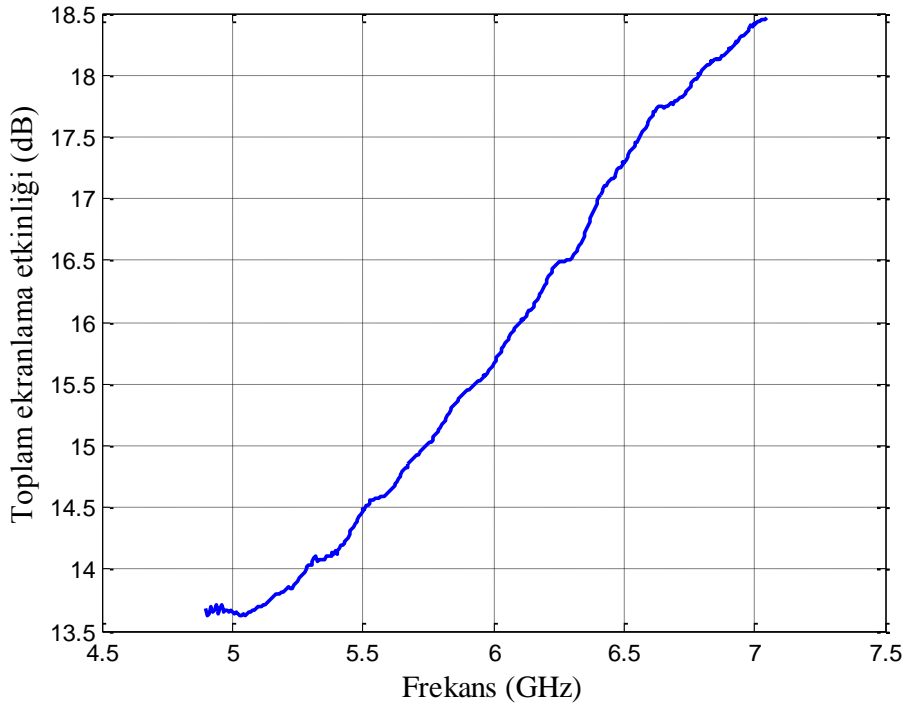


Şekil 4.29. %40 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği

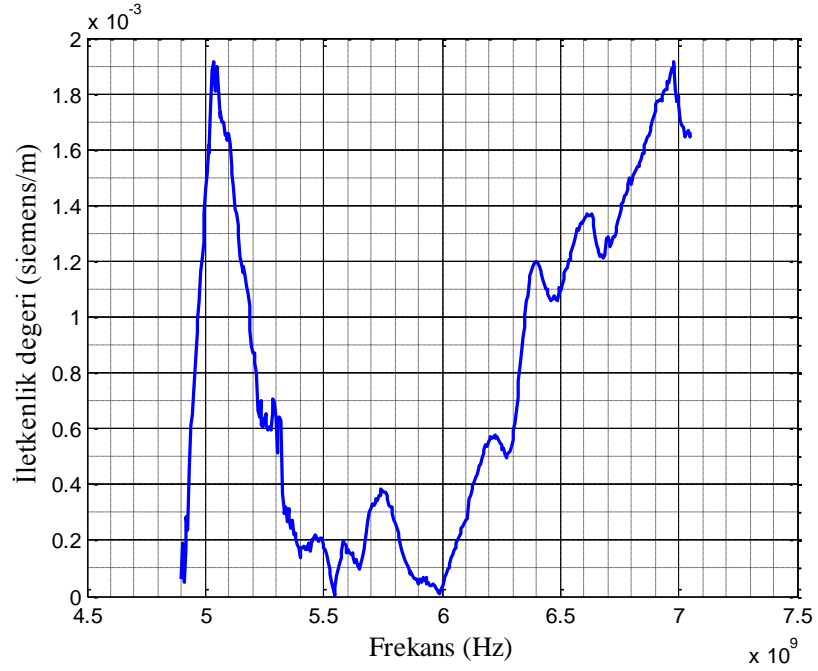


Şekil 4.30. %40 demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği

Baskın bileşen yutma bileşeni olduğundan dolayı toplam ekranlama değeride yutma bileşenine bağlı olarak hareket etmiştir. Toplam ekranlama değeri 18.5 dB değerine ulaşarak toplam numunelerin içinde en yüksek değeri almıştır.

