

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ENDÜSTRİYEL DOĞAL TAŞLARA AİT S-BANDI DİELEKTRİK KATSAYISI
VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI**

Merve SÜNEL

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

EKİM 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ENDÜSTRİYEL DOĞAL TAŞLARA AİT S-BANDI DİELEKTRİK KATSAYISI
VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI**

Merve SÜNEL

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

EKİM 2018

ANTALYA

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

**ENDÜSTRİYEL DOĞAL TAŞLARA AİT S-BANDI DİELEKTRİK KATSAYISI
VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI**

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

EKİM 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL DOĞAL TAŞLARA AİT S-BANDI DİELEKTRİK KATSAYISI
VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI**

Merve SÜNEL

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 10/10/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk HELHEL (Danışman)

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi Bektaş ÇOLAK



ÖZET

ENDÜSTRİYEL DOĞAL TAŞLARA AİT S-BANDI DİELEKTRİK KATSAYISI VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Merve SÜNEL

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Ekim 2018; 52 sayfa

Doğal taşların ve yapı malzemelerinin kompleks dielektrik geçirgenliğinin bilinmesi pek çok uygulama için büyük önem taşımaktadır. Jeolojik araştırmalar, uzaktan algılama ve yapı uygulamaları bunlara verilebilecek güzel örneklerdir.

Bu tez çalışmasında 14 adeti mermer türü, 9 adeti granit türü, 2 adeti tuğla türü ve 1 adeti kayrak türü olmak üzere toplam 26 farklı doğal taş ve yapı malzemesinin elektriksel özelliklerinin S Bandındaki değerleri belirlenmiştir. Ölçümler laboratuvar koşullarında vektör network analizör ile dalga kılavuzundan oluşan ölçme düzeneği ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ele alınan mermerler için dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri sırası ile 5.32 ve 0.25 olarak hesaplanmıştır. Granitler için dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri sırası ile 4.49 ve 0.43 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde tuğla grubu için dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri sırası ile 3.59 ve 0.665 olarak bulunmuştur. 1 adet kayrak türünün dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri sırası ile 6.29 ve 0.55 olarak hesaplanmıştır. İlgili gruptaki standart sapma değerleri sırası ile mermer türü için 0.81 ve 0.06, granit türü için 1.38 ve 0.10, tuğla türü için 0.39 ve 0.01 olarak hesaplanmıştır. Malzemelerin kayıp tanjant değerleri S-Bandı frekansları cinsinden bir fonksiyona bağlanmıştır. Ortalama karekök hata mermer türü için 0.0249, granit türü için 0.0318 ve tuğla türü için 0.0805 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Başkalaşım kayalar, Dielektrik sabiti, Granit, Kayıp tanjantı, Kayrak taşı, Mermer, Püskürük kayalar, Tuğla

JÜRİ: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi Bektaş ÇOLAK

ABSTRACT

PRODUCTION OF S-BAND DIELECTRIC DATABASE FOR INDUSTRIAL NATURAL STONES

Merve SÜNEL

MSc Thesis in Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

October 2018; 52 pages

Knowing the complex dielectric permeability of natural stones and building materials is of great importance for many applications. Geological researches, remote sensing and building applications are good examples.

In this thesis, 26 different type of natural stones and building materials which are 14 different types of marble, 9 types of granite, 2 types of bricks and 1 type of slate were used to determine electrical properties in the S-Band. Measurements were made in laboratory conditions by using a vector network analyzer and waveguide.

Dielectric constant and loss tangent values which discussed in the study were calculated respectively as 5.32 and 0.25 for marbles, 4.49 and 0.43 for granites , 3.59 and 0.665 for the brick and 6.29 and 0.55 for slate. The standard deviation values of the related groups were 0.81 and 0.06 for the marble type, 1.38 and 0.10 for the granite type, 0.39 and 0.01 for the brick type. The loss tangent values of the materials are linked to a function in terms of S-Band frequencies. The root mean square error was calculated as 0.0249 for marble, 0.0318 for granite type and 0.0805 for brick type.

KEYWORDS: Brick, Dielectric constant, Granite, Igneous rocks, Loss tangent, Marble, Metamorphic rocks, Slate

COMMITTEE: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Assist. Prof. Dr. Bektaş ÇOLAK

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitim hayatım boyunca desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk HELHEL'e, model kurulması ve deneysel düzeneklerinin hazırlanması esnasında özverili katkılarından dolayı kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Atalay KOCAKUŞAK'a, çalışmada kullanılan materyallerin teminine katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN'a ve desteğini benden hiç esirgemeyen tüm değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemdeki üstün emeklerinden dolayı annem Sayın Mine SÜNEL ile babam Sayın OSMAN SÜNEL'e ve kardeşim Melis Aysu SÜNEL'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
AKADEMİK BEYAN.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Literatür Taraması.....	3
2.2. Elektromanyetik Dalgalar.....	8
2.3. Dielektrik Özellikler.....	9
3. MATERYAL VE METOT.....	10
3.1. Ölçüm Düzeneği.....	10
3.2. Ham Verilerden Elektriksel İletkenlik Hesabı.....	11
3.3. Test Numunelerinin Hazırlanması.....	12
4. BULGULAR.....	16
5. TARTIŞMA.....	43
6. SONUÇLAR.....	49
7. KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Endüstriyel Doğal Taşlara Ait S-Bandı Dielektrik Katsayısı Veri Tabanının Oluşturulması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

10/10/2018

Merve SÜNEL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Hz : Hertz

GHz : Gigahertz

K : Kelvin

KHz : Kilohertz

MHz : Megahertz

Kısaltmalar

RMSE : Ortalama Karekök Hata

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga	8
Şekil 3.1. Network analizör	10
Şekil 3.2. Mermer örneği ve dalga kılavuzu	10
Şekil 3.3. Mermer örnekleri ilk grup	12
Şekil 3.4. Mermer örnekleri ikinci grup	12
Şekil 3.5. Ölçülen granit örnekleri	14
Şekil 3.6. Ölçülen tuğla örnekleri	15
Şekil 3.7. Ölçülen kayrak örneği.....	15
Şekil 4.1. M1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	16
Şekil 4.2. M1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	17
Şekil 4.3. M2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	17
Şekil 4.4. M2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	18
Şekil 4.5. M3 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	18
Şekil 4.6. M3 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	19
Şekil 4.7. M4 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	19
Şekil 4.8. M4 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	20
Şekil 4.9. M5 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	20
Şekil 4.10. M5 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	21
Şekil 4.11. M6 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	21
Şekil 4.12. M6 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	22
Şekil 4.13. M7 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	22
Şekil 4.14. M7 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	23
Şekil 4.15. M8 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	23
Şekil 4.16. M8 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	24
Şekil 4.17. M9 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	24

Şekil 4.18. M9 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	25
Şekil 4.19. M10 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	25
Şekil 4.20. M10 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	26
Şekil 4.21. M11 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	26
Şekil 4.22. M11 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	27
Şekil 4.23. M12 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	27
Şekil 4.24. M12 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	28
Şekil 4.25. M13 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	28
Şekil 4.26. M13 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	29
Şekil 4.27. M14 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	29
Şekil 4.28. M14 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	30
Şekil 4.29. G1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	30
Şekil 4.30. G1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	31
Şekil 4.31. G2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	31
Şekil 4.32. G2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	32
Şekil 4.33. G3 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	32
Şekil 4.34. G3 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	33
Şekil 4.35. G4 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	33
Şekil 4.36. G4 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	34
Şekil 4.37. G5 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	34
Şekil 4.38. G5 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	35
Şekil 4.39. G6 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	35
Şekil 4.40. G6 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	36
Şekil 4.41. G7 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	36
Şekil 4.42. G7 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	37
Şekil 4.43. G8 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	37

Şekil 4.44. G8 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı.....	38
Şekil 4.45. G9 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	38
Şekil 4.46. G9 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı.....	39
Şekil 4.47. T1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	39
Şekil 4.48. T1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	40
Şekil 4.49. T2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı	40
Şekil 4.50. T2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı	41
Şekil 4.51. K1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı.....	41
Şekil 4.52. K1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı.....	42
Şekil 5.1. Mermer türü için kayıp tanjant fonksiyonu	44
Şekil 5.2. Granit türü için kayıp tanjant fonksiyonu	46
Şekil 5.3. Tuğla türü için kayıp tanjant fonksiyonu.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ölçülen mermer örneklerinin özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Ölçülen granit örneklerinin özellikleri.....	14
Çizelge 3.3. Ölçülen tuğla örneklerinin özellikleri.....	14
Çizelge 3.4. Ölçülen kayrak örneğinin özellikleri.....	15
Çizelge 5.1. Mermer örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları.....	43
Çizelge 5.2. Mermer örneklerinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları.....	44
Çizelge 5.3. Granit örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları.....	45
Çizelge 5.4. Granit örneklerinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları.....	46
Çizelge 5.5. Tuğla örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları.....	47
Çizelge 5.6. Tuğla örneklerinin kayıp tanjant değerleri.....	47
Çizelge 5.7. Kayrak örneğinin dielektrik sabiti ile kayıp tanjant ölçüm sonuçları.....	48

1. GİRİŞ

Yerkabuğu, yapısında bulunan birçok mineral ve minerallerin oluşturduğu kayalardan meydana gelmektedir. Kayalar tek bir mineralden meydana gelebildiği gibi birden fazla mineralin bir araya gelmesiyle de oluşmaktadır. Doğal taşlar insanlığın başlangıcından günümüze kadar insan yaşamında yer almış ve insanoğlu tarafından çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Örneğin, insanlığın başlangıcında taşlar barınak yapımında, tarım araç gereçlerinin yapımında, savaş ve av gereçlerinin yapımında kullanılmıştır. Yüzyıllar boyunca da heykelticilik, oymacılık gibi sanat dallarında, iç ve dış mimari ve inşaat uygulamalarında ve bugün tarihi değere sahip hamam, köprü, kervansaray, antik tiyatro gibi yapılarda taşların kullanımına devam edilmiştir. Günümüzde de doğal şartlar altındaki dayanıklılıkları ve işlenebilirlik özellikleri sayesinde yapı sektöründe ve diğer uygulamalarda doğal taşların kullanımına devam edilmektedir. İçerisinde bulunan çeşitli mineraller sayesinde çeşitli renk ve desenlerde olan doğal taş çeşitleri hem göze hitap eder hem de dayanıklıdır. Bu sayede tuğla gibi yapı türleri ile birlikte mermer, granit gibi doğal taş türleri de yapılarda kullanılmaktadır.

Taş ve tuğla türündeki malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılması ile bu malzemelerin kullanılabilmesi için diğer çalışmalarda taş ile tuğla türlerinin fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerinin bilinmesi önem taşır. Çünkü taşların elektriksel davranışlarının bilinmesi şekil, boyut ve yapısının anlaşılmasına fayda sağlar. Ayrıca dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ile kayıp tanjant değeri gibi elektriksel parametrelerin bilinmesi malzemenin enerji kaybı mekanizmasını ortaya koymaktadır.

Dünya yüzeyinin incelenmesi ve bilinmesi uzaktan algılama çalışmaları için önem taşır. Bu nedenle de kayaç ve taşların elektriksel özellikleri ile ilgili çalışmalardan elde edilen sonuçlar uzaktan algılama çalışmalarına bunun yanı sıra madencilik uygulamalarına, arkeolojik çalışmalar ile jeolojik çalışmalara önemli katkılar sağlar. Örneğin, taş örneklerinin frekansa bağlı elektriksel özelliklerinin bilinmesi yer altı radar araştırmalarının planlanması ile taş ocaklarında yapılan çalışmalarda fayda sağlar. Çünkü yer altı radar teknikleri kullanılarak elde edilen verilerin doğru yorumlanması için o bölgedeki kayaç ve yüzeyin elektriksel özelliklerinin doğru bilinmesi gerekir. Tarihi binalar ile ilgili yürütülen çalışmalarda binanın yapı malzemesinin elektriksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak hem korunması gereken bu binalara zarar vermemek hem de binaların yıpranma payı ile ilgili bilgi sahibi olabilmek adına oldukça önemlidir. Taş ve yapı malzemesi türlerinin elektriksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmanın yararlı olacağı alanlardan bir tanesi de mikrodalga ısıtma ve kurutma uygulamalarıdır. Hastanelerde ve binalarda yer alan bebek odaları, askeri alanlar gibi yüksek hassasiyete sahip alanlar için ise bu mekânların yapımında kullanılacak malzemelerin elektriksel özelliklerini bilmek faydalı olacaktır. Örneğin, bu mekânlar içerisindeyken dış dünya ile istenilen frekans bantlarında haberleşmenin sağlanması istenmeyen frekans bantlarının kullanımının önlenmesi sağlanacaktır.

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan S bandında 2.4 GHz ile 3.3 GHz frekans aralığında 14 adet mermer türü, 9 adet granit türü, 2 adet tuğla türü ile 1 adet kayrak türü malzemenin elektriksel özellikleri ölçülmüştür. Toplamda 26 adet doğal taş ve yapı malzemesi türünün laboratuvar ortamında kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısmı ile kayıp tanjant değerleri hesaplanmıştır. Bu elektriksel parametreleri elde etmek amacı ile WR340 dalga kılavuzu ile vektör network analizör ile laboratuvar

ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen saçılma parametreleri kullanılarak her bir örnek için dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant değerleri belirlenmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde kuramsal bilgiler, 3. bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin açıklamaları, 4. bölümünde ise çalışmanın bulguları, 5. bölümde çalışmadan elde edilen bulguların literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması, 6. bölümde ise sonuçların değerlendirilmesinden bahsedilmiştir. Çalışmada başvurulan kaynaklar ise 7. bölümde listelenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Literatür Taraması

Literatürde mineral, kayaç, taş ve tuğla benzeri yapı malzeme örneklerinin elektriksel özelliklerinin araştırılması ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Mermer, granit gibi doğal taşların ve yapı malzemelerinin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant parametreleri ile saçılma parametrelerinin karakteristiklerinin bilinmesi birçok uygulama için bilgi sağlar. Örneğin, uzaktan algılama çalışmalarında, yer altı radar çalışmalarında, mikrodalga ısıtma uygulamalarında ve jeolojik uygulamalarda malzemenin elektriksel özelliklerinin bilinmesi fayda sağlamaktadır. Konu gerek literatürde gerekse endüstriyel uygulamalarda malzemenin yapısının bilinmesinin getirdiği faydalar nedeni ile geniş yer bulmaktadır.

Dhoot vd. (2018) yılındaki çalışmalarında 30 granit örneğinin elektriksel özelliklerini oda sıcaklığında 200 MHz ve 20 GHz frekans aralığında araştırmışlardır. Kuru ve ıslak 30 granit örneğinin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant değerlerini frekansla ilişkili olarak ölçmüşlerdir. Kuru granit örneklerinin dielektrik sabitlerini 1.7 ile 6.5 arasında bulmuşlardır. Islak granit örneklerinin dielektrik sabitlerini ise 4.5 ile 8 arasında bulmuşlardır. Kayıp tanjant değerlerini kuru örnekler için 0.01 ile 0.3 arasında, ıslak örnekler için ise 0.02 ile 0.5 arasında bulmuşlardır. Granit içerisindeki su miktarına bağlı olarak dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp değerlerinin arttığını söylemişlerdir. Farklı granit örnekleri incelendiğinde ise su miktarı haricinde örneklerin kimyasal yapısının da dielektrik sabiti üzerinde etkili olduğunu söylemişlerdir (Dhoot vd. 2018).

Vacceneo vd. (2004) yılında kumtaşı, mermer ve kireçtaşı örneklerinin elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Tarihi binalar ile ilgili araştırmalarda yer altı radar tekniklerinden elde edilen verilerin doğru bir biçimde yorumlanabilmesi için taşların elektriksel özelliklerinin doğru bilinmesi gerektiğini söylemişlerdir. Bu amaçla kumtaşı, mermer ve kireçtaşı örneklerinin 1.1 GHz ile 1.7 GHz frekans aralığında dielektrik sabiti ile özgül dirençlerini araştırmışlardır. Mermer, kireçtaşı ile kumtaşı örneklerinin iletim katsayılarını dalga kılavuzu ve vektör network analizörden oluşan sistem ile ölçmüşlerdir. İletim katsayısı parametresini kullanarak malzemenin dielektrik sabitini hesaplamışlardır. Kireç taşı örneği için dielektrik sabitini 3.5 ile 4.6 arasında, kumtaşı örneklerinin dielektrik sabitini 3.5 ile 6.4 arasında ve mermer örnekleri için dielektrik sabitini 6.3 ile 8.4 arasında bulmuşlardır (Vacceneo vd. 2004).

Kumar (2012) yılında mikrodalga uzaktan algılama çalışmalarında taşların dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant parametrelerinin bilinmesinin önemli bir bilgi kaynağı olduğunu söylemiştir. Dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp parametrelerinin bilinmesinin taşların gözenekli yapısı, su emme kapasitesi ve taş geometrisi hakkında yorum yapmayı kolaylaştırdığını söylemiştir. Bu nedenle, Rewari ve Alwar bölgelerindeki kireçtaşlarının, kayrak taşlarının ve mermer örneklerinin 8 GHz ile 12 GHz frekans aralığında dielektrik sabiti ve kayıp tanjant parametrelerini ölçmüştür. Ölçüm sonuçlarını 8.395 GHz frekansta dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve kayıp tanjant değeri olarak sunmuştur. Örneklerin dielektrik sabitlerini 3.9-4.3 aralığında bulmuştur. Kayıp tanjantı ise 0.064 ile 0.081 aralığında bulmuştur (Kumar 2012).

Singh vd. (1980) yılında 8 GHz ile 10 GHz frekans aralığında kömür ve kumtaşı örneklerinin dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve kayıp tanjant değerlerini ölçmüşlerdir. Tuz ve nem faktörlerinin dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değeri üzerindeki etkisine değinmişlerdir. Yansıma ve iletim katsayısı değerlerinin kömür ve kumtaşı örneklerinin elektriksel davranışları hakkında bilgi verdiğini söylemişlerdir. Kumtaşı örneğinin dielektrik sabitini 5 ile 6 arasında bulmuşlardır (R. Singh vd. 1980).

Chen vd. (2017) yılında kayaların elektriksel özelliklerini ölçmek amacıyla paralel plakalı kondansatör prensibine dayalı yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Paralel plakalı kondansatör sisteminin bilgisayar ortamında benzetimini yapmışlardır. 100 KHz ile 1 GHz frekans aralığında çeşitli malzemelerin ve kayaç örneklerinin dielektrik sabitlerini ölçmüşlerdir. Ortaya koydukları benzetim sisteminin farklı geometrilere sahip kayaç örneklerinin dielektrik sabitlerini hesaplamak için kullanılabilceğini söylemişlerdir. Benzetim sisteminin laboratuvar ortamında ölçüm yaparken ortaya çıkabilecek fiziksel ölçüm hatalarını ortadan kaldırdığını ve teorik referans değerleriyle uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Kumtaşı örneği için dielektrik sabitini 5 olarak hesaplamışlardır (Chen vd. 2017).

Patil ve Chaudhari (2016) yılında beş farklı magmatik bazalt ve granit örneğinin elektriksel özelliklerini 9.32 GHz, 9.75 GHz ile 10.25 GHz frekanslarında ölçmüşlerdir. Ölçümleri dalga kılavuzu hücre yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri elektriksel parametreleri taş örneklerinin emisyon değerlerini hesaplamak için kullanmışlardır (Patil ve Chaudhari 2016).

Suresh ve Sathaiah (2014) yılında Güney Hindistan'ın çeşitli bölgelerinden elde ettikleri granit örneklerinin kimyasal ve elektriksel özelliklerini 300 K ile 725 K sıcaklık aralığında araştırmışlardır. İlk olarak kimyasal özelliklerini araştırdıkları granit örneklerinin 1 Hz ile 5 MHz frekans aralığında dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerlerini ölçmüşlerdir. Her bir sıcaklık aralığı için dielektrik sabiti ve kayıp tanjant ile frekans arasındaki ilişkiyi çalışmalarında grafiklerle ifade etmişlerdir. Elde ettikleri bilgilerden yararlanarak taşların kimyasal ve elektriksel özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır (Suresh ve Sathaiah 2014).

Bapna ve Joshi (2014) yılında Hindistan'a ait çeşitli dekoratif taşların X bant frekans aralığında elektriksel davranışlarını araştırmışlardır. 8.8 GHz ile 12.2 GHz frekans aralığında yaptıkları ölçümlerde dielektrik sabitinin frekans ile ilişkili olduğunu söylemişlerdir. Farklı taş tipleri ile yaptıkları ölçümler sonucu dielektrik sabitinin gerçek kısmını 3.5000 ile 8.0194 aralığında bulmuşlardır. Renk özelliklerinin kimyasal bileşimlerle bağlantılı olarak her taş türü için değiştiğini söylemişlerdir. Kayıp tanjant değerini farklı taş türleri için farklı olarak elde etmişlerdir. Dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısmının hem ıslak hem kuru örnekler için frekansın artmasıyla azalma gösterdiğini söylemişlerdir (Bapna ve Joshi 2014).