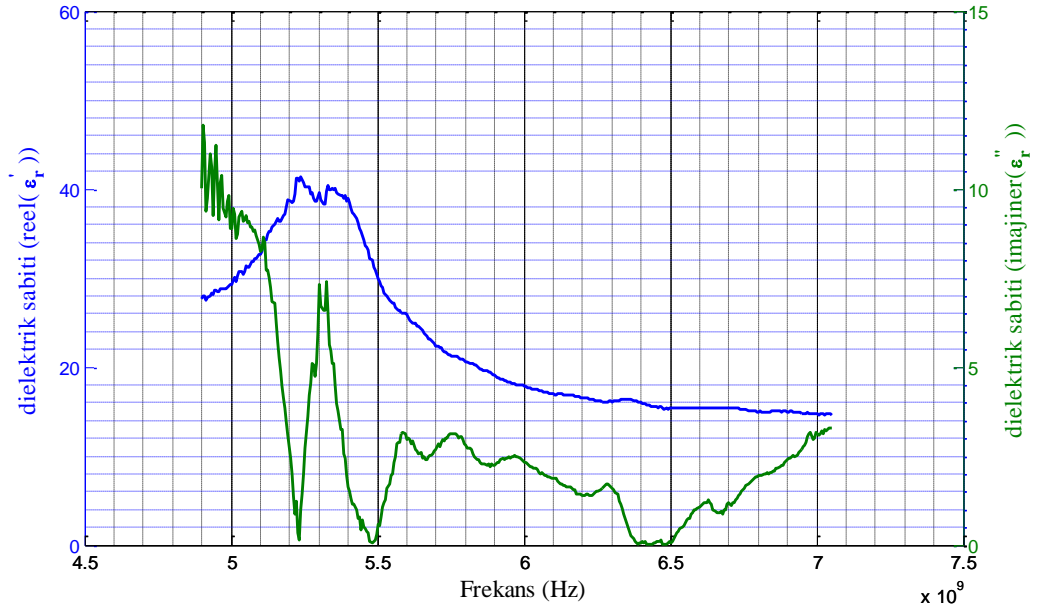


Şekil 4.31. %40 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği

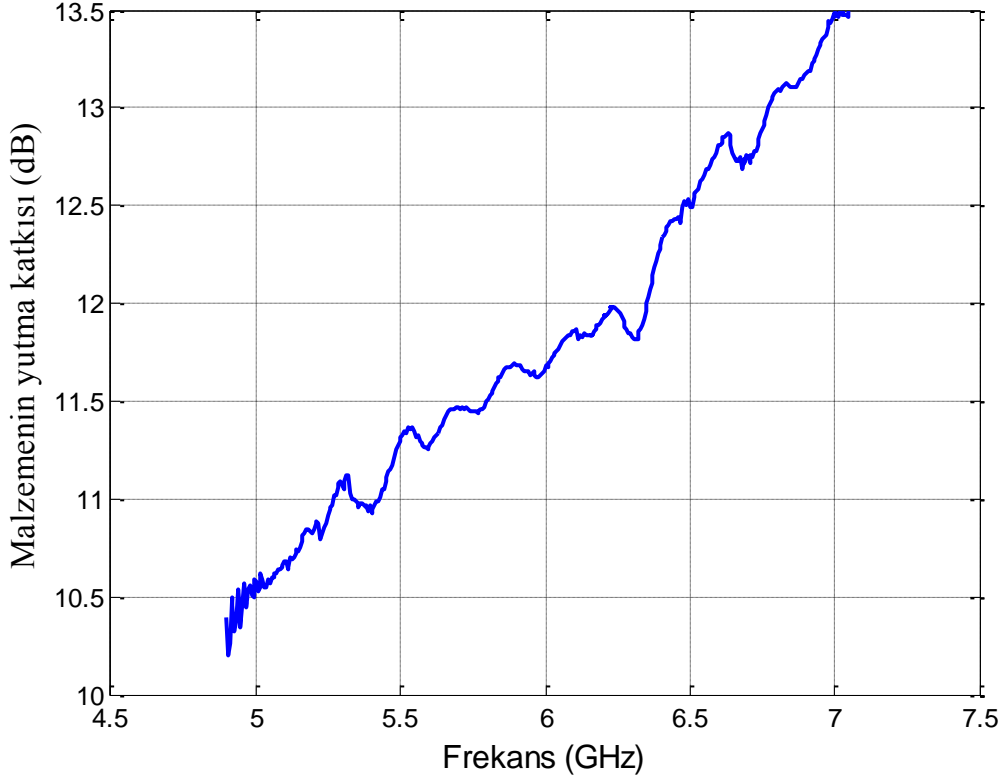


Şekil 4.32. %40 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

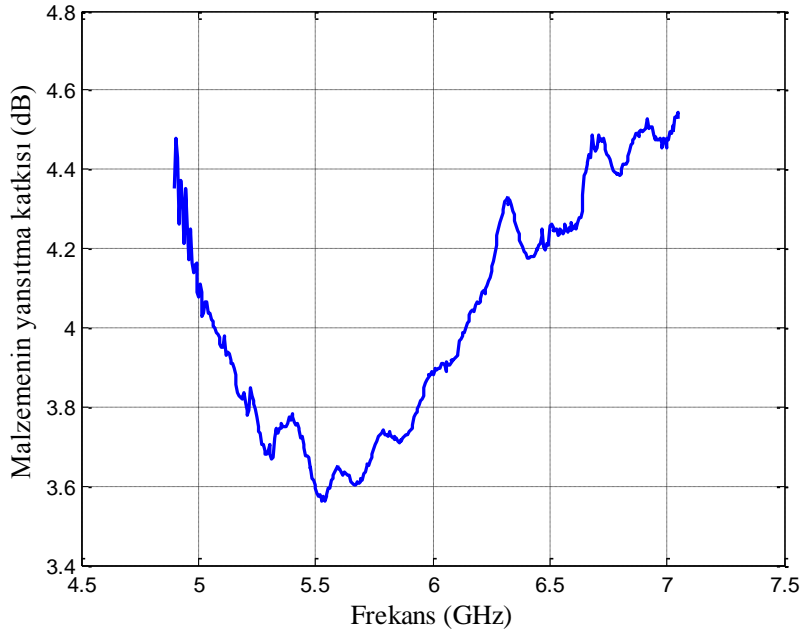
Referans numunesine hacimsel olarak %10 kum yerine %60 demir partikülü eklenerek başka bir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunenin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 4.33'te, ekranlamaya katkı eden yutma değerleri Şekil 4.34'te ve yansıtma değerleri Şekil 4.35'de, toplam ekranlama grafiği Şekil 4.36'da, iletkenlik grafiği Şekil 4.37'de verilmiştir.



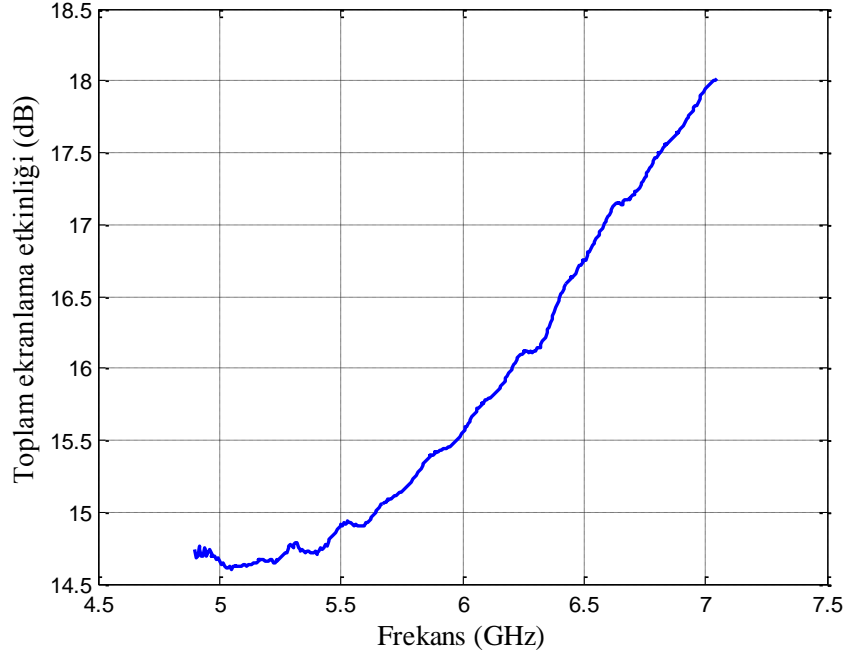
Şekil 4.33. %60 demir partikülü içeren numuneye ait dielektrik ve kayıp faktörünün frekans bağlı değişim grafiği