Olatinsu vd. (2013) yılında Nijerya'da bulunan Ewekoro'dan elde ettikleri dokuz adet kireçtaşı ve kumtaşı örneğinin elektriksel özelliklerini 10 KHz ile 110 MHz aralığında atmosferik koşullar altında ölçmüşlerdir. Kuru numunelerin dielektrik sabit değerlerinin, ölçtükleri frekans aralığında frekans artışı ile azaldığını söylemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre taş tipinin ve taş heterojenliğinin kayaçların elektriksel davranışını ortaya koyduğunu söylemişlerdir. Elde ettikleri dielektrik sabiti ve kayıp

tanjant değerlerine bakarak kumtaşı ve kireçtaşı örneklerinin kimyasal bileşimleri ve doğasının farklı olduğunun ayırt edilebileceğini söylemişlerdir. Farklı taş türlerinin de bu frekans aralıklarında ayrıntılı çalışılması durumunda yer altı radar görüntüleme ve inceleme çalışmalarına katkı sağlanabileceğini söylemişlerdir (Olatinsu vd. 2013).

Bapna ve Joshi (2013) yılında Hindistan'ın Mewar bölgesinden çıkarılan mermer örneklerinin dielektrik özelliklerini 8 GHz ile 12 GHz frekans aralığında ölçmüşlerdir. Mermerlerin kimyasal bileşiminin kuru mermerlerde dielektrik sabitini etkileyen en önemli faktör olduğunu söylemişlerdir. Su ile doymuş mermerlerin ise X bant frekans bölgesinde neredeyse aynı dielektrik sabit değerlerini gösterdiklerini söylemişlerdir. Mermerlerin X bant frekans bölgesinde ortalama dielektrik sabitlerini kuru mermerler için 4-6 arasında, ıslak mermerler için ise 4.1-4.8 arasında bulmuşlardır (Bapna ve Joshi 2013).

ElShafie ve Heggy (2013) yılında 100 MHz ile 1000 MHz frekans aralığında 12 farklı bazalt kayaç türünün elektriksel özelliklerini kapasitif hücre yöntemi kullanarak ölçmüşlerdir. Kompleks dielektrik geçirgenliğin reel kısmını nem içerikleri ile birlikte 12 örnek için hesaplamışlardır. Ölçümler sonucunda dielektrik sabitinin gerçek kısmının kaya sertliği ile ilişkili olduğunu söylemişlerdir. Ölçülen örneklerin dielektrik sabiti değerlerini 1.86 ile 7.6 arasında hesaplamışlardır (ElShafie ve Heggy 2013).

Chaudhari ve Ahire (2013) yılında beş adet magmatik kaya örneğinin elektriksel özelliklerini dalga kılavuzu hücre metodu kullanılarak X bandı frekans bölgesindeki 9.32 GHz, 9.72 GHz ve 10.25 GHz frekanslarında ölçmüşlerdir. Ölçümler sonucunda örneklerin dielektrik kompleks geçirgenliklerinin reel ve sanal kısımlarını sunmuşlardır. Atmosferik koşullarda magmatik kayaç örneklerinin kompleks dielektrik geçirgenliğinin hem sanal hem reel kısmının frekans artışı ile ters orantılı olduğunu söylemişlerdir. Granit örneklerinin dielektrik sabitini 1.96 ile 2.06 arasında hesaplamışlardır (Chaudhari ve Ahire 2013).

Sengwa ve Soni (2008) yılında Hindistan'ın batısındaki Rajasthan bölgesinden elde ettikleri ve içerisinde kil, silis, linyit, kalsit, magnezyum mineralleri bulduran 8 kaya örneğinin elektriksel ve kimyasal özelliklerini 100 Hz ile 100 KHz frekans aralığında ve X bant frekans bölgesinde incelemişlerdir. Kaya örneklerinin içerisinde bulunan mineralleri her bir örnek için ortaya koymuşlardır. Kaya örneklerinin kompleks dielektrik geçirgenliklerinin reel ve sanal kısımları ile kayıp tanjantlarının frekans ile değişimlerini grafiklerle çalışmalarında ortaya koymuşlardır. 10.1 GHz'de ölçülen örneklerin dielektrik sabiti değerlerini 2.15 ile 7.5 arasında hesaplamışlardır (Sengwa ve Soni 2008).

Hlavacova (2007) yılında tuğla ve kumtaşı örneklerinin elektriksel özelliklerini araştırmıştır. Örnek malzemelerin kuru ve ıslak halde direnç, empedans ve kapasitans değerlerini ölçmüştür. Örnek malzemelerin farklı nem değerlerindeki elektriksel özelliklerinin frekansa göre cevabını çalışmasında grafiklerle ortaya koymuştur (Hlavacova 2007).

Sengwa vd. (2007) yılında ıslak ve kuru kumtaşı örneklerinin dielektrik özelliklerini 100 Hz ile 100 KHz frekans aralığında ve 10.1 GHz'de oda sıcaklığında incelemişlerdir. 10.1 GHz'de kuru kumtaşı örneklerinin dielektrik sabitlerinin gerçek

kısımlarını 3.5-4.84 değerleri arasında olduğunu hesaplamışlardır. Örneklerin kompleks dielektrik geçirgenliklerinin reel ve sanal kısımları ile kayıp tanjant değerlerini frekansla ilişkili olarak çalışmalarında grafiklerle ifade etmişlerdir (Sengwa vd. 2007).

Sengwa ve Soni (2006) yılında Jodhpur bölgesine ait ıslak ve kuru 17 farklı kireçtaşı türünün elektriksel özelliklerini 100 Hz ile 100 KHz frekans aralığında ve 10.1 GHz'de oda sıcaklığında ölçmüşlerdir. Örneklerin dielektrik sabiti değerlerini 4.56 ile 7.81 arasında bulmuşlardır. Dielektrik kompleks geçirgenliğinin reel ve sanal kısmı ile kayıp tanjantın frekansla ilişkisini çalışmalarında grafiklerle sunmuşlardır (Sengwa ve Soni 2006).

Sengwa ve Soni (2005) yılında oda sıcaklığında 9 mermer örneğinin dielektrik geçirgenliğini 100 Hz ile 100 KHz frekans aralığında ve 10.1 GHz'de ölçmüşlerdir. 10.1 GHz'de dielektrik sabitini 5.80 ile 8.06 aralığında bulmuşlardır. Kompleks dielektrik geçirgenliğinin sanal kısmını ise 0.27 ile 1.02 aralığında bulmuşlardır (Sengwa ve Soni 2005a).

Sengwa ve Soni (2005) yılında Hindistan'dan elde edilen 20 granit örneğinin 100 Hz ile 100 KHz ve 10.1 GHz'de kompleks dielektrik geçirgenliklerini incelemişlerdir. Kuru granit örnekleri için dielektrik sabitini 10.1 GHz'de 4.5-8.3 aralığında ifade etmişlerdir. Dielektrik özellikler frekansla ilişkili olarak çalışmada kimyasal ve fiziksel özelliklerle birlikte sunulmuştur (Sengwa ve Soni 2005b).

Sengwa ve Soni (2004) yılında 100 Hz ile 100 KHz arasında ve 10.1 GHz'de kumtaşı örneklerinin dielektrik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Örnekler için 10.1 GHz'de dielektrik sabitini 3.88-4.33 aralığında bulmuşlardır. Dielektrik kayıp ve kayıp tanjant gibi diğer elektriksel özellikleri grafiklerle birlikte frekansa bağlı olarak çalışmalarında sunmuşlardır (Sengwa ve Soni 2004).

Tian vd. (2002) yılında görünür ve yakın kızılötesi bölgesi ile mikrodalga bölgesinde ortalama spektral yansıma ölçümü yapmışlardır. Yaptıkları ölçümlerde 34 farklı tortul kaya örneği için dielektrik sabiti ile kimyasal içerikleri arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Kumtaşı, kireç taşı, silt taşı gibi 34 tortul kaya örneğinin kimyasal özellikleri ile kompleks dielektrik geçirgenliğinin sanal ve reel kısmı ile kayıp tanjant gibi elektriksel özelliklerini ortaya koymuşlardır (Tian vd. 2002).

Sambuelli vd. (1998) yılında tarihi ve eski binaların yapımında kullanılmış ve yeni binaların yapımında da kullanılan 20 taş örneğinin elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Ölçümleri 200 MHz ile 6 GHz frekans aralığında network analizör yardımı ile yapmışlardır. Elde edilen elektriksel özellikler ile tarihi binalarda ortaya çıkan yıpranma miktarı arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlardır (Sambuelli vd.1998).

Adams vd. (1996) yılında granit ve bazalt magmatik taşlarının dielektrik sabitlerini ölçmüşlerdir. Granit için dielektrik sabitinin reel kısmını 5.2, bazalt için ise 10.5 olarak bulmuşlardır (Adams vd. 1996).

Ulaby vd. (1990) yılında mikrodalga bölgesindeki 80 kaya örneğinin dielektrik özelliklerini incelemek için çeşitli ölçüm tekniklerinin bir kombinasyonunu kullanmışlardır. Göreceli dielektrik sabitinin gerçek kısmını 500 MHz ile 18 GHz

arasında 100 MHz'lik adımlarla ölçmüşlerdir. Aynı örneklerin sanal kısmını ise 1.6 GHz ve 16 GHz aralığında 5 farklı frekansta ölçmüşlerdir (Ulaby vd.1990).

Singh vd. (1980) yılında kumtaşı, kuvarsit, kireçtaşı, mermer, dolerit ve bazalt örneklerinin dielektrik sabiti ve kayıp tanjantlarının laboratuvar ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. 100 Hz ile 10 MHz frekans aralığında ölçümler için LCR köprüsü ve Q metre kullanmışlardır. Sonuçları, bu parametrelerin karakteristik özelliklerini gösteren frekans ile varyasyonları şeklinde sunmuşlardır. Bu numunelerin nem içeriğinin dielektrik özellikler üzerindeki etkisine dair gözlemleri de rapor etmişlerdir (R. P. Singh vd. 1980).

Scott (1940) yılında Vermont, Alabama ve Georgia tipi mermerlerin dielektrik sabitlerini, kayıp tanjant ve öz direnç değerlerinin kurumaya bağlı değişimini ölçmüştür. Ölçümler öncesinde numuneler %85 nispi neme sahip depoda bir aydan fazla bir süre tutularak mermer içerisindeki mutlak nem miktarının maksimum seviyeye çıkmasını sağlamıştır. Bu noktayı kurumaya bağlı ölçümler öncesi başlangıç noktası olarak almıştır. Mermerlerin elektriksel geçirgenliği ile kayıp tanjantı bileşenlerinin frekansa bağlı değişimini gözlemlemiştir. Ölçümlerinde elektriksel özelliklerin kurumaya bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini, ancak renkli mermerin beyaz mermerlerden daha yüksek dielektrik sabitleri ve kayıp tanjantına sahip olduğunu bulmuştur (Scott 1940).

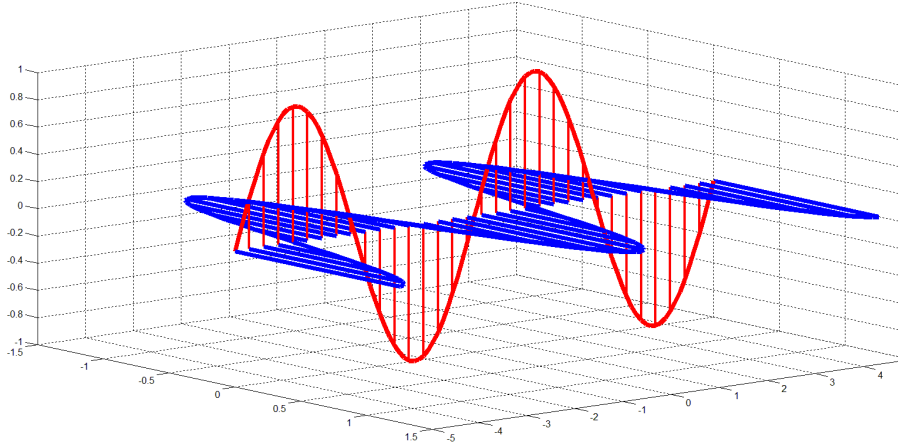
Tiwari ve Dubey (2012) yılında Hindistan civarından elde ettikleri bazı taşların X bandındaki elektriksel özelliklerini ortaya koymuşlardır. Dalga kılavuzu kullanarak iletim ve yansıma katsayılarını elde etmişlerdir. Kayaçların X-band frekansı için yansıma katsayısı hesaplanmış ve frekans arttıkça elektriksel geçirgenlik değerinin azaldığı görülmüştür. Bu deney çalışması ayrıca kayaçların dielektrik davranışını belirlemede kayaçların kimyasal bileşiminin önemini göstermektedir (Tiwari ve Dubey 2012).

Dos Jandos ve Barbin (2015) yılında mika bazlı minerallerin elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Vektör analizör kullanarak 1.6 GHz, 1.8 GHz, 2.0 GHz ve 2.45 GHz frekanslarında iletim ve yansıma değerlerini ölçmüşlerdir. Bu parametreleri kullanarak kompleks dielektrik geçirgenliğin reel ve sanal kısmını elde etmek ve ayrıca kayıp tanjantı bulmak için Nicholson-Ross-Weir metodunu kullanmışlardır. Ölçüm sonuçlarını doğrulamak için CST ortamında benzetim yapmışlardır. Vermikülit örneğinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçlarına göre 3.53 ile 4.18, benzetim sonuçlarına göre 4.20-4.29 arasında bulmuşlardır. Kayıp tanjant ise ölçüm sonuçlarına göre 0.03-0.13 arasında değişkenlik gösterirken, benzetim sonuçlarına göre 0.04-0.11 arasındadır (Dos Jandos ve Barbin 2015).

Cuiñas ve Sánchez (2000) yılındaki çalışmalarında duvar tuğlası, alçıpan, sunta ve cam gibi yapı malzemelerinin elektriksel özelliklerini ölçmüşlerdir. 5.8 GHz'de Free Space metodunu kullanarak iletim katsayısının faz ve genlik bilgisini elde etmişlerdir. Bu parametrelerden yararlanarak dielektrik sabiti ve kayıp tanjant bilgisini ortaya koymuşlardır. Duvar tuğlası örneği için 5.8 GHz'de kompleks dielektrik geçirgenliğin reel kısmını yatay polarizasyonda 3, dikey polarizasyonda 3.58 olarak hesaplamışlardır. Duvar tuğlası örneğinin kayıp tanjant değerini ise yatay polarizasyonda 0.12 ve dikey polarizasyonu ise 0.11 olarak hesaplamışlardır (Cuiñas ve Sánchez 2000).

2.2. Elektromanyetik Dalgalar

Hareketsiz bir elektrik yükü etrafında bir elektrik alanı vardır. Bu alan, etrafındaki başka herhangi bir elektrik yüküne itme veya çekme kuvveti uygular. Hareketsiz bir elektrik yükü hareket edince manyetik alan oluşur. Bu alan, etrafındaki manyetik metal parçasına veya mıknatısa manyetik itme veya çekme kuvveti uygular. Bu duruma elektromanyetik alan neden olur.



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga

Elektromanyetik dalgaların yayılımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Elektrik ve manyetik dalgalar ışık hızı ile uzayda yayılırken bir yalıtkan ortam içerisinde ortam parametrelerine bağlı olarak farklı hızlarda yayılırlar ve elektromanyetik güç taşırlar. Işıma doğrultusunda ilerleyen bir dalga için elektrik ve manyetik alanlar birbirine diktir ve bu bileşenlerin vektör çarpımı ile elde edilen Poynting vektörü (güç akış vektörü) her ikisine de dik üçüncü uzay koordinat bileşeni yönünde ilerler. Poynting vektörü bir elektromanyetik alana eşlik eden güç yoğunluğu vektörü olarak tanımlanır. Bu eşitlik Denklem 2.1 ile verilmiştir.

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.1)$$

Bu denklemde \vec{E} ve \vec{H} sırası ile elektrik alan şiddeti ile ona eşlik eden dik doğrultudaki manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin birlikte oluşturduğu düzlem Poynting vektörüne diktir. Elektromanyetik dalgalar frekans ve dalga boylarıyla ifade edilir. Dalgaların hızı, ortama göre değişirken frekans değeri ortama göre değişmez. Elektromanyetik dalgalar için frekans ve dalga boyu arasındaki bu ilişki Denklem 2.2 ile ifade edilmiştir. Burada faz hızı v_p (m/s), f dalganın frekansı (Hz) ve λ ise dalga boyunu (m) ifade eder.

$$v_p = c/\sqrt{\epsilon_r} = \lambda/T = \lambda \cdot f \quad (2.2)$$

2.3. Dielektrik Özellikler

Dielektrik özellikler, elektrik alan ve malzemeler arasındaki etkileşimi belirlemede önemli bir rol oynar. Kompleks dielektrik geçirgenlik sırasıyla dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Göreceli kompleks dielektrik geçirgenlik ϵ^* Denklem 2.3 ile ifade edilir.

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.3)$$

Burada ϵ' dielektrik sabiti ve ϵ'' dielektrik kayıp faktörüdür. ϵ' , malzemenin elektrik enerjisini depolayabilme yeteneğini ifade eder. ϵ'' maddenin elektrik enerjisini ısı olarak yayma yeteneğini gösterir.

Dielektrik malzemeler dielektrik kayıp tanjant olarak bilinen bir büyüklük ile karakterize edilirler. Kayıp tanjant Denklem 2.4 ile ifade edilmiştir. Dielektrik malzemenin elektriksel iletkenliği ise Denklem 2.5 ile ifade edilmiştir.

$$\tan\delta = \epsilon'' / \epsilon \quad (2.4)$$

$$\sigma = 2 * \pi * f * \epsilon_0 * \epsilon'' \text{ (S/m)} \quad (2.5)$$

Burada $\tan\delta$ kayıp tanjantı, f frekansı ve ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitini ifade eder. Herhangi bir manyetik özellik göstermeyen çoğu materyalin manyetik geçirgenliği boş alanınki ile benzer özellik gösterir. Denklem 2.6 boşluğun dielektrik sabitini ifade ederken, Denklem 2.7 boşluğun manyetik geçirgenliğini ifade eder.

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.6)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (2.7)$$

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde sırası ile ölçme düzeneği ve numunelerin hazırlanması ile elde edilen ham ölçme verilerinin değerlendirilmesinden bahsedilmektedir.

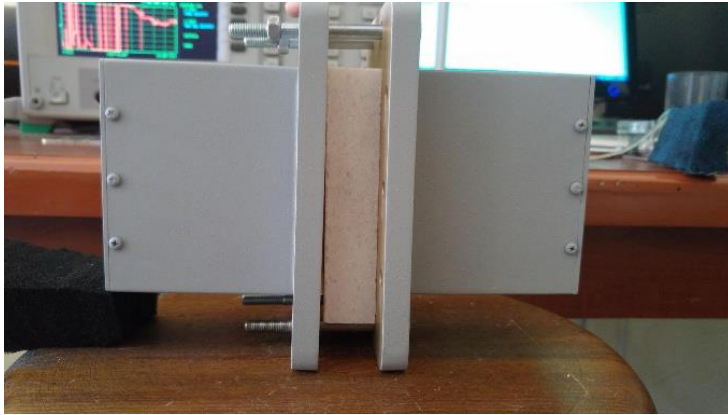
3.1. Ölçüm Düzeneği

Ölçümler Akdeniz Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yer alan Yakın Alan Anten Ölçüm Laboratuvarında yapılmıştır. Ölçüm için laboratuvarında bulunan 10 MHz ile 9 GHz frekans aralığında çalışabilen bir adet vektör network analizör ve WR340 dalga kılavuzları kullanılmıştır. Şekil 3.1'de laboratuvarında bulunan network analizör gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Network analizör

WR340 dalga kılavuzu network analizöre koaksiyel kablo ile bağlanarak örneklerin saçılma parametreleri ölçülmüştür. Şekil 3.2'de dalga kılavuzu ve örnekten oluşan ölçüm düzeneği gösterilmiştir. Toplamda 26 adet mermer, granit, tuğla ve kayrak örneğinin saçılma parametrelerini elde etmek için ölçümler tekrarlanmıştır. Matlab programında dielektrik kompleks geçirgenlik ve kayıp tanjant değerlerini hesaplamak için saçılma katsayılarına ait veriler program aracılığı ile elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Mermer örneği ve dalga kılavuzu

3.2. Ham Verilerden Elektriksel İletkenlik Hesabı

Laboratuvarında vektör network analizör ve dalga kılavuzu kullanılarak yapılan ölçümlerde saçılma parametreleri S_{11} ve S_{21} elde edilmiştir. Elde edilen saçılma parametrelerini kullanılarak 14 adet mermer, 9 adet granit, 2 adet tuğla ve 1 adet kayrak taşı olmak üzere toplam 26 farklı malzemenin dielektrik kompleks geçirgenliğinin gerçek ve sanal kısmı ile kayıp tanjant değerleri hesaplanmıştır.

Dielektrik karmaşık geçirgenliğin gerçek ve sanal kısmı ile kayıp tanjant değeri saçılma parametrelerinden yararlanarak Nicholson-Ross Weir yöntemini kullanarak hesaplanmıştır. S_{11} parametresi ile yansıma katsayısı Γ ile iletim katsayısı T arasındaki ilişki Denklem 3.1 ile ifade edilir. S_{21} parametresi ile yansıma katsayısı Γ ile iletim katsayısı T arasındaki ilişki ise Denklem 3.2 ile verilmiştir.