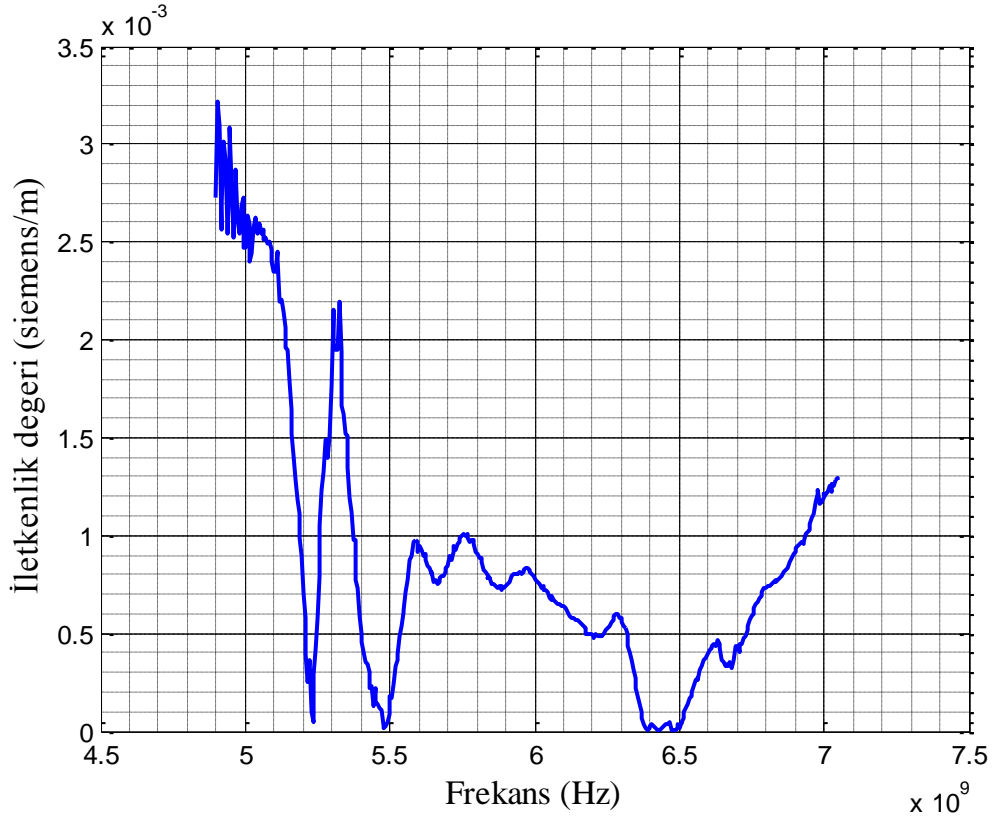
Şekil 4.34. %60 demir partikülü içeren numunenin yutma katkısı grafiği



Şekil 4.35. %60 demir partikülü içeren numunenin yansıtma katkısı grafiği

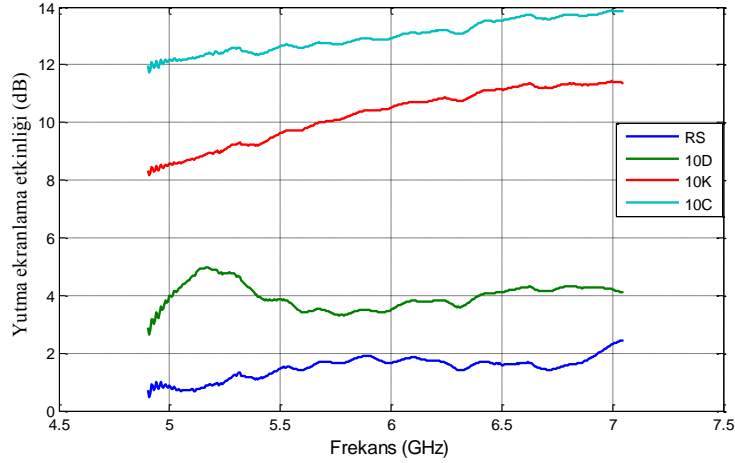


Şekil 4.36. %60 demir partikülü içeren numuneye ait toplam ekranlama değerlerinin değişim grafiği



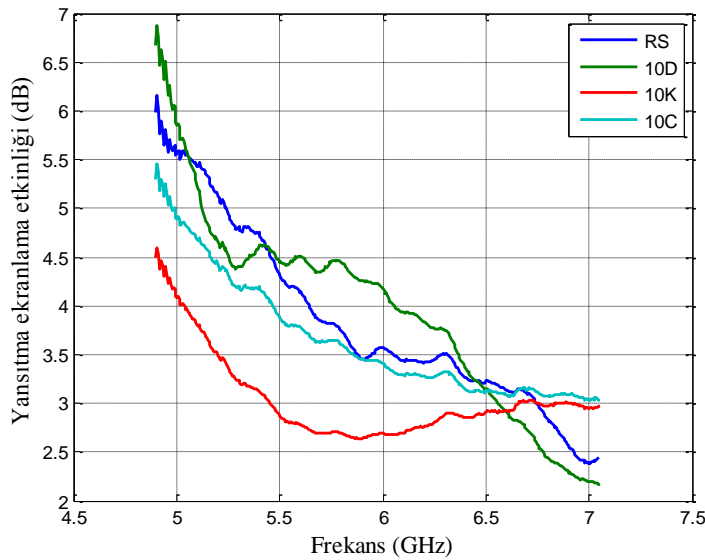
Şekil 4.37. %60 demir partikülü içeren numuneye ait iletkenlik değerlerinin frekans bağlı değişim grafiği

Şekil 4.38’de referans numuneye (RS), %10 demir partikülü içeren numune (10D), %10 krom partikülü içeren numune (10K) ve %10 çelik partikülü içeren numune (10C) ait yutma ekranlama etkinliği sunulmuştur. Aynı hacimsel katkı miktarına sahip numunelerden en fazla ekranlama değerini çelik partikülü içeren numune göstermiştir.