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

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

Network analizör ile ölçülen S_{11} ve S_{21} parametreleri kullanılarak yansıma katsayısı ve iletim katsayılarını hesaplamak için ilk olarak X değeri elde edilir. Bu parametre Denklem 3.3 ile edilir. Yansıma katsayısı Γ Denklem 3.4 ile iletim katsayısı T Denklem 3.5 ile elde edilir.

$$X = (S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1) / (2 * S_{11}) \quad (3.3)$$

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.4)$$

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

Sonra sırasıyla manyetik geçirgenlik μ ve elektriksel geçirgenlik ϵ hesaplanır. Denklem 3.6 ile Λ değeri hesaplanır. Denklem 3.6'da yer alan L örnek kalınlığını ifade eder.

$$1/\Lambda^2 = -(1/(2 * \pi * L)) * \ln(1/T))^2 \quad (3.6)$$

Manyetik geçirgenlik μ_r Denklem 3.6'dan hesaplanan Λ değeri ile Denklem 3.7 kullanılarak elde edilir. Burada λ_g örneğin dalga kılavuzu içerisindeki dalga boyunu ifade eder. λ_0 boşluktaki dalga boyunu ifade eder. λ_c ise kesim frekansındaki dalga boyunu ifade eder. Denklem 3.6 ve Denklem 3.7 ifadelerinden elde edilen veriler kullanılarak dielektrik kompleks geçirgenlik Denklem 3.8 ifadesi kullanılarak hesaplanır.

$$\mu_r = (1 + \Gamma) / (\Lambda * (1 - \Gamma) * \sqrt{(1/\lambda_0) - (1/\lambda_c)}) \quad (3.7)$$

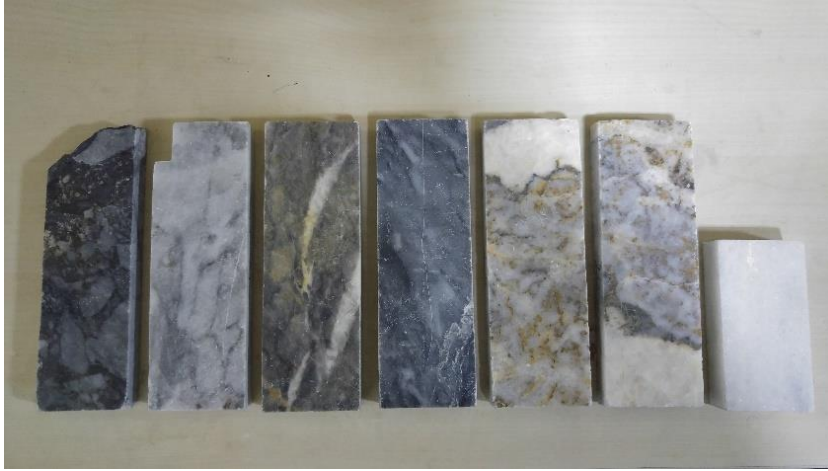
$$\epsilon_r = (\lambda_0^2 / \mu_r) * ((1/\lambda_c) + (1/\Lambda^2)) \quad (3.8)$$

3.3. Test Numunelerinin Hazırlanması

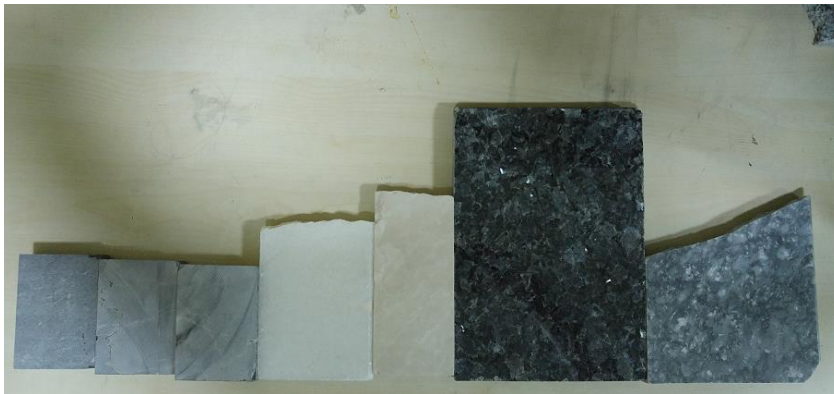
Çalışmanın bu kısmında ölçüm düzeneğine uygun boyutlara sahip numunelerin ne şekilde hazırlandığı anlatılmaktadır. Bu kısımda çalışmada kullanılan toplamda 26 adet mermer, granit, tuğla ve kayrak örneklerinin sınıflandırılması yapılmıştır.

Çalışma için belirlenen numuneler mermer, granit, kayrak taşı ve tuğla olmak üzere kendi içinde sınıflandırılarak sırası ile Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de verilmiştir. Çalışmada 14 adet mermer, 9 adet granit, 2 adet tuğla ve 1 adet kayrak taşı olmak üzere toplam 26 farklı malzeme ele alınmıştır.

Çalışmada kullanılan mermer örnekleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de gösterildiği biçimdedir. Bu örnekler sırası ile Çizelge 3.1'de kodlandığı biçimde M1 mermer örneği Afyon Kaplan Postu mermeri, M2 mermer örneği Afyon gri, M3 mermer örneği sarı damarlı orta koyu gri mermer, M4 örneği koyu gri mermer, M5 örneği sarı damarlı gri mermer, M6 örneği sarı damarlı gri mermer ile M7 örneği beyaz mermer Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Şekil 3.4'de ise sırası ile Çizelge 3.1'de kodlandığı biçimde M8 örneği gri mermer, M9 örneği gri mermer, M10 mermer örneği gri mermer, M11 mermer örneği Burdur beyaz, M12 mermer örneği Bursa Bej, M13 örneği siyah mermer ve M14 mermer örneği orta koyu gri mermerdir.



Şekil 3.3. Mermer örnekleri ilk grup

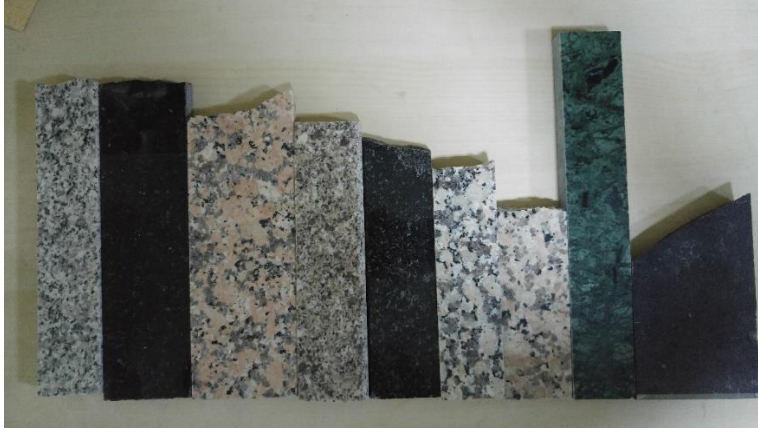


Şekil 3.4. Mermer örnekleri ikinci grup

Çizelge 3.1. Ölçülen mermer örneklerinin özellikleri

Örnek Numarası	Kalınlık (mm)	İsim	Renk
M1	18	Afyon Kaplan Postu Mermeri	Siyah
M2	19	Afyon Gri Mermer	Gri
M3	20	Sarı Damarlı Orta Koyu Gri Mermer	Sarı-Orta Koyu Gri
M4	20	Koyu Gri Mermer	Koyu Gri
M5	19	Sarı Damarlı Gri Mermer	Açık Gri-Sarı-Beyaz
M6	20	Sarı Damarlı Gri Mermer	Açık Gri-Sarı-Beyaz
M7	21	Beyaz Mermer	Beyaz
M8	20	Gri Mermer	Açık Gri
M9	21	Gri Mermer	Açık Gri
M10	23	Gri Mermer	Açık Gri
M11	21	Burdur Beyaz Mermer	Beyaz
M12	19	Bursa Bej Mermer	Bej
M13	19	Siyah Mermer	Siyah
M14	20	Orta Koyu Gri Mermer	Orta Koyu Gri

Çalışmada kullanılan granit örnekleri Şekil 3.5’de gösterildiği biçimdedir. Bu örnekler sırası ile Çizelge 3.2’de kodlandığı biçimde G1 granit örneği Rosa Beta, G2 granit örneği Star Galaksi, G3 granit örneği Rosa Porino, G4 granit örneği Dalmaçya, G5 granit örneği Siyah Granit, G6 granit örneği Rosa Porto, G7 granit örneği Xili Red, G8 granit örneği yeşil granit ve G9 granit örneği mat siyah granittir.



Şekil 3.5. Ölçülen granit örnekleri

Çizelge 3.2. Ölçülen granit örneklerinin özellikleri

Örnek Numarası	Kalınlık (mm)	İsim/Yer	Renk
G1	20	Rosa Beta	Beyaz-Siyah
G2	16	Star Galaksi	Siyah
G3	20	Rosa Porino	Pembe-Siyah-Beyaz
G4	21	Dalmaçya	Siyah-Beyaz
G5	17	Siyah Granit	Siyah
G6	22	Rosa Porto	Pembe-Siyah
G7	18	Xili Red	Pembe-Siyah
G8	20	Yeşil granit	Yeşil
G9	21	Mat Siyah granit	Siyah

Çalışmada kullanılan tuğla örnekleri Şekil 3.6'da gösterildiği biçimdedir. Bu örnekler sırası ile Çizelge 3.3'de kodlandığı biçimde T1 örneği ateş tuğlası ve T2 örneği nar kırmızı tuğladır.

Çizelge 3.3. Ölçülen tuğla örneklerinin özellikleri

Örnek Numarası	Kalınlık (mm)	İsim/Yer	Renk
T1	19	Ateş Tuğlası	Sarı
T2	14	Nar Kırmızı Tuğla	Kırmızı



Şekil 3.6. Ölçülen tuğla örnekleri

Çalışmada kullanılan kayrak örneği Şekil 3.7’de gösterildiği biçimdedir. Bu örnekler sırası ile Çizelge 3.4’de kodlandığı biçimde K1 örneği Denizli kayrağıdır.



Şekil 3.7. Ölçülen kayrak örneği

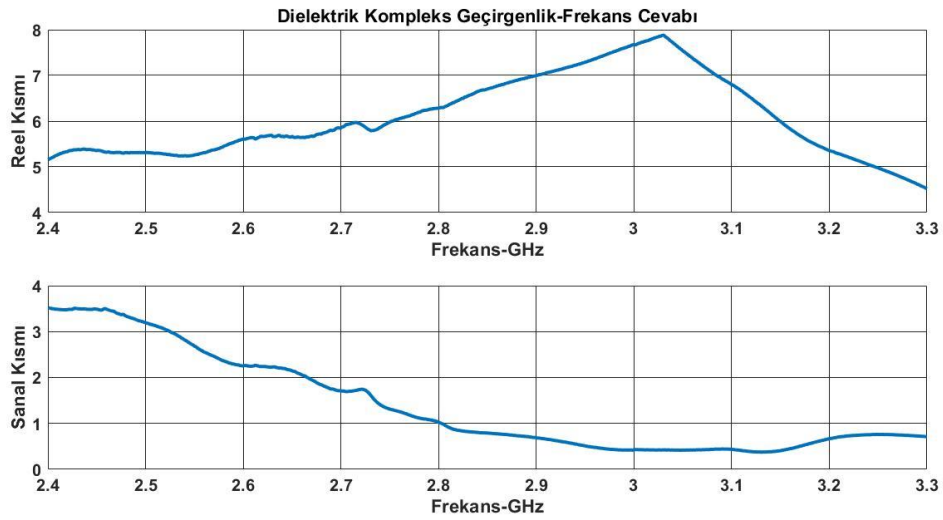
Çizelge 3.4. Ölçülen kayrak örneğinin özellikleri

Örnek Numarası	Kalınlık (mm)	İsim/Yer	Renk
K1	14	Denizli Kayrağı	Sarı

4. BULGULAR

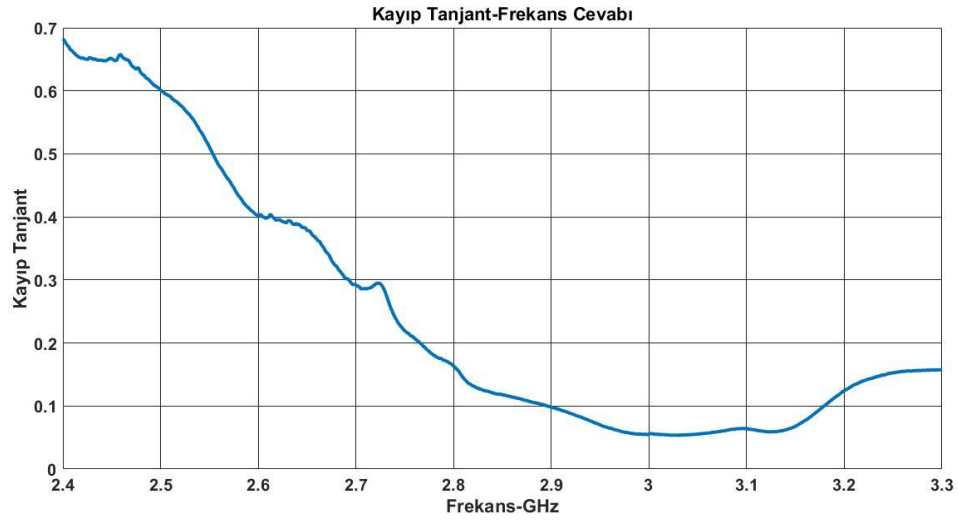
Laboratuvar koşullarında çeşitli boyutlardaki 14 adet mermer örneği, 9 adet granit örneği, 2 adet tuğla örneği ile 1 adet kayrak taşı örneği S bandında yer alan 2.4 GHz ile 3.3 GHz frekans aralığında ölçülmüştür. 3. Bölüm 'de verilen matematiksel eşitliklerden yararlanarak toplamda 26 adet örneğin kompleks dielektrik geçirgenliklerinin reel ve sanal kısımları ile kayıp tanjanları elde edilmiştir. Bu değerler frekans ile ilişkili olarak grafikler ile çizdirilmiştir. Numuneler Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 ile verilen kodlamalar dikkate alınarak incelenmiştir.

M1 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. M1 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 4.5 ve en büyük değeri 7.8 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 3.03 GHz'e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. M1 mermer örneğinin sanal kısmının verilen bant boyunca 3.5'dan başlayarak neredeyse doğrusal bir biçimde azalarak 0.7 değerine yakınsadığı görülmektedir.



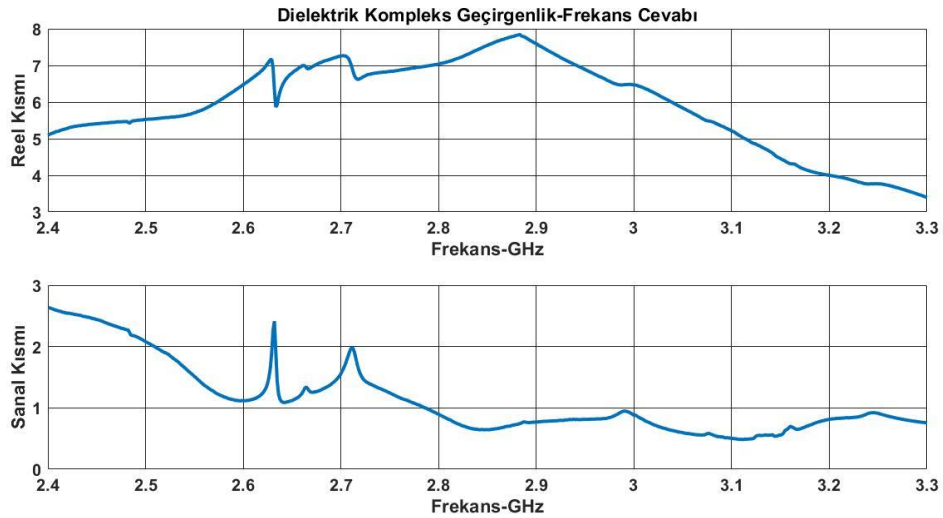
Şekil 4.1. M1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

M1 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde ise M1 mermer örneğinin kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.7 değerinin önce 3 GHz civarında 0.05'e kadar düştüğü ardından kabaca 0.15 değerine yakınsadığı görülmektedir.

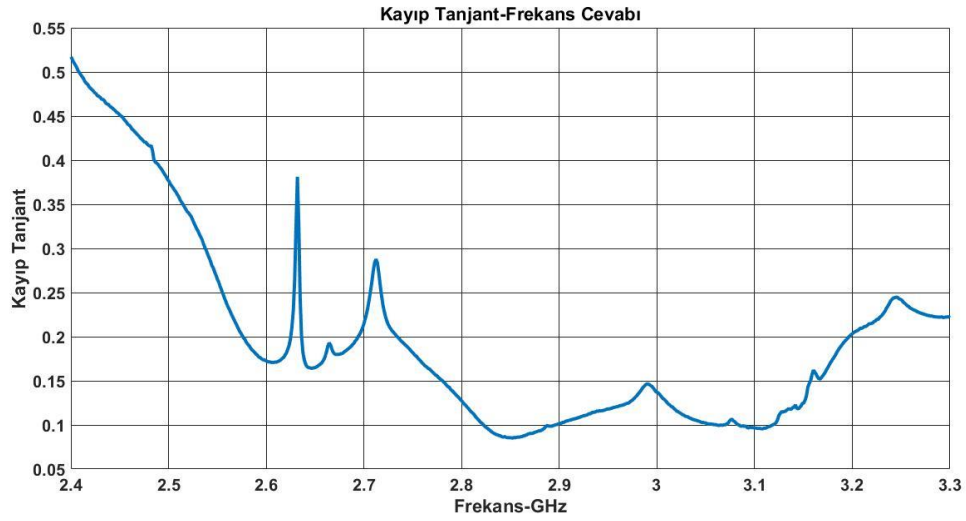


Şekil 4.2. M1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M2 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.3’de gösterilmiştir. M2 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.4 ve en büyük değeri 7.8 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.88 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca 2.6’dan başlayarak neredeyse doğrusal bir biçimde azalarak 0.75 değerine yakınsadığı görülmektedir. M2 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.52 değerinin önce 2.8 GHz civarında 0.08’e kadar düştüğü ardından kabaca 0.25 değerine yakınsadığı görülmektedir.

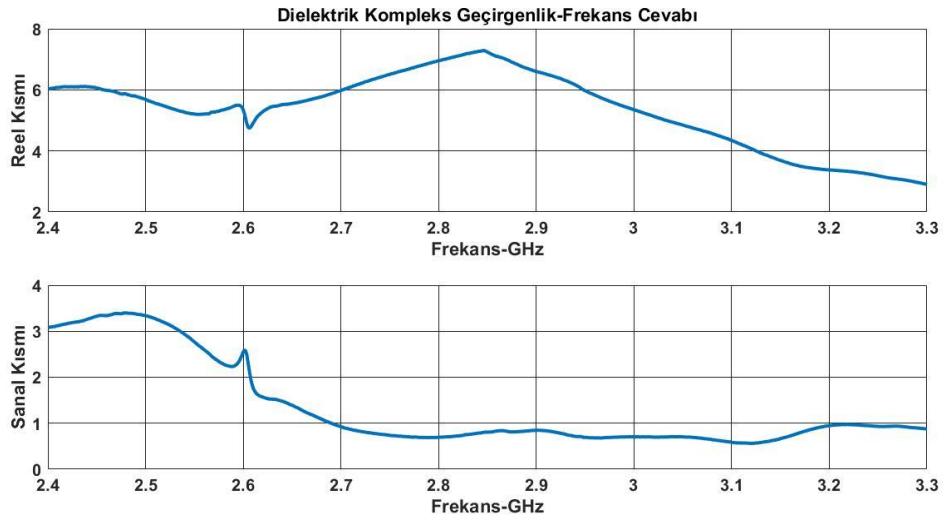


Şekil 4.3. M2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

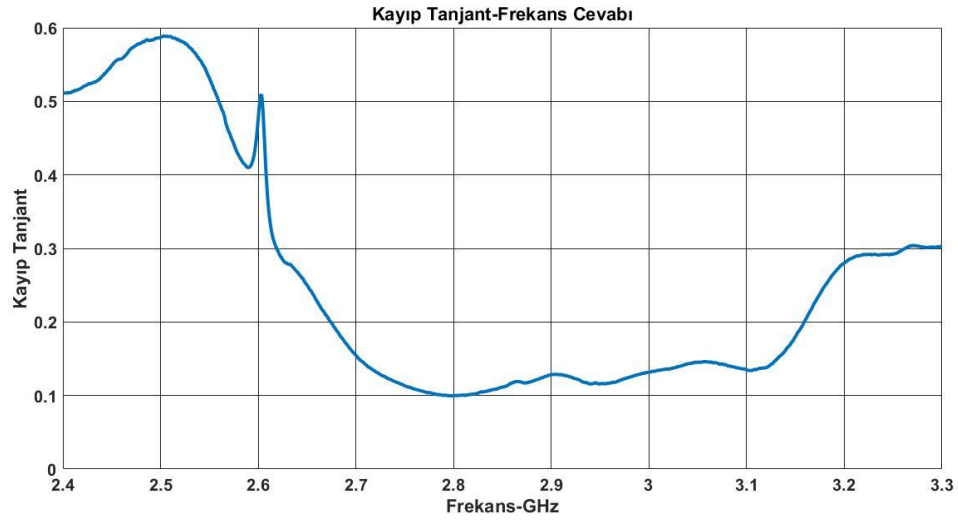


Şekil 4.4. M2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M3 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.5'de gösterilmiştir. M3 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.9 ve en büyük değeri 7.3 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.85 GHz'e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 3.1'den başlayarak neredeyse doğrusal bir biçimde azalarak 0.9 değerine yakınsadığı görülmektedir. M3 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.5 değerinin önce 2.8 GHz civarında 0.1'e kadar düştüğü ardından kabaca 0.3 değerine yakınsadığı görülmektedir.