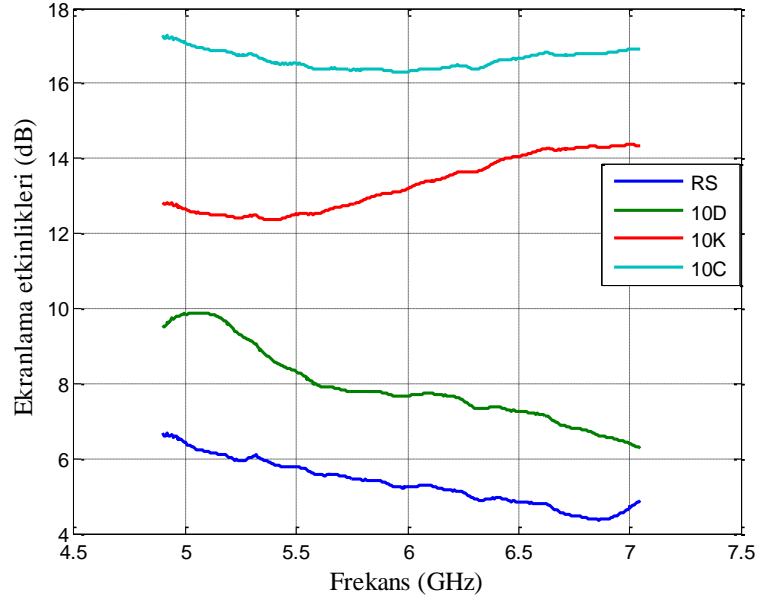
Şekil 4.38. 4 ayrı numuneye ait yutma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği

Şekil 4.39’da referans numuneye (RS), %10 demir partikülü içeren numune (10D), %10 krom partikülü içeren numune (10K) ve %10 çelik partikülü içeren numune (10C) ait yansıtma ekranlama etkinliği sunulmuştur. Aynı hacimsel katkı miktarına sahip numuneler yaklaşık olarak aynı yansıtma ekranlama etkinliği göstermiştir.



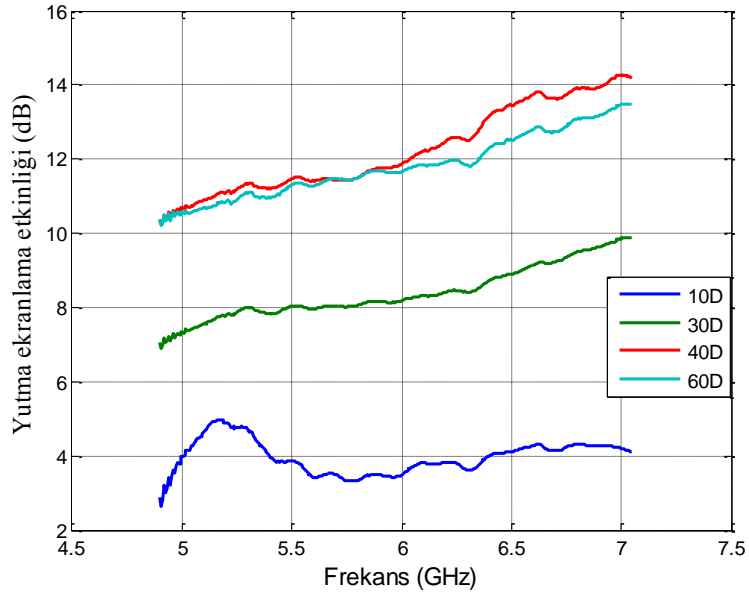
Şekil 4.39. 4 ayrı numuneye ait yansıtma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği

Şekil 4.40’da referans numuneye (RS), %10 demir partikülü içeren numune (10D), %10 krom partikülü içeren numune (10K) ve %10 çelik partikülü içeren numune (10C) ait toplam ekranlama etkinliği sunulmuştur. Referans numunesi ve 10D numune ait toplam ekranlama değerinin frekansa bağlı azalmasının nedeni baskın bileşenin yansıtma olması ve zamanla azalmasıdır. 10C ve 10k numunelerine ait toplam ekranlama değeri frekansa bağlı artmasının nedeni baskın bileşenin yutma olması ve zamanla o bileşenin değerinin artmasıdır.