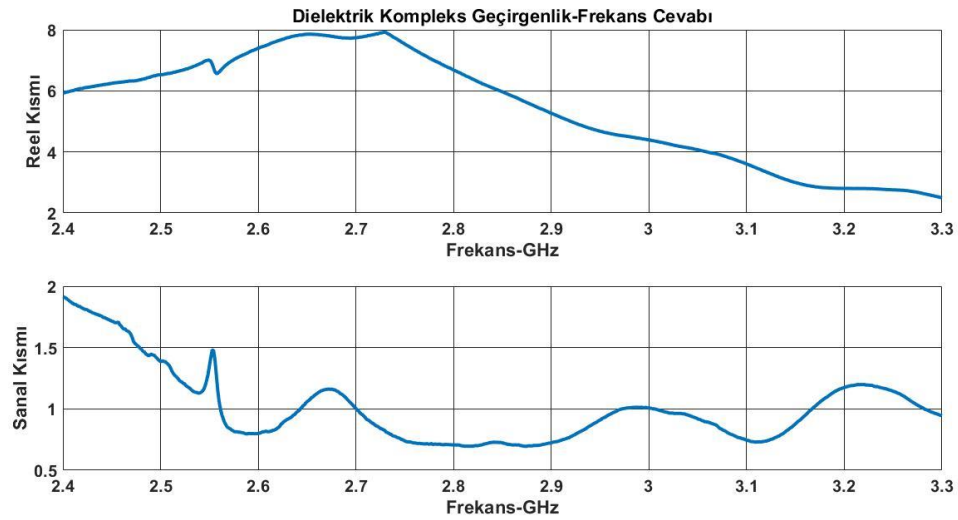


Şekil 4.5. M3 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

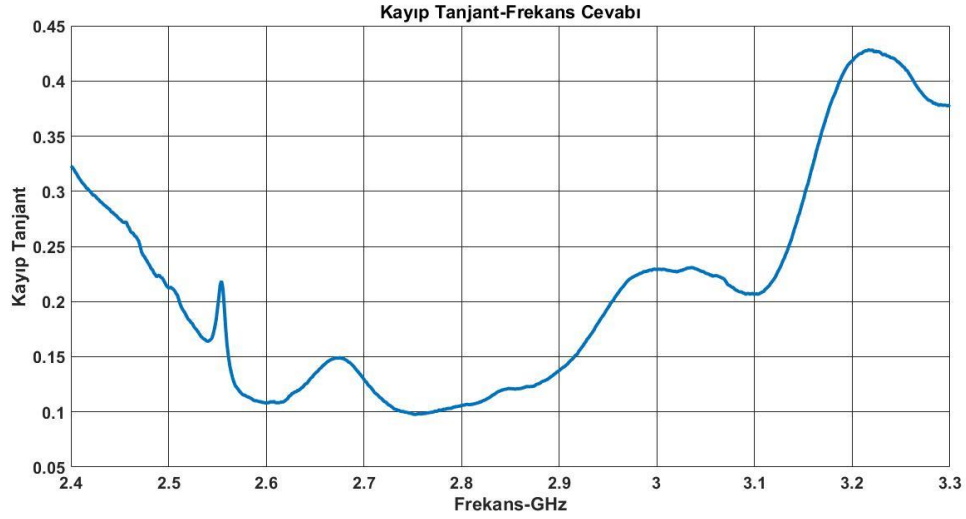


Şekil 4.6. M3 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M4 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.7’de gösterilmiştir. M4 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.5 ve en büyük değeri 7.9 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.73 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca kabaca 1.9 değerinden başlayarak yaklaşık 1 değerine doğru bir azalma gösterdiği görülmektedir. M4 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.3 değerinden başlayarak 2.8 GHz civarında 0.1’e kadar düştüğü, ardından artış göstererek kabaca 0.4 değerine yakınsadığı görülmektedir.

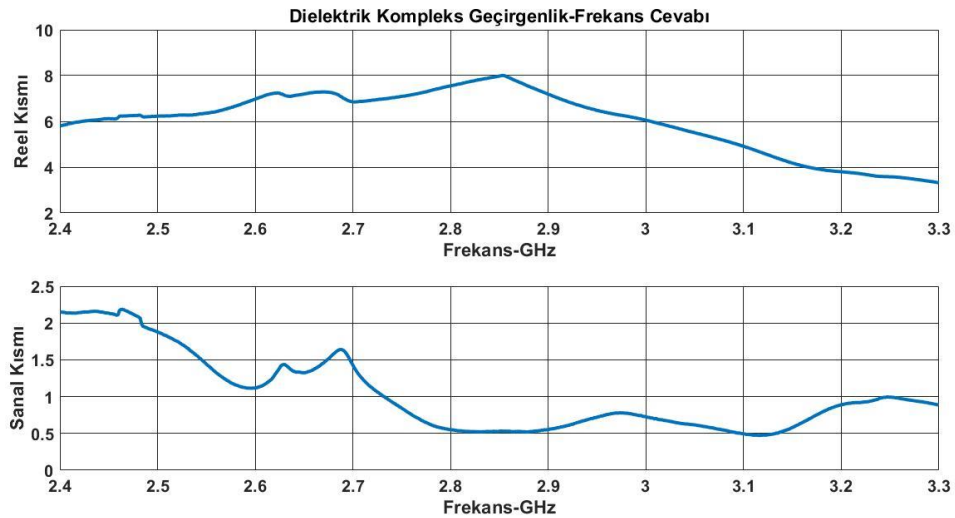


Şekil 4.7. M4 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

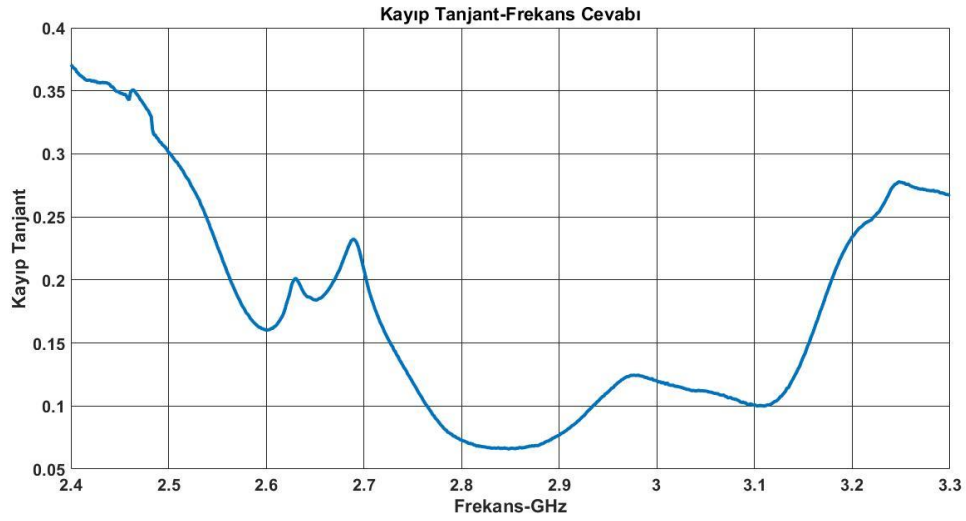


Şekil 4.8. M4 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M5 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.9’da gösterilmiştir. M5 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.3 ve en büyük değeri 8 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.85 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca kabaca 2.1 değerinden başlayarak yaklaşık 0.9 değerine doğru bir azalma gösterdiği görülmektedir. M5 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.37 değerinden başlayarak 2.85 GHz civarında 0.06’ya kadar düştüğü, ardından artış göstererek kabaca 0.26 değerine yakınsadığı görülmektedir.

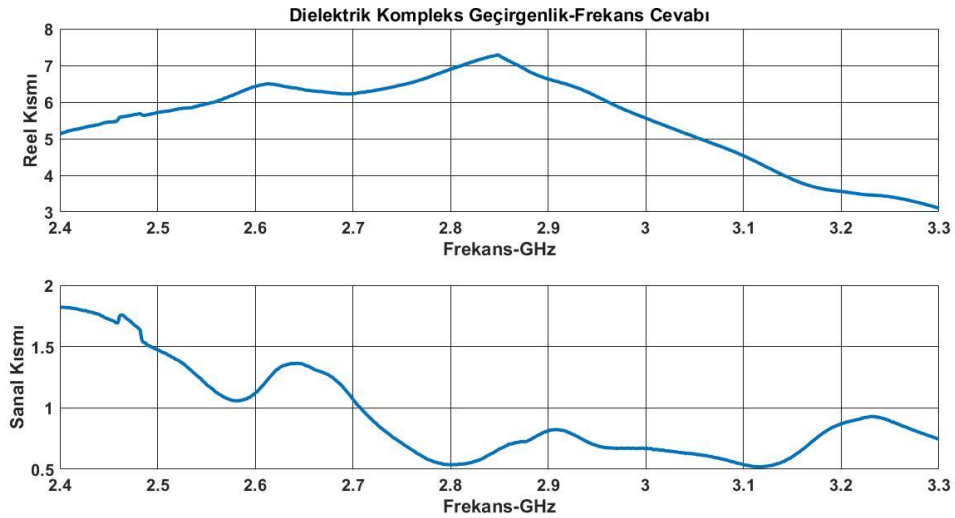


Şekil 4.9. M5 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

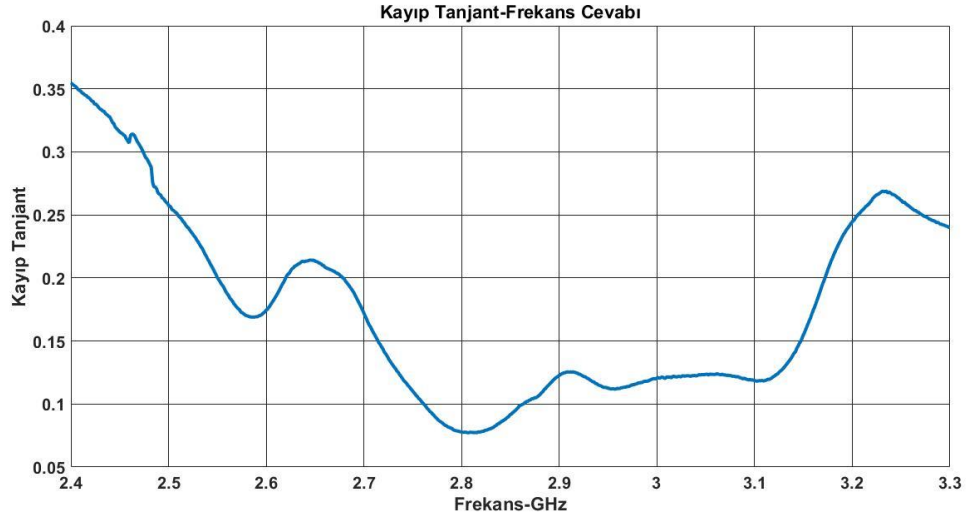


Şekil 4.10. M5 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M6 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.11’de gösterilmiştir. M6 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.1 ve en büyük değeri 7.29 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz frekansında yaklaşık 5.1 değerinden başlayarak 2.85 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca kabaca 1.8 değerinden başlayarak 2.8 GHz ve 3.1 GHz frekansları civarında 0.5 değerine kadar düştüğü ardından 0.75 değerine yakınsadığı görülmektedir. M6 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.35 değerinden başlayarak 2.8 GHz civarında 0.07’ye kadar düştüğü, ardından artış göstererek kabaca 0.25 değerine yakınsadığı görülmektedir.

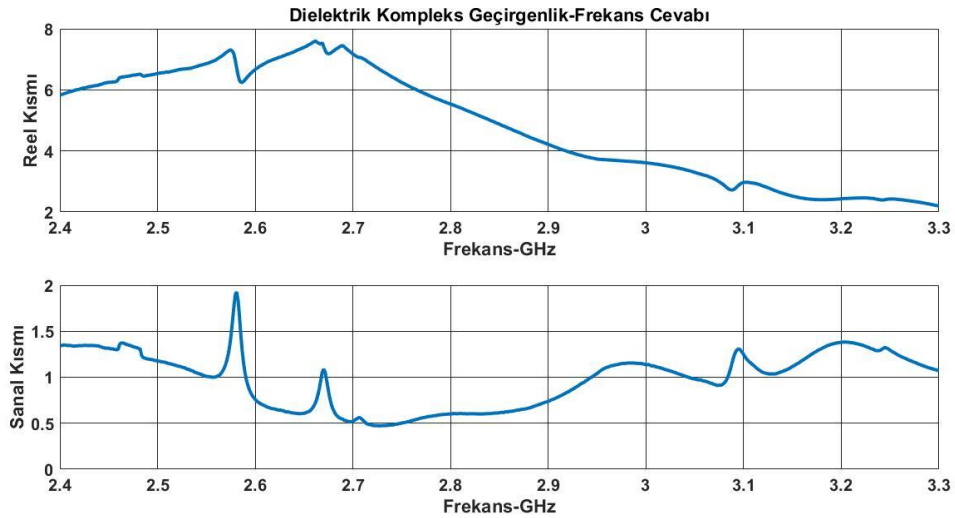


Şekil 4.11. M6 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

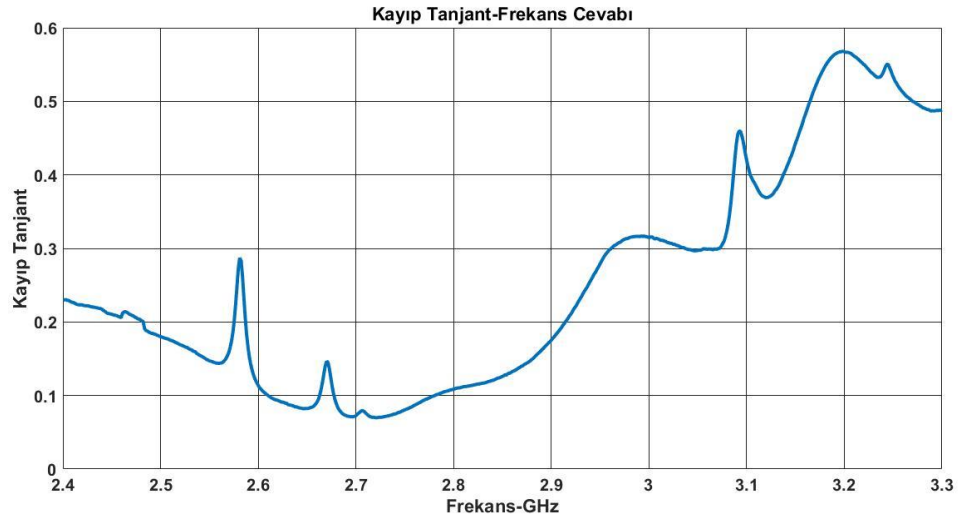


Şekil 4.12. M6 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M7 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.13'de gösterilmiştir. M7 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.2 ve en büyük değeri 7.6 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.69 GHz'e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 1.35 değerinden başlayarak 2.75 GHz civarında yaklaşık 0.5 değerine kadar düştüğü ardından 1 değerine yakınsadığı görülmektedir. M7 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.23 değerinden başlayarak 2.72 GHz civarında kabaca 0.06'ya kadar düştüğü, ardından artış göstererek kabaca 0.48 değerine yakınsadığı görülmektedir.

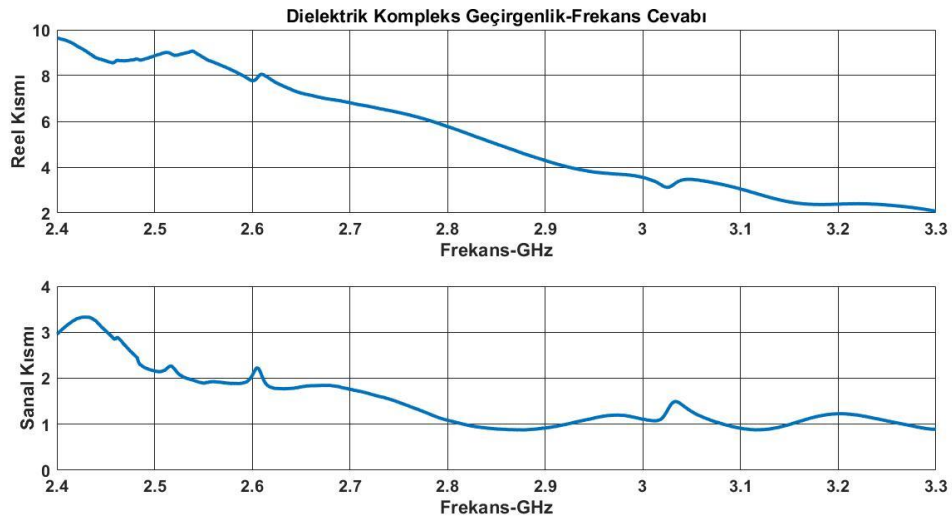


Şekil 4.13. M7 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

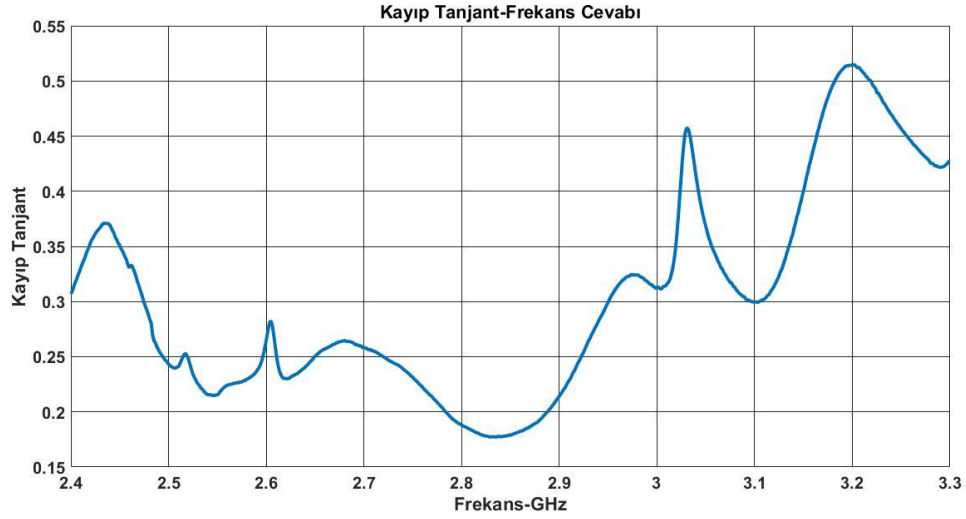


Şekil 4.14. M7 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M8 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.15'de gösterilmiştir. M8 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.08 ve en büyük değeri 9.63 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak bant boyunca doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 3 değerinden başlayarak neredeyse doğrusal olarak azalarak kabaca 0.9 değerine yakınsadığı görülmektedir. M8 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.16'de gösterilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.31 değerinden başlayarak 2.83 GHz civarında kabaca 0.17'ye kadar düştüğü, ardından artış göstererek kabaca 0.42 değerine yakınsadığı görülmektedir.

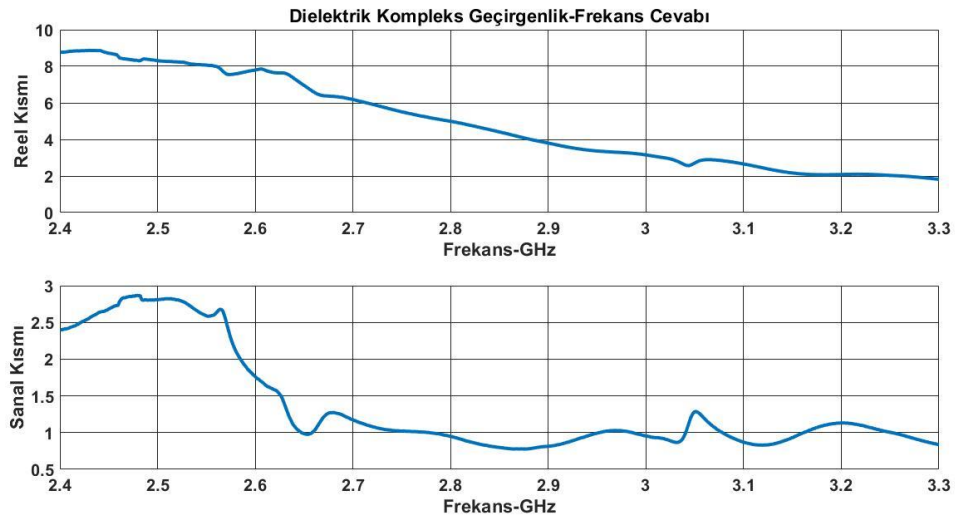


Şekil 4.15. M8 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

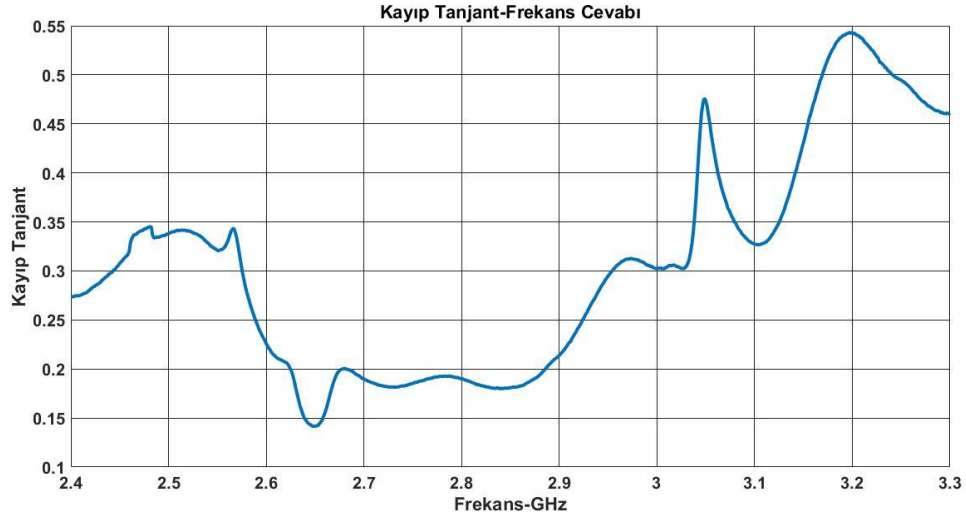


Şekil 4.16. M8 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M9 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.17'de gösterilmiştir. M9 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 1.8 ve en büyük değeri 8.8 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak bant boyunca doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının 2.4 GHz'den 2.5 GHz'e kadar artış gösterirken 2.5 GHz'den 2.65 GHz'e kadar neredeyse üstel bir fonksiyon gibi azaldığı sonrasında 1 değerine yakınsadığı görülmektedir. M9 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin elektriksel geçirgenliğin sanal kısmında olduğu gibi 2.4 GHz'den 2.5 GHz'e kadar 0.27'den 0.33'e artış gösterdiği sonrasında 2.65 GHz'e kadar bir azalış ile 0.18 değerine yakınsadığı görülmektedir. 2.9 GHz sonrasında artış gösteren kayıp tanjant değeri 3.3 GHz'de 0.45 değerine yakınsamaktadır.