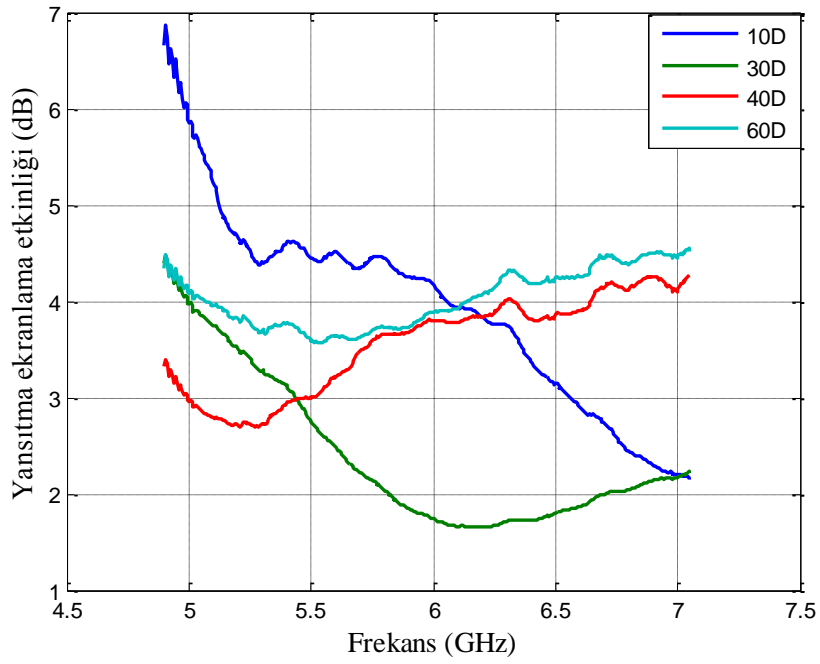


Şekil 4.40. 4 ayrı numuneye ait yansıtma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği

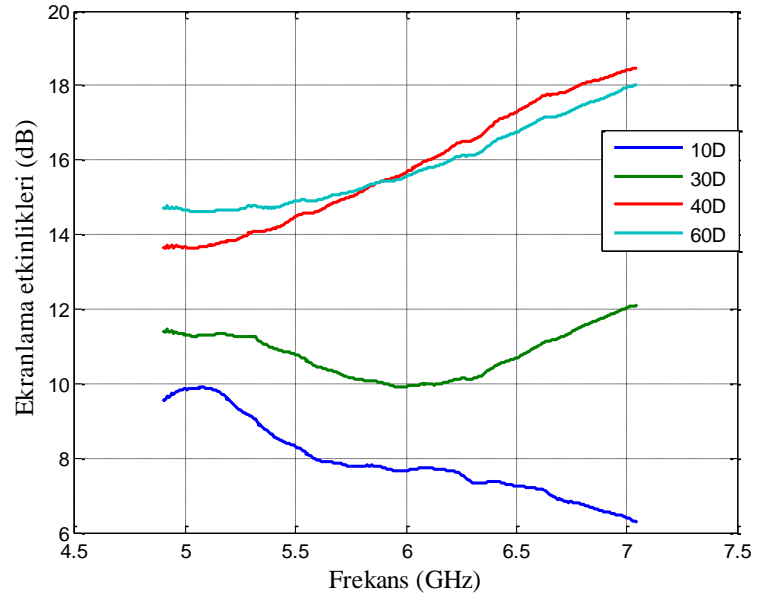
Şekil 4.41’de %10 demir partikülü içeren numuneye (10D), %30 demir partikülü içeren numuneye (30D), %40 demir partikülü içeren numuneye (40D) ve %60 demir partikülü içeren numuneye (60D) ait yutma ekranlama etkinliği sunulmuştur. Partikül oranı arttıkça yutma ekranlama etkinliğide artmıştır. Fakat 40D ve 60D numuneleri yaklaşık olarak aynı ekranlama etkinliği değerini göstermiştir. Şekil 4.42’de %10 demir partikülü içeren numuneye (10D), %30 demir partikülü içeren numuneye (30D), %40 demir partikülü içeren numuneye (40D) ve %60 demir partikülü içeren numuneye (60D) ait yansıtma ekranlama etkinliği sunulmuştur. 4 numune de yaklaşık aynı ekranlama özelliği göstermiştir. Şekil 4.43’te %10 demir partikülü içeren numuneye (10D), %30 demir partikülü içeren numuneye (30D), %40 demir partikülü içeren numuneye (40D) ve %60 demir partikülü içeren numuneye (60D) ait toplam ekranlama etkinliği sunulmuştur. Toplam ekranlama etkinlikleri baskın bileşen olana yutma bileşenine paralel olarak değişmiştir.



Şekil 4.41. 4 ayrı numuneye ait yutma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği



Şekil 4.42. 4 ayrı numuneye ait yansıtma ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği



Şekil 4.43. 4 ayrı numuneye ait toplam ekranlama etkinliğinin frekans bağlı değişim grafiği

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada inşaat yapı malzemelerinde değişik olarlarda atık metal partikülleri eklenerek yeni elde edilen numunelerin ekranlama etkinliği ve dielektrik sabitleri 4.90-7.05 GHz frekans aralığından hesaplanmıştır. Numuneler arasındaki ekranlama ve dielektrik sabiti farklılığı bünyelerinde farklı miktarda barındırdıkları farklı orandaki metal partikülleri farklılığından kaynaklanmıştır.

Ekranlama etkinlikleri sonuçları göz önüne alındığında içerdiği metal partikülleri bakımından sıralı olarak sıralanmasına rağmen %40 demir partikülü içeren numuneden sonra ekranlama etkinliğinde fazla bir artış olmaması ekranlama etkinliğinin saturasyona uğramasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Hiçbir metal partikülü içermeyen numuneye göre katkı maddesi ortalama 10 dB'lik bir ekranlama etkinliği artışı sağlanmış olup ayrıca bu atık metal partiküllerin bertaraf edilmesi sağlanmıştır. Okul, kreş, çocuk odası, yatak odası gibi yoğun olarak zaman harcanan ama elektromanyetik alanlara ihtiyaç duymadığımız halde maruz kaldığımız yerlerde ekranlama değerleri atık metal partikülleri kullanılarak ekranlama etkinliği yaklaşık 10 dB arttırılabilir.

Elde edilen başka bir sonuç olarak numunelerin dielektrik sabitin hesaplanması bina içi konum belirleme konusunda yeni çalışmalara yardımcı olacağı düşünülmektedir. Numunelerin içinde partikül miktarlarındaki artış, dielektrik sabitlerini belli oranlarda değiştirdiği görülmüştür. Dielektrik sabitinin değişmesine bağlı olarak numunenin yansıma ve iletim katsayıları değişecektir. İstenilen ekranlama parametreleri dielektrik sabitinin değişimine bağlı olarak ayarlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- ARI, N. ve ÖZEN, Ş. 2008. Elektromanyetik Uyumluluk. Palme Yayıncılık, 224 s, Ankara.
- ARFKEN, G., GRIFFIN, D.F., KELLY, D.C. and PRIEST, J. 1984. University Physics. Academic Press, 332 p, Florida.
- AKHTAR, M.J. and THUMM, M. 2012. Measurement of complex permittivity of cylindrical objects in the E-plane of a rectangular waveguide. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol.51, No.1, pp.122-131, Jan. 2013
- BALANIS, C.A. 2012. Advanced Engineering Electromagnetics. Wiley, 1008, 1024 p, Canada.
- BANSAL, R. 2006. Fundamentals of Engineering Electromagnetics. Taylor & Francis Group, 390 p, Boca Raton.
- BELHADJ, C.A. and EL- FERIK, S. 2009. Electric and Magnetic Fields Estimation for Live Transmission Line Right of Way Workers Using Artificial Neural Network. ISAP'09. 15th International Conference, Intelligent System Applications to Power Systems, 978-1-4244-5097-8: 1-6 pp.
- BLATTENBERGER, K. 1999. Skin Depth (Skin Effect) as a Function of Frequency, Permeability, & Concuctivity. <http://www.rfcafe.com/references/electrical/skin-depth.htm> [Son erişim tarihi: 17.12.2014]
- BODUR, A. ve ÖZŞAR, Ç. 2008. EMC/EMI Gürültü Azaltma ve Korunma, Ekranlama, Topraklama ve PCB Tasarımı. EMO, 216 s, Ankara.
- CENGİZ, S. 2009. Elektromanyetik Girişimden Korunmada Ekranlama Etkinliği ve Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 63 s, Isparta.
- CHUAH, H.T., LEE, K.Y. and LAU, T.W. 1995. Dielectric constants of rubber and oil palm leaf samples at X-band. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.33, No.1, pp.221-223, Jan. 1995
- DAVIS, J., HUANG, Y., MILLARD, S.G. and BUNGEY, J.H. 2003. Determination of Dielectric Properties of Insitu Concrete at Radar Frequencies. Bam International Symposium, Liverpool, UK.
- DEMİR, A. 2004. Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, 62 s, Elazığ.
- DICKE, R.H. 1947. A computational method applicable to microwave networks. J. Appl. Phys. 18, 873. 1947.