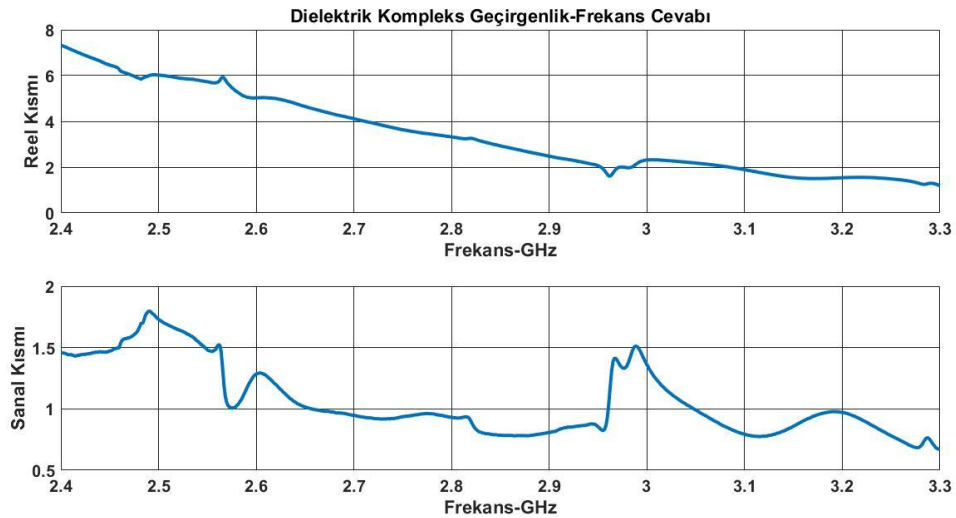


Şekil 4.17. M9 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

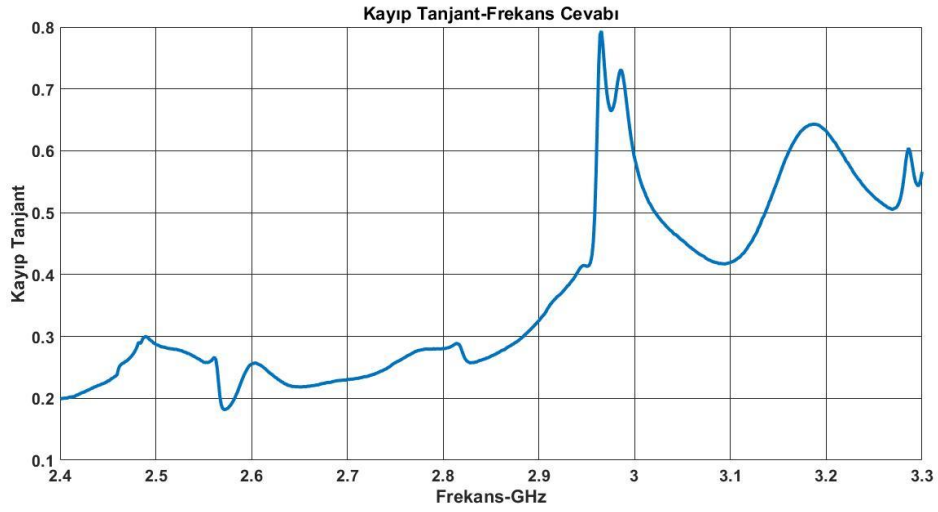


Şekil 4.18. M9 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M10 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.19’de gösterilmiştir. M10 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 1.18 ve en büyük değeri 7.32 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz’den başlayarak bant boyunca neredeyse doğrusal bir şekilde azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının 1.5 değerinden başlayarak bant boyunca bir azalış gösterdiği sonrasında 0.6 değerine yakınsadığı görülmektedir. M10 mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin yaklaşık 0.2 değerinden başlayarak bant boyunca artış gösterdiği 3 GHz etrafında 0.7-0.8 aralığında en yüksek değerlere sahip olduğu gösterilmiştir.

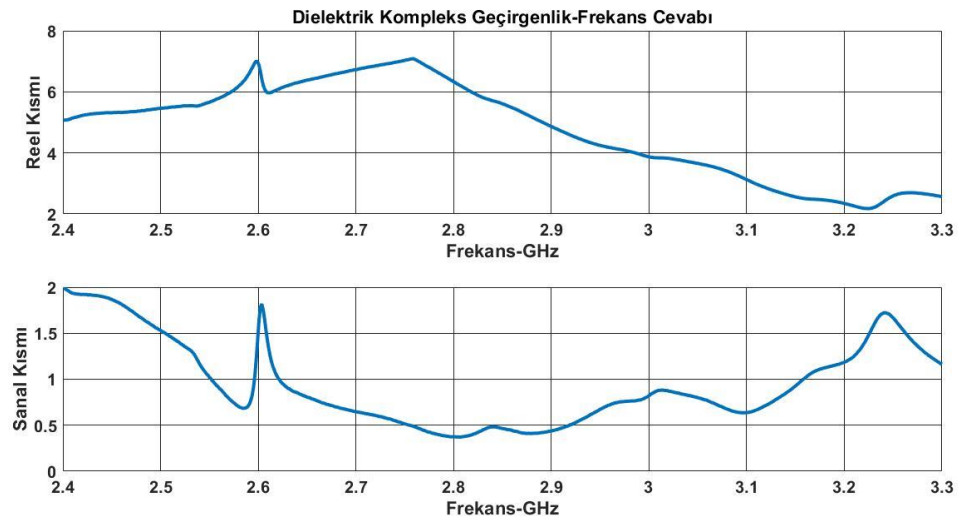


Şekil 4.19. M10 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

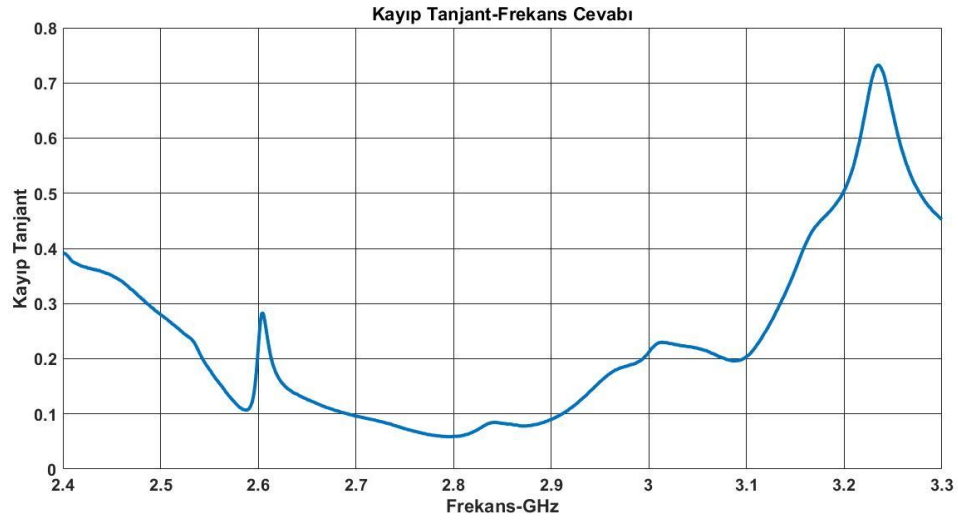


Şekil 4.20. M10 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M11 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.21'de gösterilmiştir. M11 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 1.86 ve en büyük değeri 5.97 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.76 GHz'e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 2'den başlayarak 2.7 GHz civarına kadar bir azalış göstermiştir. Sanal kısmın 2.6 GHz civarında yaptığı pikin taşın şekli ve ölçüm hataları gibi dış koşullardan kaynaklandığı düşünülmektedir. 2.7 GHz ile 2.9 GHz frekans aralığında yaklaşık değeri 0.5 civarında olan sanal kısmın 2.9 GHz'den sonra artış gösterdiği gösterilmiştir. Mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin 2.4 GHz'den 2.8 GHz'e 0.4 değerinden başlayarak 0.05 değerine kadar azaldığı sonrasında ise artış gösterdiği gösterilmiştir.

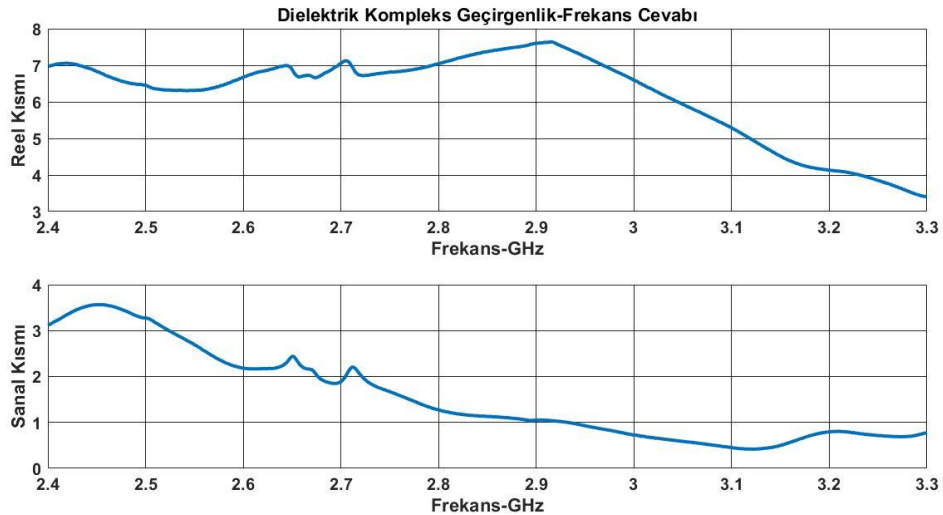


Şekil 4.21. M11 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

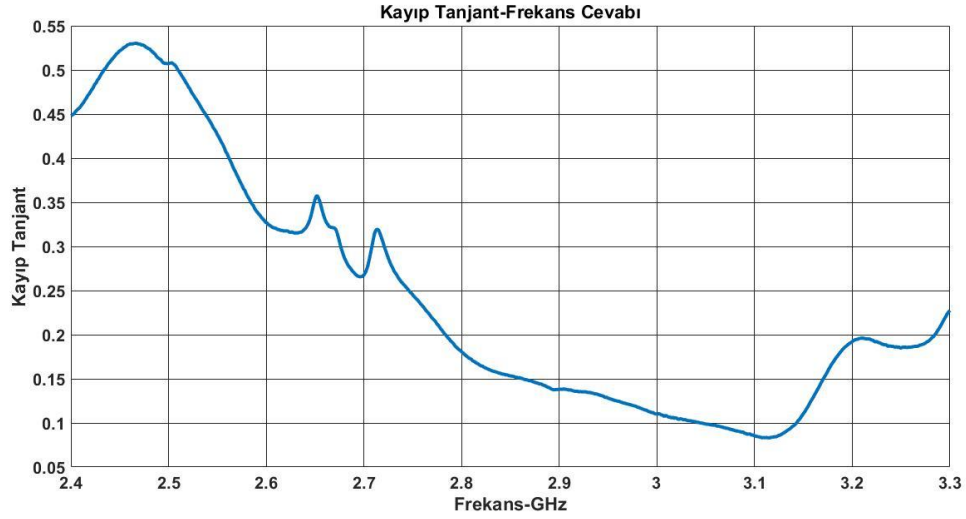


Şekil 4.22. M11 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M12 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.23’de gösterilmiştir. M12 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.4 ve en büyük değeri 7.64 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.91 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca 3.1’den başlayarak neredeyse doğrusal bir biçimde azalarak 0.75 değerine yakınsadığı gösterilmiştir. Mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Şekil 4.24 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.45 değerinin önce 3.1 GHz civarında 0.08’e kadar düştüğü ardından artış ile yaklaşık 0.22 değerine yakınsadığı görülmektedir.

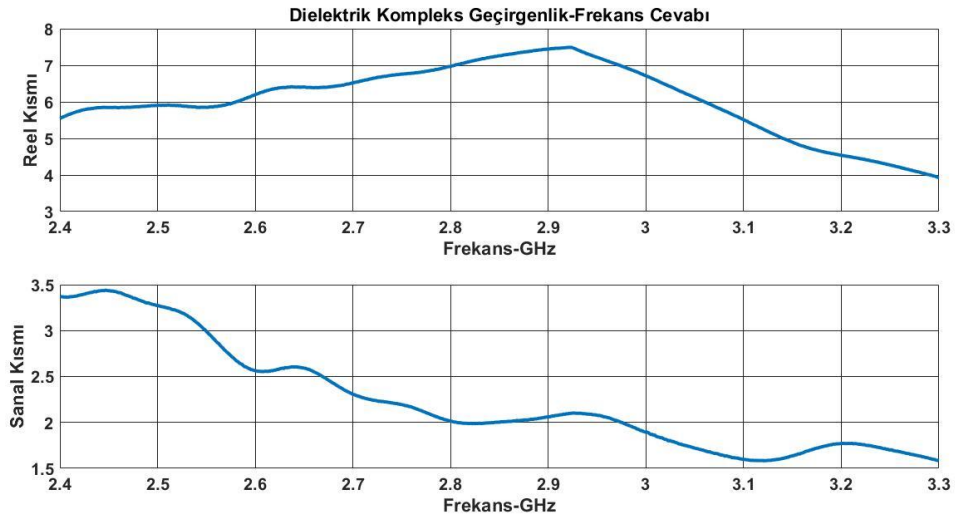


Şekil 4.23. M12 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

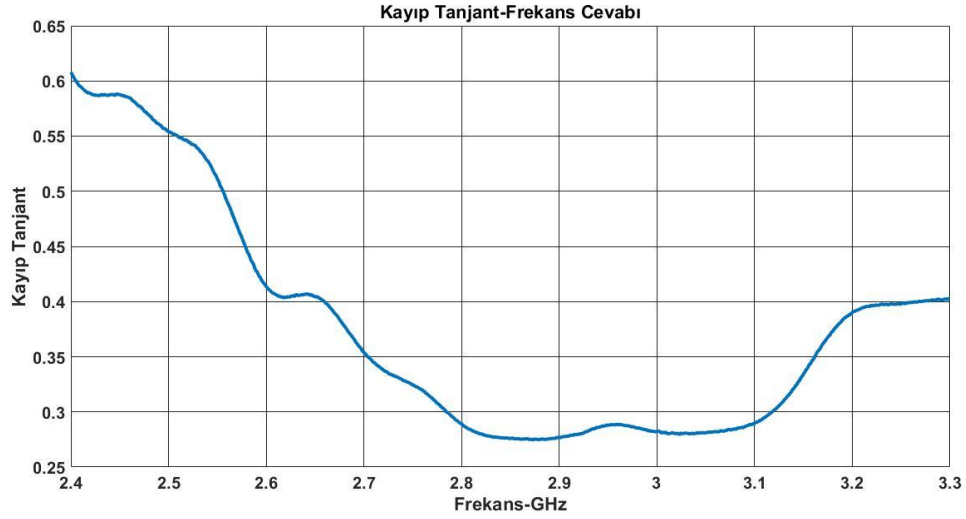


Şekil 4.24. M12 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M13 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.25’de gösterilmiştir. M13 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.93 ve en büyük değeri 7.48 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.92 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca 3.37’den başlayarak neredeyse doğrusal bir biçimde azalarak yaklaşık 1.5 değerine yakınsadığı görülmektedir. Mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Şekil 4.26 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.6 değerinin önce 2.8 GHz civarında 0.08’e kadar düştüğü ardından artış göstererek 0.4 değerine yakınsadığı görülmektedir.

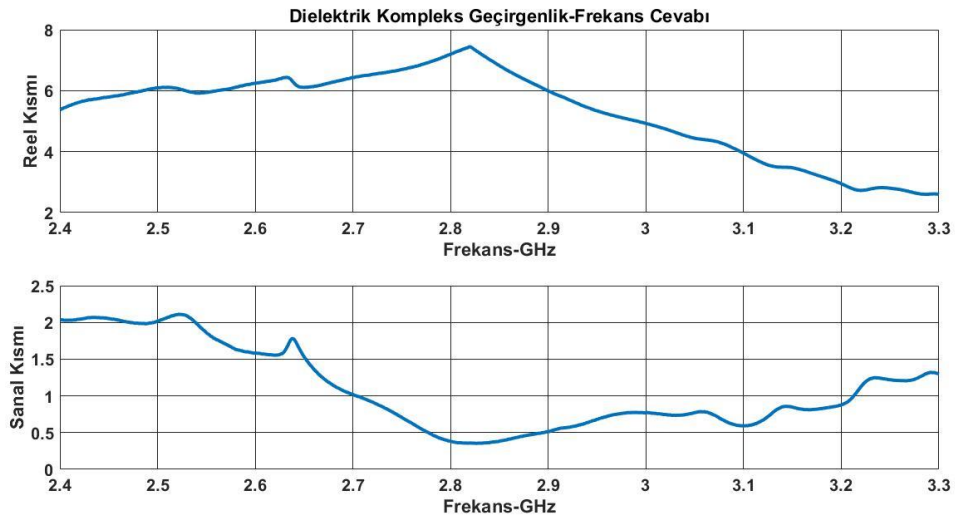


Şekil 4.25. M13 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

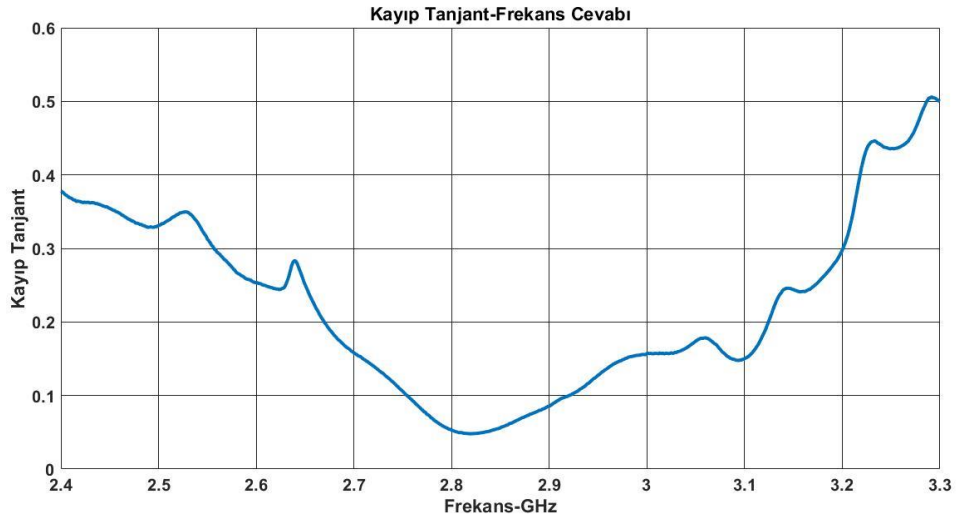


Şekil 4.26. M13 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

M14 mermer örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.27’de gösterilmiştir. M14 mermerinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.59 ve en büyük değeri 7.44 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz den başlayarak 2.82 GHz’e kadar neredeyse doğrusal olarak arttığı ardından hızla azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 2’den başlayarak 2.8 GHz civarında 0.4 değerine kadar azaldığı gösterilmiştir. Mermer örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Şekil 4.28 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin neredeyse üstel bir fonksiyon ile azalarak başlangıçtaki yaklaşık 0.38 değerinin önce 2.8 GHz civarında 0.04’e kadar düştüğü ardından kabaca 0.5 değerine kadar artış gösterdiği gösterilmiştir.