- DÜZGÜN, S. 2009. Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 135 s, Adana.
- EL DEIN, A.Z. and AMR, A. 2010. Specific Absorption Rate (SAR) Induced in Human Heads of Various Sizes When Using a Mobile Phone. World Congress on Engineering, 5p, London, U.K.
- ELHASOĞLU, D. 2006. Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 122 s, Adana.
- FOSTER, K. and SCHWAN, H. 1996. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. CRC Press, pp. 25-101, Florida.
- HABIBALLAH, I.O., FARAG, A.S., DAWOUD, M.M. and FIROZ, A. 1997. Underground Cable Magnetic Field Simulation and Management Using New Design Configurations. Elsevier, pp. 141-148, Saudi Arabia.
- HABIBALLAH, I.O., ABDEL-GALIL, T.K., DAWOUD, M.M., BELHADJ, C.A., ABDUL-MAJEED, M.A. and AL-BETAIRI, T.A. 2006. ELF Electric and Magnetic Fields Exposure Assessment of Live-Line Workers for 132 Kv Transmission Line of SEC. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Latin America, 1-4244-0287-5: 1-6 pp.
- HAMZA, H.A., MAHMOUD, S.A. and GHANIA, S.M. 2002. Environmental Pollution by Magnetic Field Associated With Power Transmission Lines. Energy Conversion and Management, Elsevier, 43: 2443- 2452 pp.
- HARDIN, J.A., WECKLER, P.R. and JONES, C.L. 2012. Microwave backscatter response of pecan tree canopy samples for estimation of pecan yield in situ using terrestrial radar. Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture, 90 (2013) 54-62
- HELHEL, S., ÇOLAK B. and ÖZEN S. 2009. Measurement of dielectric constant of thin leaves by moisture content at 4mm band. Progress In Electromagnetic Research Letters, Vol.7, 183-191, 2009
- KRASZEWSKI, A. and NELSON, S. 1990. Study on grain permittivity measurements in free space. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, Vol.25, No.24, pp.202-210
- LIAO, S.B., DOURMASHKIN, P. and BELCHER, J. 2004. Introduction to Electricity and Magnetism. Pearson Publish.
- MARKOV, M. 1994. Physics and Engineering Approaches Toward Environmental Importance of Electromagnetic Fields. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineerins, Rio de Janeiro, Brazil.

- NAVE, C.R. 2000. Electricity and Magnetism. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/emcon.html#emcon> [Son erişim tarihi: 11.08.2014]
- OSHA Cincinnati Technical Center. 1990. Electromagnetic Radiation and How It Affects Your Instruments. Cincinnati, Ohio.
- OZEN, S., OGEL, E.G. and HELHEL, S. 2013. Residential Area Medium Voltage Power Lines; Public Health, and Electric and Magnetic Field Levels. Gazi University Journal of Science 26(4):573-578.
- ÖGEL, E.G., ÖZEN, Ş. ve HELHEL, S. 2010. Orta Gerilim Enerji Nakil Hatları Çevresindeki Elektrik ve Manyetik Alan Seviyelerinin Halk Sağlığı Bakımından Değerlendirilmesi. Akdeniz Üniversitesi, 5 s, Antalya.
- ÖZEN, Ş. 2008. Elektromanyetik Uyumluluk ve Girişim. Elektromanyetik Uyumlulukta Topraklama ve Ekranlama Semineri, 63 s, İzmir.
- ÖZEN, Ş., HELHEL, S., KAHYA, G., ÇAKIR, M., ve YALÇIN, S. 2014. Hastane Ortamlarında Manyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, EMANET 2013 Özel Sayısı, 4 s, Denizli.
- POZAR, M.D. 2004. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 2004.
- RAY, S. 2008. Electrical Power Systems: Concept, Theory and Practice. PHI Learning Limited, 664 p, New Delhi.
- SEKER, S. and ABATAY, H. 2005. New frequency-dependent parametric modeling of dielectric materials. Elsevier, Int. J. Electron. Commun. (AEÜ) 60 (2006) 320-327
- YÖRÜK, Y. E., KURNAZ, O., HELHEL, S. ve ÖZEN, Ş. 2012. Devetabanı ve kauçuk yapraklarının nem oranına göre elektriksel özellikleri. Eleco 2012, ss.231-233, 29 Kasım – 1 Aralık 2012, Bursa

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet ÇAKIR 1984 yılında Burdur'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu, Hüsnü Bayer Ortaokulu ve Burdur Anadolu Lisesinde tamamladı. 2008 yılında başladığı Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü lisans öğrenimini 2012 yılında tamamladı. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans öğrenimine 2012 yılında başladı. Evli ve 1 çocuk babasıdır.