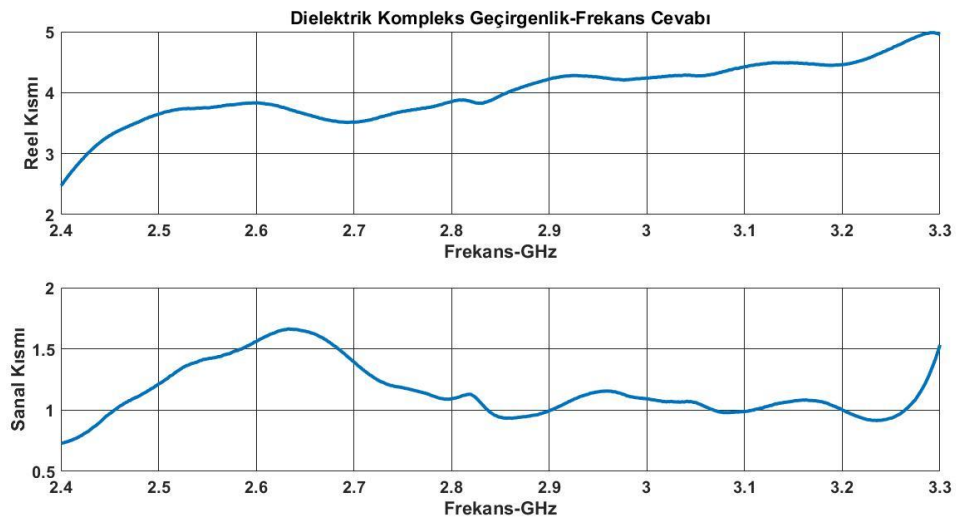


Şekil 4.27. M14 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

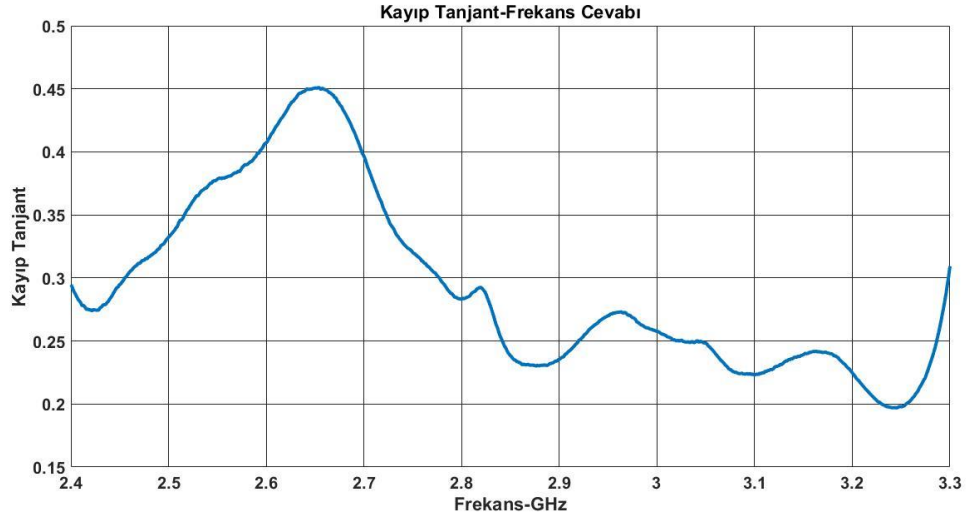


Şekil 4.28. M14 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G1 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.29'da gösterilmiştir. G1 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.48 ve en büyük değeri 4.98 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak bant boyunca neredeyse doğrusal bir artış içerisinde olduğu görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca 0.73'den başlayarak 2.65'e GHz'e kadar arttığı sonrasında azalarak 2.85 GHz civarında 1 değerine yakınsadığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Şekil 4.30 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin 2.65 GHz'e kadar bir artış gösterdiği başlangıçtaki 0.3 değerinin yaklaşık 0.45 olduğu sonrasında neredeyse üstel bir fonksiyon gibi azaldığı görülmektedir.

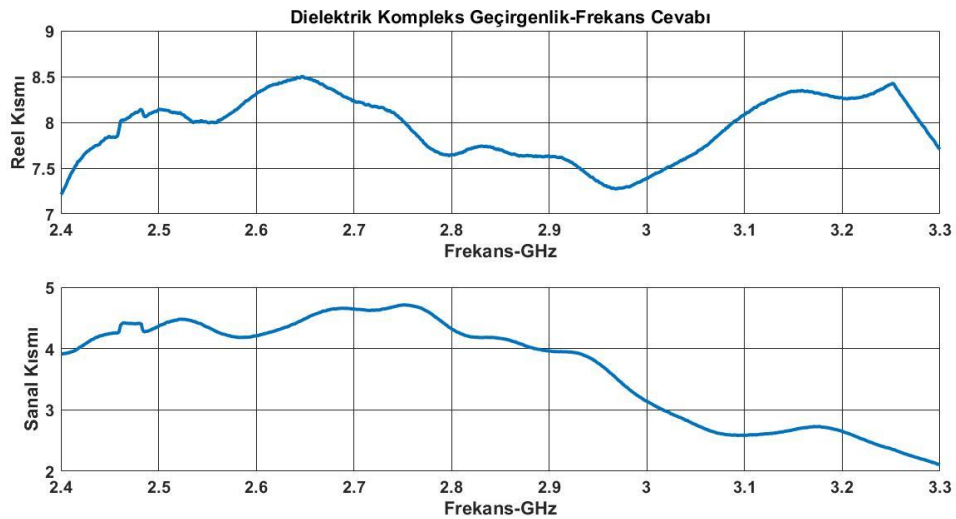


Şekil 4.29. G1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

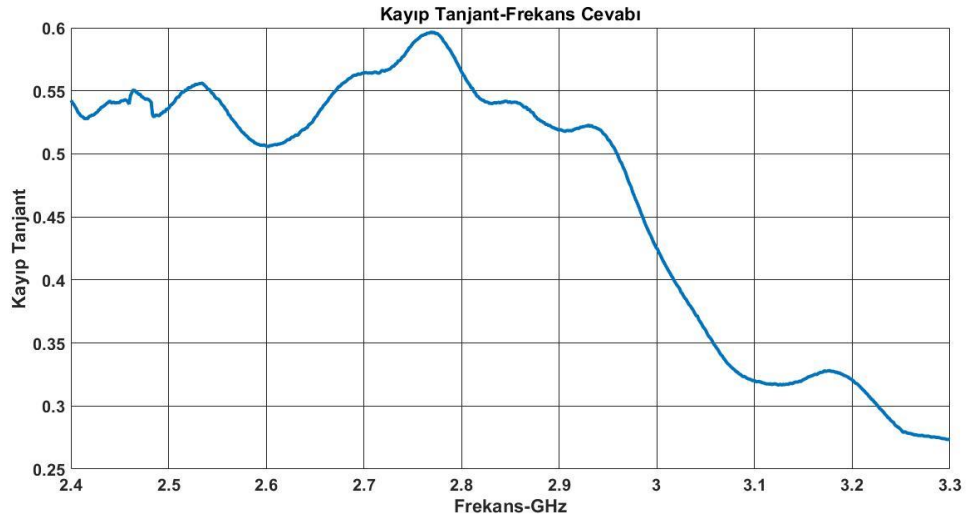


Şekil 4.30. G1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G2 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.31'de gösterilmiştir. G2 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 7.21 ve en büyük değeri 8.50 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.65 GHz'de 8.50 değerine kadar arttığı ardından azalma göstererek yaklaşık 2.98 GHz'de yaklaşık 7.3'e kadar azaldığı sonrasında tekrardan 3.25 GHz'e kadar artış gösterdiği görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 4 değerinden başlayarak 2.75'e GHz'e kadar arttığı ardından neredeyse doğrusal olarak azalarak 2 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Şekil 4.32 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.55 değerinin 2.8 GHz frekansına kadar 0.5-0.6 değerleri arasında değiştiği sonrasında azalarak minimum değeri 0.27'ye kadar düştüğü görülmektedir.

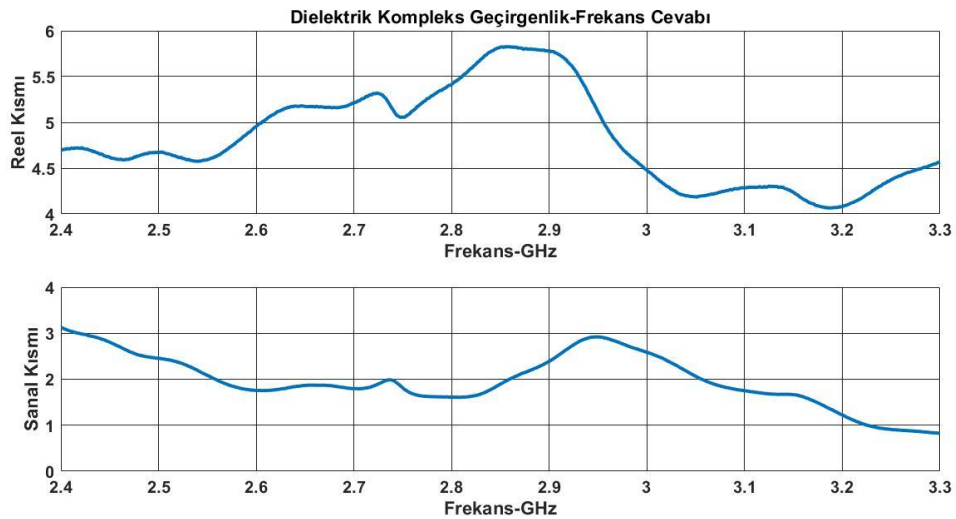


Şekil 4.31. G2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

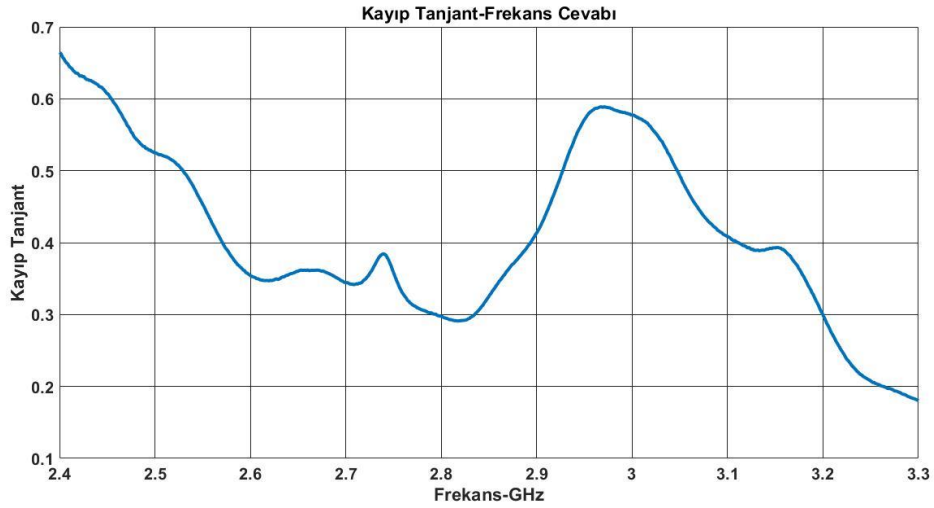


Şekil 4.32. G2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G3 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.33'de gösterilmiştir. G3 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 4.07 ve en büyük değeri 5.83 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 4.68 değerinden başlayarak 2.86 GHz'de 5.83 değerine kadar arttığı ardından azalarak 4.5 değerine yakınsadığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 3.1 değerinden başlayarak 2.8 GHz'de 1.6 değerine kadar azaldığı ardından 2.9 GHz civarında 2.9 değerine kadar artış göstererek tekrardan azalarak 1 değerine yakınsamaktadır. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Şekil 4.32 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.65 değerinin 2.8 GHz frekansı civarında 0.3 değerine kadar azaldığı ardından 2.97 GHz civarında yaklaşık 0.6 değerine kadar artış gösterdiği sonrasında 0.2 değerine kadar düştüğü görülmektedir.

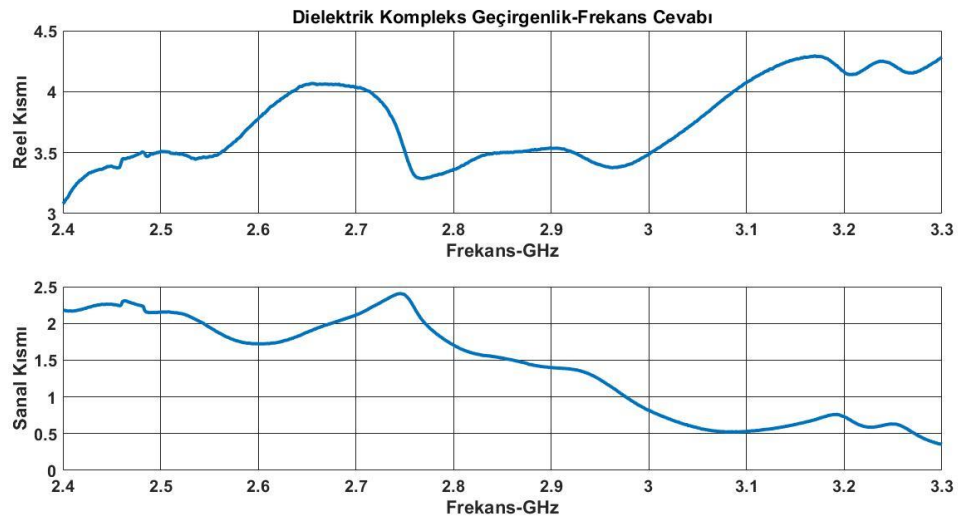


Şekil 4.33. G3 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

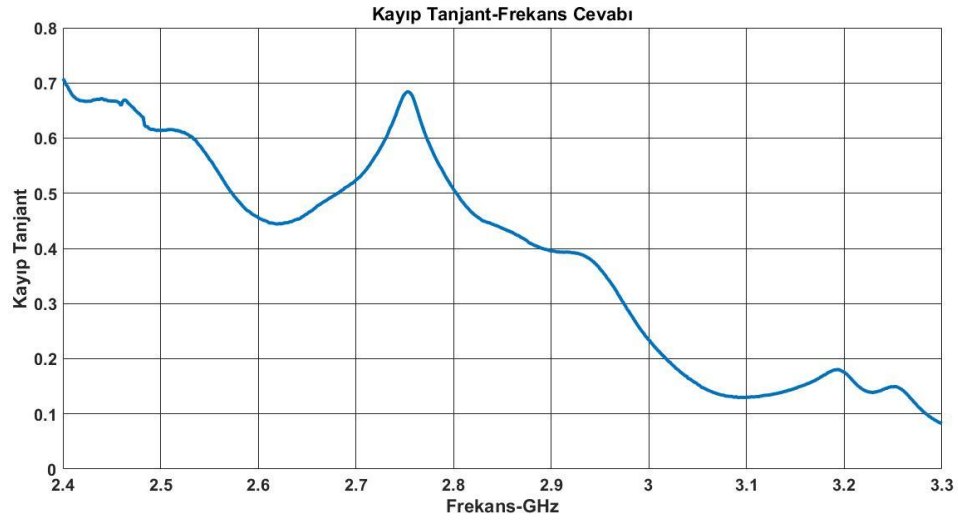


Şekil 4.34. G3 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G4 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.35'de gösterilmiştir. G3 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.08 ve en büyük değeri 4.29 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.7 GHz'de yaklaşık 4 değerine kadar arttığı ardından 2.75 GHz'e kadar bir azalma göstererek tekrardan 4.29 değerine kadar arttığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 2.2 değerinden başlayarak 2.6 GHz'e kadar azaldığı ardından 2.75 GHz'de maksimum değeri 2.4'e kadar arttığı sonrasında neredeyse doğrusal olarak azalarak 0.5 değerine yakınsadığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Şekil 4.36 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.72 değerinin 2.6 GHz'de yaklaşık 0.45 değerine kadar düştüğü sonrasında 2.75 GHz'de 0.69 değerine kadar artış gösterdikten sonra minimum değeri 0.08 değerine kadar azaldığı görülmektedir.

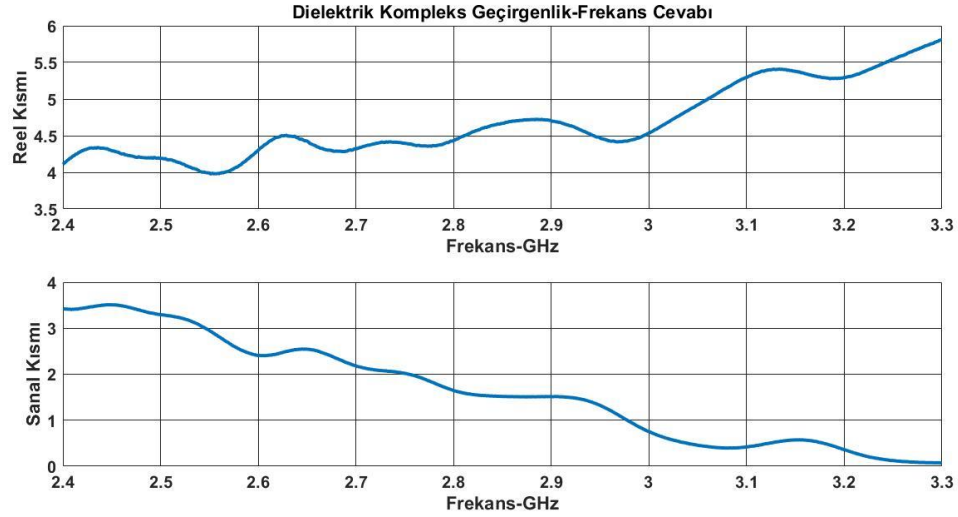


Şekil 4.35. G4 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

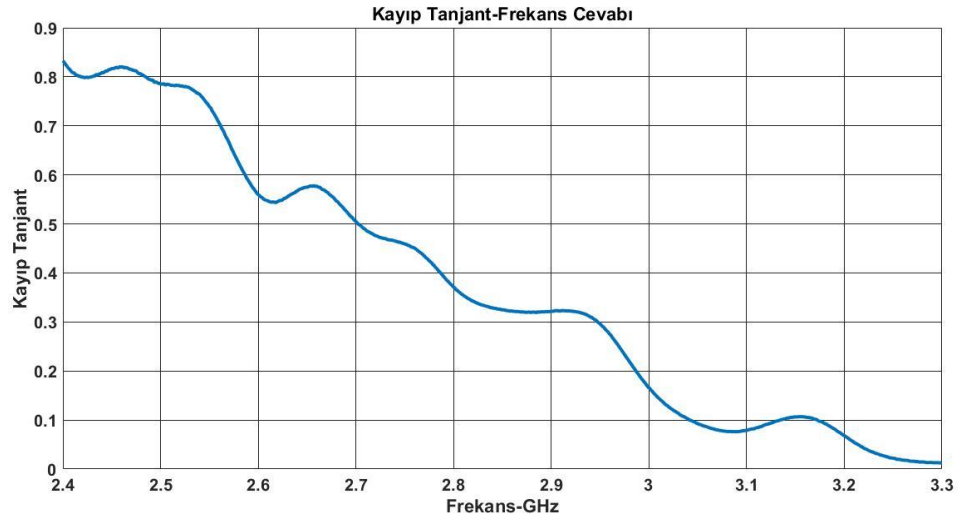


Şekil 4.36. G4 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G5 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.37’de gösterilmiştir. G5 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.98 ve en büyük değeri 5.81 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz’den başlayarak bant boyunca arttığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 3.4 değerinden başlayarak neredeyse doğrusal bir azalma göstererek 0.07 değerine kadar azaldığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Şekil 4.38 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.83 değerinin azalma göstererek 0.01 değerine düştüğü görülmektedir.

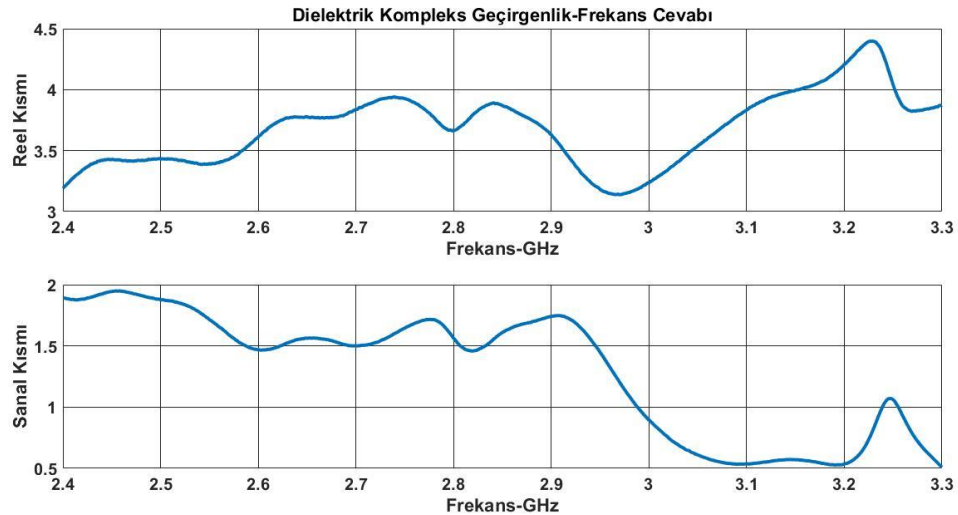


Şekil 4.37. G5 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

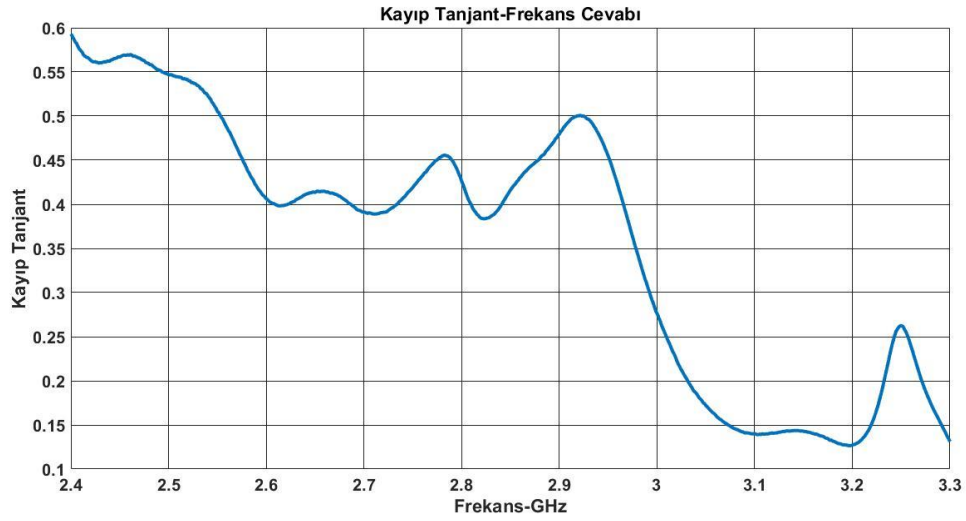


Şekil 4.38. G5 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G6 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.39'da gösterilmiştir. G6 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.14 ve en büyük değeri 4.39 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.85 GHz frekansı civarına kadar arttığı ardından 2.97 GHz'de 3.14 değerine kadar azaldıktan sonra tekrardan arttığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 1.9 değerinden başlayarak yaklaşık 0.5'e kadar azaldığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Şekil 4.40 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.59 değerinin 2.6 GHz frekansına kadar bir azalma gösterdikten sonra 2.9 GHz'e kadar 0.4-0.5 değerleri arasında değiştiği sonrasında neredeyse üstel bir fonksiyon gibi azalma gösterdiği görülmektedir.

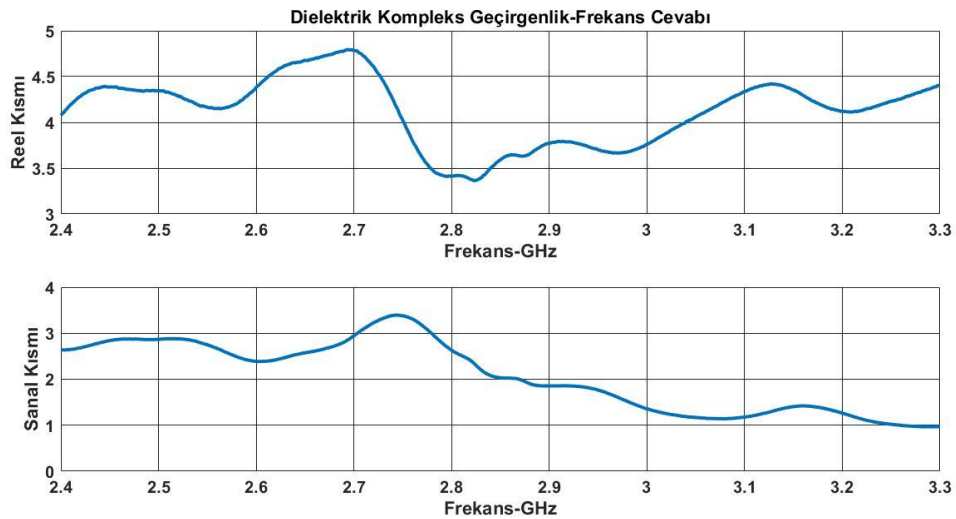


Şekil 4.39. G6 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

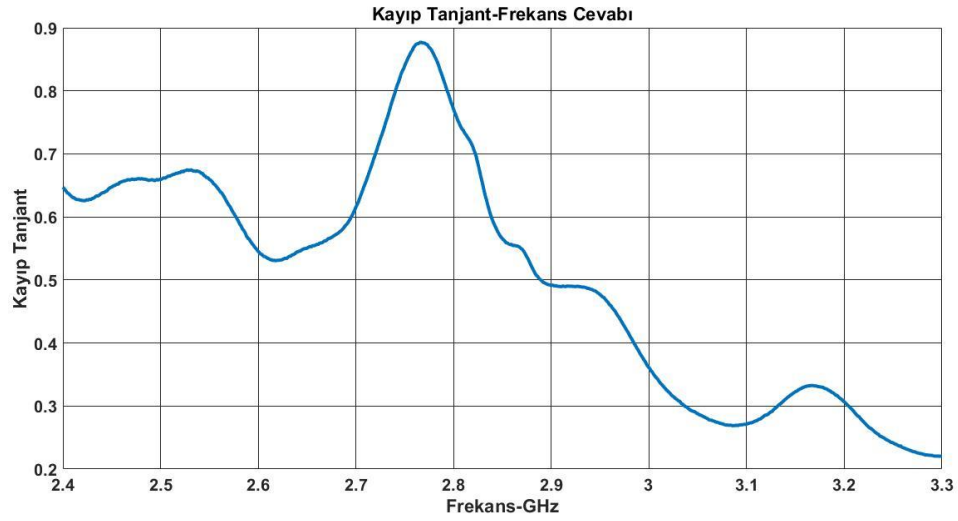


Şekil 4.40. G6 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G7 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.41'de gösterilmiştir. G7 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.36 ve en büyük değeri 4.79 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.7 GHz'e kadar arttığı sonrasında 2.8 GHz civarında 3.36 değerine kadar azaldıktan sonra tekrardan artış gösterdiği görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 2.64 değerinden başlayarak 2.75'e GHz'e kadar arttığı sonrasında neredeyse doğrusal olarak azalarak 1 değerine yakınsadığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.42'de gösterilmiştir. Şekil 4.42 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.65 değerinin 2.6 GHz frekansına kadar azalma gösterdiği sonrasında 2.77 GHz'de 0.87 değerine kadar arttıktan sonra neredeyse üstel bir fonksiyon gibi azaldığı görülmektedir.

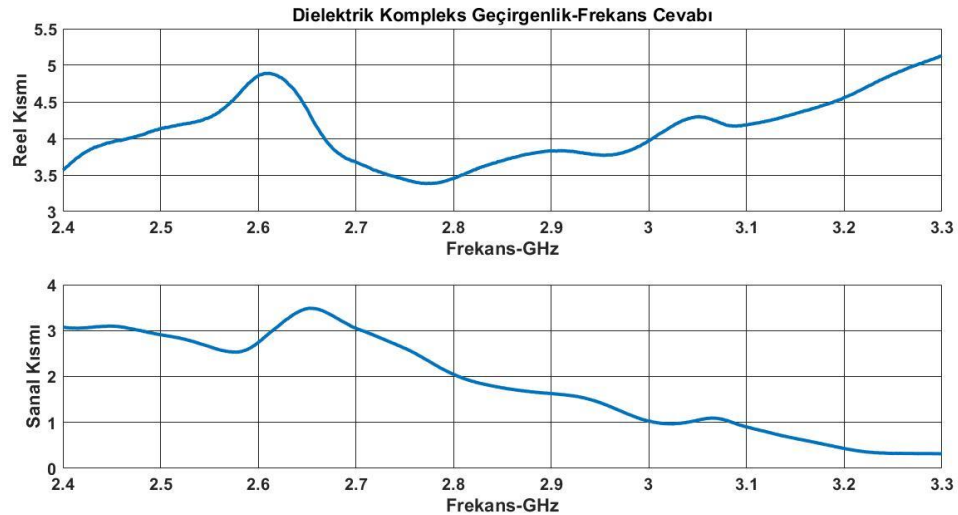


Şekil 4.41. G7 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

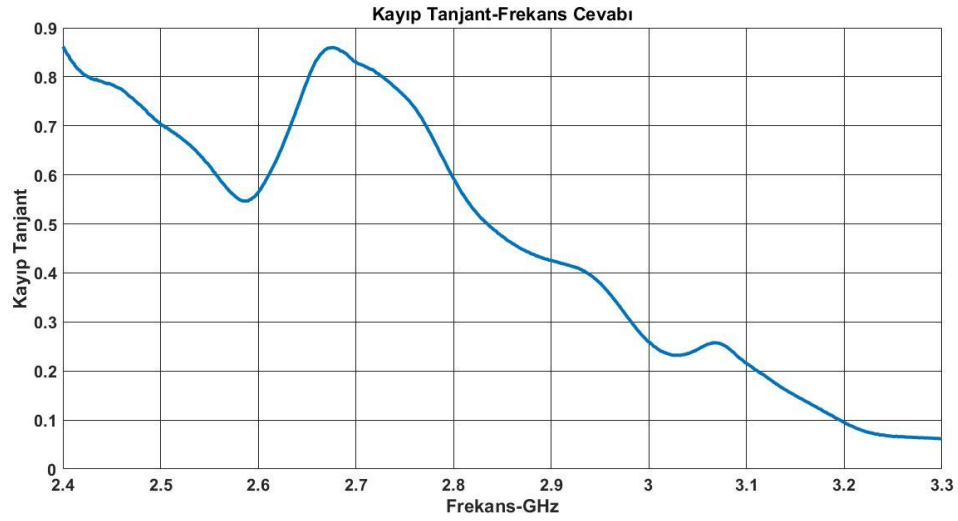


Şekil 4.42. G7 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G8 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.43'de gösterilmiştir. G8 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.38 ve en büyük değeri 5.13 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.6 GHz'de 4.88 değerine kadar arttığı ardından yaklaşık 2.75 GHz'e kadar azalma gösterdikten sonra tekrardan neredeyse doğrusal bir biçimde arttığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca 2.58 GHz ile 2.65 GHz aralığındaki artış dışında yaklaşık 3 değerinden başlayarak azaldığı ve 0.4 değerine yakınsadığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.44'de gösterilmiştir. Şekil 4.44 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.86 değerinin 2.58-2.65 GHz aralığındaki artış dışında azalarak 0.06 değerine yakınsadığı görülmektedir.

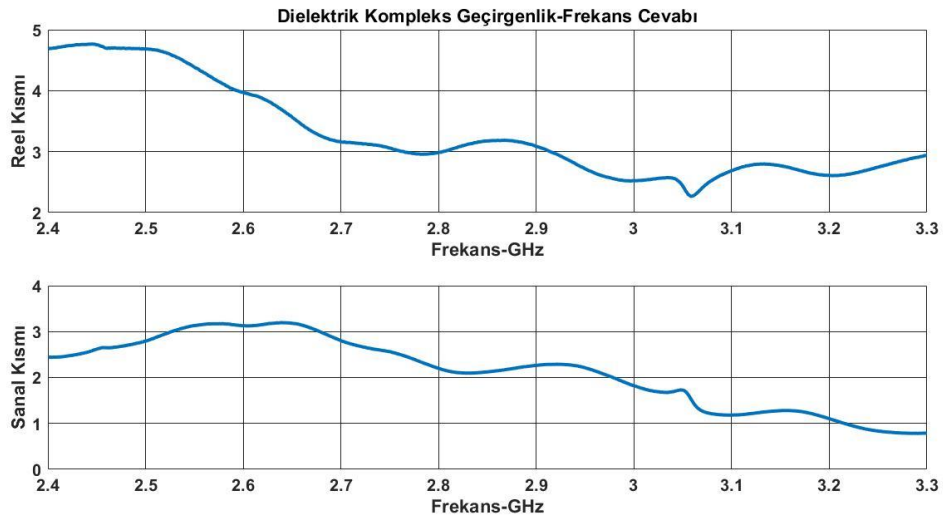


Şekil 4.43. G8 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

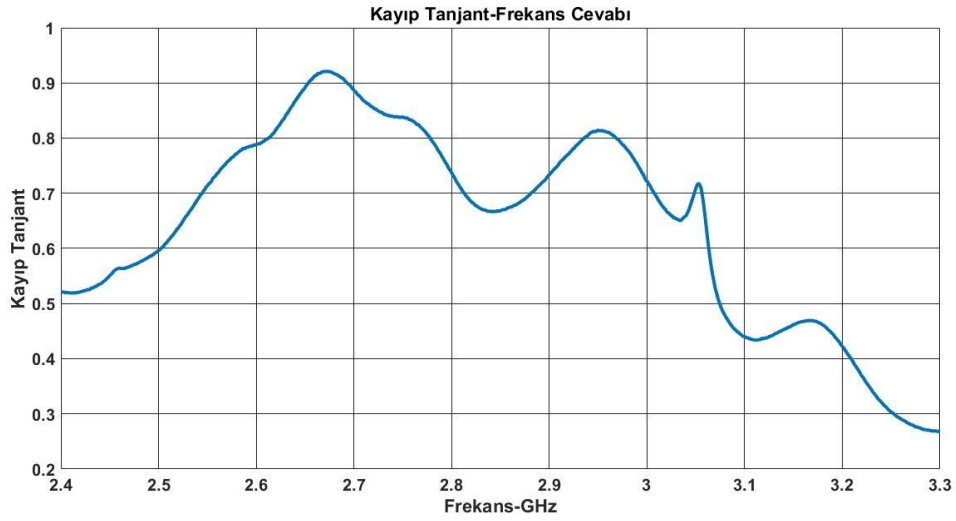


Şekil 4.44. G8 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

G9 granit örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.45’de gösterilmiştir. G9 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.27 ve en büyük değeri 4.77 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz’den başlayarak bant boyunca azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 2.45 değerinden başlayarak 2.6 GHz civarına kadar artış gösterdiği sonrasında azalarak 0.8 değerine yakınsadığı görülmektedir. Granit örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.46’da gösterilmiştir. Şekil 4.46 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki yaklaşık 0.5 değerinin 2.65 GHz civarına kadar arttıktan sonra minimum değeri 0.26 değerine kadar azaldığı görülmektedir.

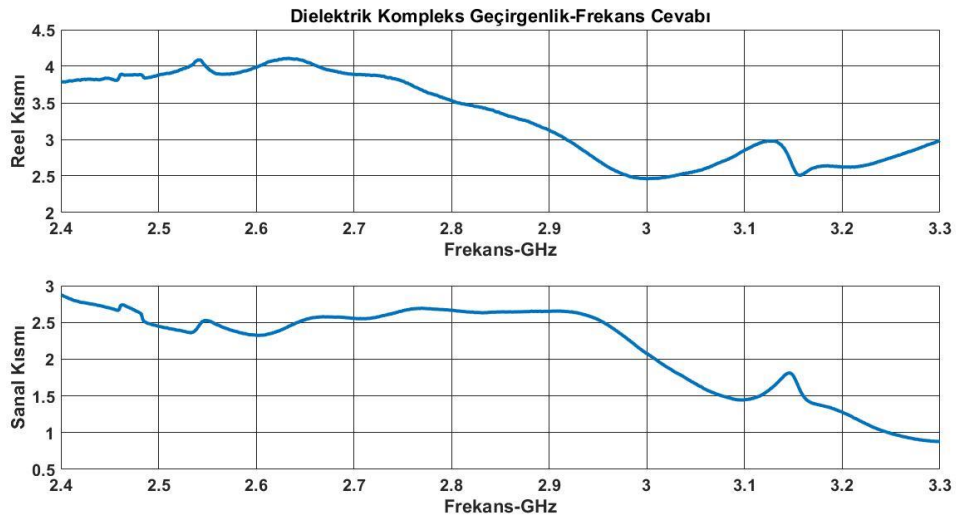


Şekil 4.45. G9 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

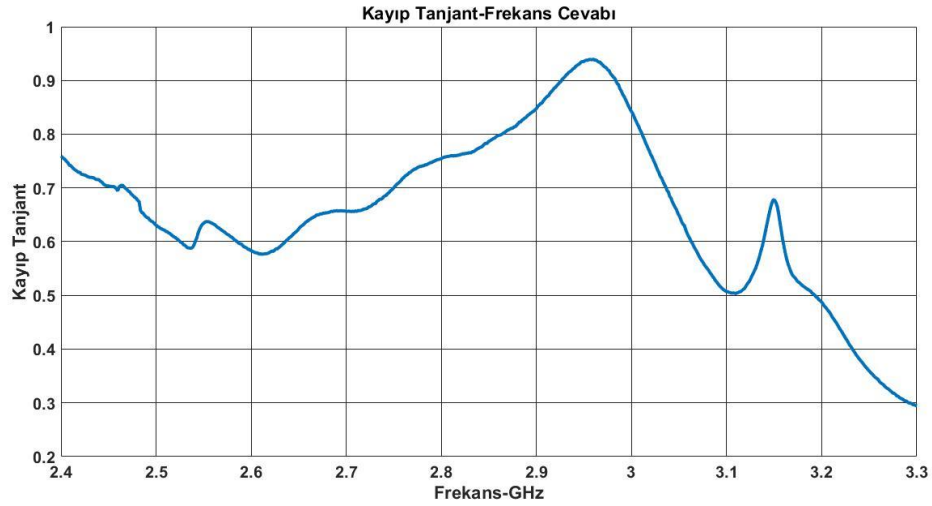


Şekil 4.46. G9 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

T1 tuğla örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.47’de gösterilmiştir. T1 tuğlasının elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 2.46 ve en büyük değeri 4.11 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz’den başlayarak 2.65 GHz civarına kadar arttıktan sonra azaldığı görülmektedir. Sanal kısmının ise 2.9 değerinden başlayarak 2.95 GHz’e kadar 2.5 ile 3 arasında değerler alırken 2.9 GHz’den sonra azaldığı görülmektedir. Tuğla örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Şekil 4.48 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki yaklaşık 0.75 değerinin 2.6 GHz civarına kadar azaldığı sonrasında 2.96 GHz’de 0.94 değerine yükselerek 0.3 değerine kadar azaldığı görülmektedir.

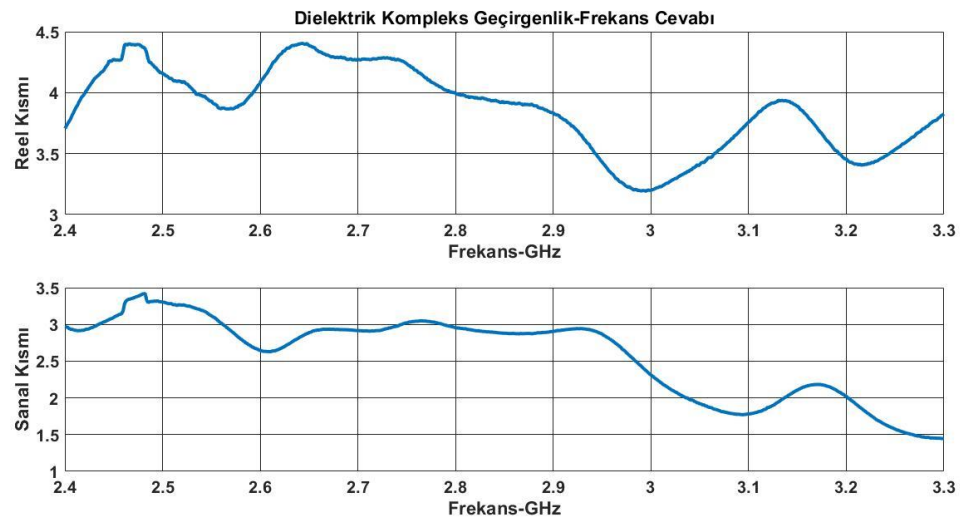


Şekil 4.47. T1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

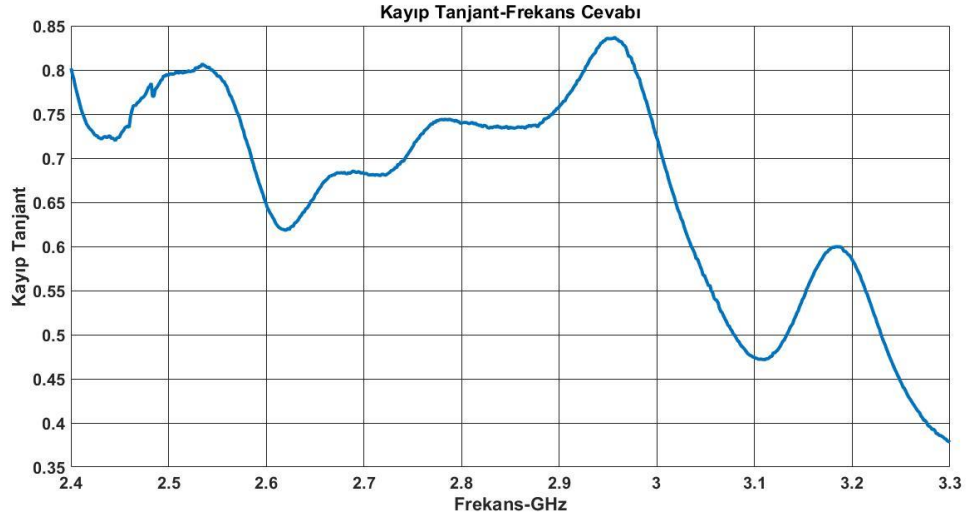


Şekil 4.48. T1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

T2 tuğla örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.49'da gösterilmiştir. T2 tuğlasının elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 3.19 ve en büyük değeri 4.40 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 3.70 değerinden başlayarak 2.9 GHz'e kadar 3.70 ile 4.40 değerleri arasında değerler aldığı, 2.9 GHz'den 3 GHz'e kadar azaldığı sonrasında yine artma ve azalmalar ile 3.19 ile 3.3 arasında değerler aldığı görülmektedir. Sanal kısmının 2.95 GHz'e kadar 2.6 ile 3.4 arasında değerler arasında değiştiği sonrasında azalarak 1.5 değerine yakınsadığı görülmektedir. Tuğla örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Şekil 4.50 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki yaklaşık 0.8 değerinin 2.45 GHz'e kadar azaldığı ardından 2.55 GHz'e kadar artış gösterdikten 2.62 GHz'de yaklaşık 0.62 değerine azaldığı görülmektedir. Kayıp tanjant değerinin 2.94 GHz'de maksimum 0.84 değerine yükseldikten sonra tekrardan azalarak 0.38 değerine yakınsadığı görülmektedir.

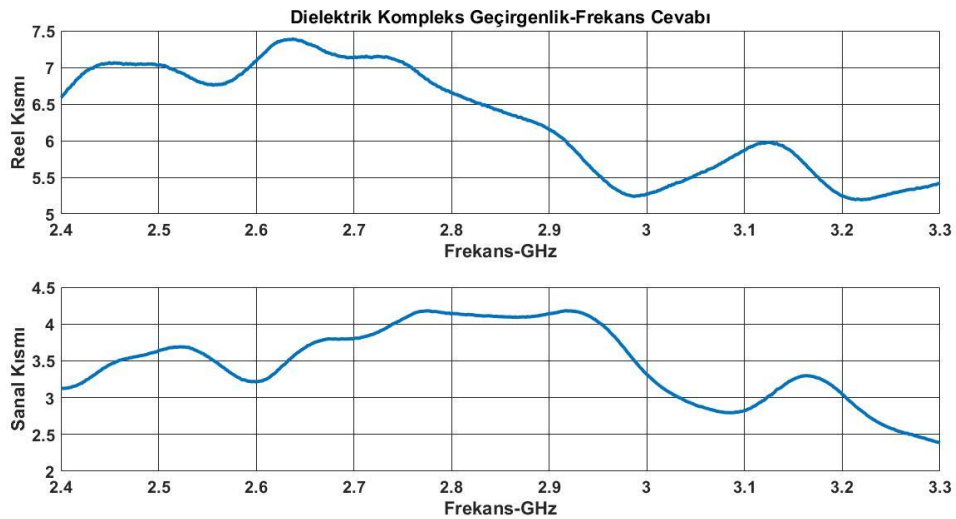


Şekil 4.49. T2 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı

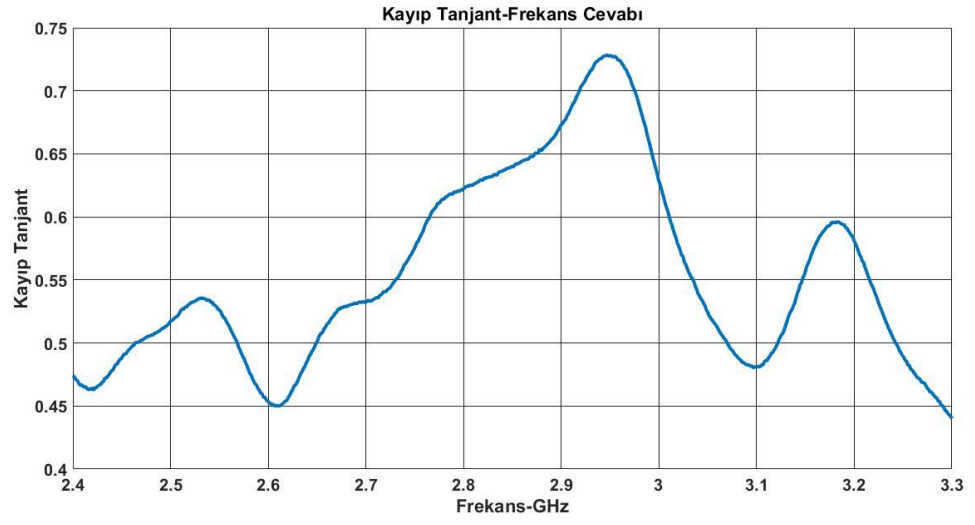


Şekil 4.50. T2 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

K1 kayrak örneğinin 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığındaki kompleks dielektrik geçirgenliğinin reel ve sanal kısımlarının frekans cevabı Şekil 4.51'de gösterilmiştir. K1 granitinin elektriksel geçirgenliğinin reel kısmının en küçük değeri 5.19 ve en büyük değeri 7.39 olarak hesaplanmıştır. Reel kısmının 2.4 GHz'den başlayarak 2.64 GHz'de 7.39 değerine kadar arttığı ardından 3 GHz civarına kadar azalma gösterdiği sonrasında 3.15 GHz'e kadar artış gösterdikten sonra azalma göstererek 5.5 değerine yakınsadığı görülmektedir. Sanal kısmının verilen bant boyunca yaklaşık 3.1 değerinden başlayarak 2.92 GHz'de 4.17 değerine kadar arttığı ardından neredeyse doğrusal olarak azalarak 2.4 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Kayrak örneğinin kayıp tanjant frekans cevabı ise Şekil 4.52'de gösterilmiştir. Şekil 4.52 incelendiğinde kayıp tanjant değerinin başlangıçtaki 0.48 değerinin 2.6 GHz'e kadar artış ve azalmalar gösterdiği sonrasında 2.95 GHz'de 0.73 değerine kadar artarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.51. K1 örneğinin dielektrik kompleks geçirgenlik-frekans cevabı



Şekil 4.52. K1 örneğinin kayıp tanjant-frekans cevabı

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında 14 adet mermer, 9 adet granit, 2 adet tuğla ile 1 adet kayrak türünün S_{11} ile S_{21} saçılma parametreleri network analizör ile ölçülmüştür. Saçılma parametreleri kullanılarak kompleks dielektrik geçirgenliğin reel ve sanal kısımları ile kayıp tanjant değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1'de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 14 adet mermer örneğinin dielektrik sabiti değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 14 adet mermer örneğinin ortalama dielektrik sabiti değeri 5.32, maksimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 7.73 ve minimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 2.77 olarak hesaplanmıştır. 14 adet mermer örneğinin ortalama dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.81, maksimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.83 ve minimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.91 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Mermer örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları

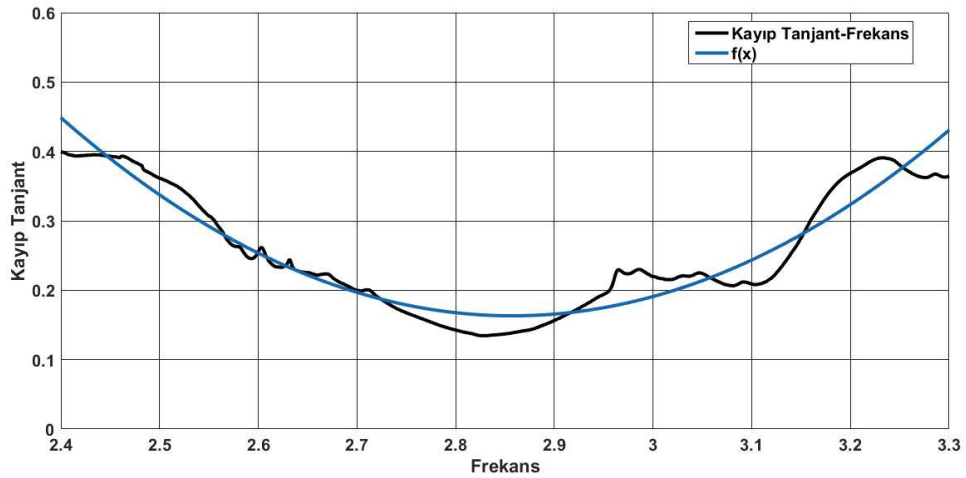
Örnek Numarası	Ortalama Dielektrik Sabiti	Maksimum Dielektrik Sabiti	Minimum Dielektrik Sabiti
M1	6.09	7.89 @3.00 GHz	4.52 @3.3 GHz
M2	5.94	7.84 @2.88 GHz	3.40 @3.3 GHz
M3	5.35	7.29 @2.85 GHz	2.90 @3.3 GHz
M4	5.42	7.93 @2.73 GHz	2.50 @3.3 GHz
M5	6.04	8.01 @2.85 GHz	3.32 @3.3 GHz
M6	5.53	7.29 @2.85 GHz	3.10 @3.3 GHz
M7	4.82	7.60 @2.66 GHz	2.20 @3.3 GHz
M8	5.37	9.64 @2.40 GHz	2.09 @3.3 GHz
M9	4.90	8.87 @2.43 GHz	1.82 @3.3 GHz
M10	3.42	7.32 @2.40 GHz	1.19 @3.3 GHz
M11	4.04	5.98 @2.76 GHz	1.86 @3.23 GHz
M12	6.20	7.64 @2.92 GHz	3.41 @3.3 GHz
M13	6.07	7.49 @2.92 GHz	3.93 @3.3 GHz
M14	5.29	7.44 @2.82 GHz	2.60 @3.3 GHz
Ortalama	5.32	7.73	2.77
Standart Sapma	0.81	0.83	0.91

Çizelge 5.2'de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 14 adet mermer örneğinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 14 adet mermer örneğinin ortalama kayıp tanjant değeri 0.25, maksimum kayıp tanjant değerlerinin ortalaması 0.55 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin ortalaması 0.11 olarak hesaplanmıştır. 14 adet mermer örneğinin ortalama kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.81, maksimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.83 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.91 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Mermer örneklerinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları

Örnek Numarası	Ortalama Kayıp Tanjant	Maksimum Kayıp Tanjant	Minimum Kayıp Tanjant
M1	0.25	0.68 @2.40 GHz	0.05 @3.03 GHz
M2	0.19	0.52 @2.40 GHz	0.08 @2.85 GHz
M3	0.26	0.59 @2.50 GHz	0.09 @2.79 GHz
M4	0.21	0.43 @3.22 GHz	0.09 @2.75 GHz
M5	0.18	0.37 @2.40 GHz	0.07 @2.85 GHz
M6	0.18	0.36 @2.40 GHz	0.08 @2.81 GHz
M7	0.25	0.57 @3.19 GHz	0.07 @2.72 GHz
M8	0.30	0.52 @3.20 GHz	0.18 @2.84 GHz
M9	0.31	0.54 @3.19 GHz	0.14 @2.65 GHz
M10	0.37	0.79 @2.97 GHz	0.18 @2.57 GHz
M11	0.23	0.72 @ 3.24 GHz	0.06 @2.79 GHz
M12	0.24	0.53 @2.47 GHz	0.08 @3.12 GHz
M13	0.38	0.61 @2.40 GHz	0.28 @2.87 GHz
M14	0.22	0.51 @3.29 GHz	0.05 @2.82 GHz
Ortalama	0.25	0.55	0.11
Standart Sapma	0.06	0.12	0.07

14 adet mermer türünün kayıp tanjant değerleri 2. dereceden polinom cinsinden bir fonksiyona bağlanmıştır. Tüm mermer örneklerinin ortalama kayıp tanjant değeri her bir frekans değeri için hesaplanmıştır. Mermer türü için kayıp tanjant değerlerinin frekans ile değişimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Kayıp tanjant değerinin 2.4 GHz frekansında ortalama 0.45 değerinde başlayarak 2.85 GHz’de 0.16 civarına ulaşana kadar bir azalma gösterdiği sonrasında tekrardan artış göstererek 0.45 değerine yakınsadığı görülmektedir.

**Şekil 5.1.** Mermer türü için kayıp tanjant fonksiyonu

14 adet mermer türü için yapılan bu işlemde ortaya çıkan fonksiyon $f(x)$ ile gösterilmiştir. $f(x)$ fonksiyonu Denklem 5.1’de verilmiştir. Bu fonksiyonda $f(x)$, kayıp tanjantı, x değeri ise GHz cinsinden frekansı göstermektedir. Ortalama karekök hata 0.0249 olarak hesaplanmıştır.

$$f(x) = ((1.365) * x^2) + ((-7.803) * x) + 11.31 \quad (5.1)$$

Literatür ile karşılaştırıldığında ise Vacceneo vd. (2004) yılında 1.1 GHz ile 1.7 GHz frekans aralığında mermer örnekleri için dielektrik sabitini 6.3 ile 8.4 arasında bulmuşlardır. Bapna ve Joshi (2013) yılında 8 GHz ile 12 GHz frekans aralığında mermer örneklerinin ortalama dielektrik sabitlerini kuru mermerler için 4-6 arasında, ıslak mermerler için ise 4.1-4.8 arasında bulmuşlardır. Sengwa ve Soni (2005) yılında oda sıcaklığında 9 mermer örneğinin 10.1 GHz’de dielektrik sabitini 5.80 ile 8.06 aralığında ölçmüşlerdir. Kompleks dielektrik geçirgenliğinin sanal kısmını ise 0.27 ile 1.02 aralığında bulmuşlardır. Ölçüm sonuçları literatürdeki sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Çizelge 5.3’de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 9 adet granit örneğinin dielektrik sabiti değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 9 adet granit örneğinin ortalama dielektrik sabiti değeri 4.49, maksimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 5.39 ve minimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 3.66 olarak hesaplanmıştır. 9 adet granit örneğinin ortalama dielektrik sabitinin standart sapma değeri 1.38, maksimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 1.29 ve minimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 1.46 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Granit örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları

Örnek Numarası	Ortalama Dielektrik Sabiti	Maksimum Dielektrik Sabiti	Minimum Dielektrik Sabiti
G1	4.00	4.98 @3.29 GHz	2.48 @2.40 GHz
G2	7.95	8.50 @2.65 GHz	7.21 @ 2.40 GHz
G3	4.82	5.83 @2.86 GHz	4.07 @3.19 GHz
G4	3.74	4.29 @3.17 GHz	3.08 @2.40 GHz
G5	4.68	5.81 @3.30 GHz	3.98 @2.55 GHz
G6	3.68	4.39 @3.23 GHz	3.14 @2.97 GHz
G7	4.13	4.79 @2.69 GHz	3.36 @2.82 GHz
G8	4.11	5.13 @3.30 GHz	3.38 @2.77 GHz
G9	3.29	4.77 @2.45 GHz	2.27 @3.06 GHz
Ortalama	4.49	5.39	3.66
Standart Sapma	1.38	1.29	1.46

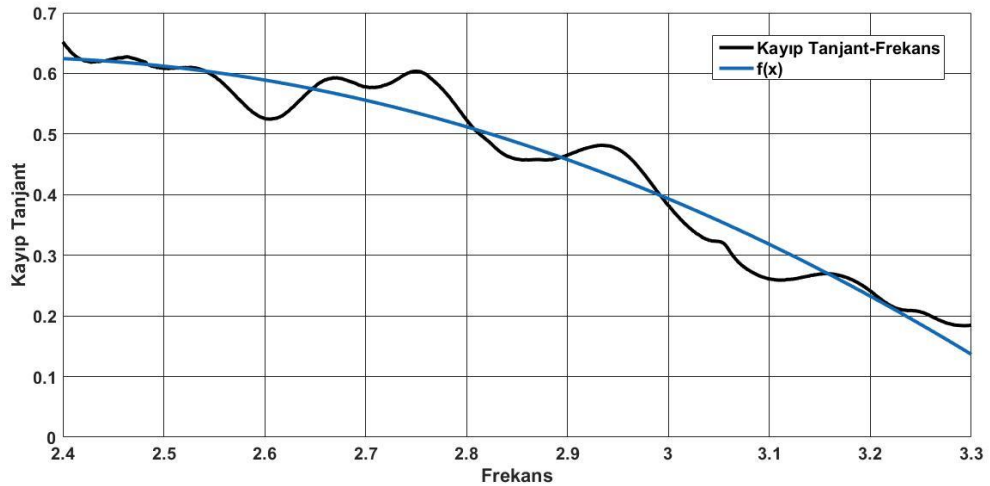
Çizelge 5.4’de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 9 adet granit örneğinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 9 adet granit örneğinin ortalama kayıp tanjant değeri 0.43, maksimum kayıp tanjant değerlerinin ortalaması 0.72 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin

ortalaması 0.15 olarak hesaplanmıştır. 14 adet mermer örneğinin ortalama kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.10, maksimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.16 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.09 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Granit örneklerinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları

Örnek Numarası	Ortalama Kayıp Tanjantı	Maksimum Kayıp Tanjantı	Minimum Kayıp Tanjantı
G1	0.29	0.45 @2.65 GHz	0.19 @3.25 GHz
G2	0.47	0.59 @2.77 GHz	0.27 @3.30GHz
G3	0.41	0.66 @2.40 GHz	0.18 @3.30 GHz
G4	0.38	0.71 @2.40 GHz	0.08 @3.30 GHz
G5	0.37	0.83 @2.40 GHz	0.01 @ 3.30 GHz
G6	0.36	0.59 @2.40 GHz	0.12 @3.20 GHz
G7	0.50	0.87 @2.77 GHz	0.22 @3.30 GHz
G8	0.47	0.86 @2.40 GHz	0.06 @3.30 GHz
G9	0.64	0.92 @2.67 GHz	0.26 @3.30 GHz
Ortalama	0.43	0.72	0.15
Standart Sapma	0.10	0.16	0.09

9 adet granit türünün kayıp tanjant değerleri 2. Dereceden bir polinom olan $f(x)$ fonksiyonuna bağlanmıştır. Tüm granit örneklerinin ortalama kayıp tanjant değeri her bir frekans değeri için hesaplanmış ve ortalama karekök hatası elde edilmiştir. Kayıp tanjant değerlerinin frekans ile değişimi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Kayıp tanjant değerinin 2.4 GHz frekansında ortalama 0.65 değerinde başlayarak azaldığı 0.14 değerine yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Granit türü için kayıp tanjant fonksiyonu

Granit türü için $f(x)$ fonksiyonu Denklem 5.2’de verilmiştir. Bu fonksiyonda $f(x)$, kayıp tanjantı, x değeri ise GHz cinsinden frekansı göstermektedir. RMSE 0.0318 olarak hesaplanmıştır.

$$f(x) = ((-0.5215) * x^2) + (2.431 * x) - 2.205 \quad (5.2)$$

Literatür incelendiğinde Dhoot vd. (2018) yılında 200 MHz ve 20 GHz frekans aralığında yaptıkları ölçümlerde kuru granit örneklerinin dielektrik sabitlerini 1.7 ile 6.5 arasında bulmuşlardır. Islak granit örneklerinin dielektrik sabitlerini ise 4.5 ile 8 arasında bulmuşlardır. Kayıp tanjant değerlerini kuru örnekler için 0.01 ile 0.3 arasında, ıslak örnekler için ise 0.02 ile 0.5 arasında bulmuşlardır. Sengwa ve Soni (2005) yılında kuru granit örnekleri için dielektrik sabitini 10.1 GHz’de 4.5-8.3 aralığında hesaplamışlardır.

Çizelge 5.5’de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 2 adet tuğla örneğinin dielektrik sabiti değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 2 adet tuğla örneğinin ortalama dielektrik sabiti değeri 3.59, maksimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 4.26 ve minimum dielektrik sabitinin ortalama değeri 2.83 olarak hesaplanmıştır. 2 adet tuğla örneğinin ortalama dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.39, maksimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.21 ve minimum dielektrik sabitinin standart sapma değeri 0.52 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Tuğla örneklerinin dielektrik sabiti ölçüm sonuçları

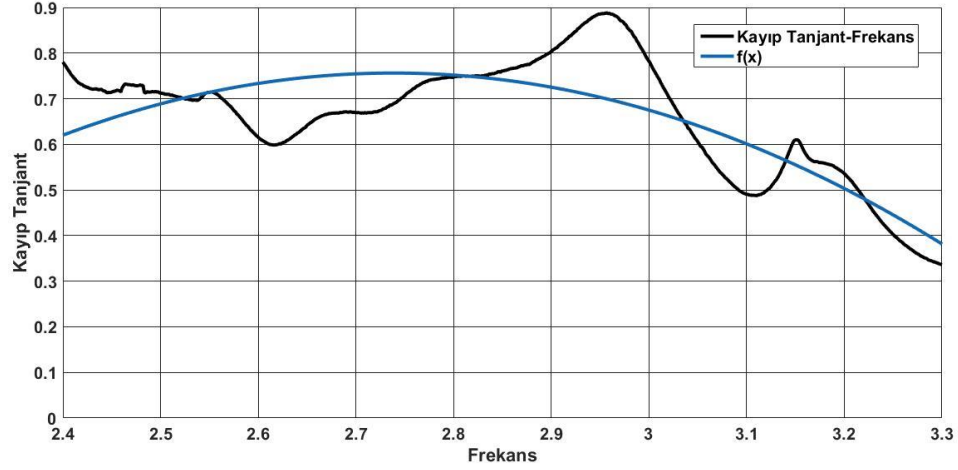
Örnek Numarası	Ortalama Dielektrik Sabiti	Maksimum Dielektrik Sabiti	Minimum Dielektrik Sabiti
T1	3.31	4.11 @2.63 GHz	2.46 @2.99 GHz
T2	3.87	4.40 @2.64 GHz	3.19 @2.99 GHz
Ortalama	3.59	4.26	2.83
Standart Sapma	0.39	0.21	0.52

Çizelge 5.6’da 2.4 ile 3.3 GHz aralığında 2 adet tuğla örneğinin kayıp tanjant değerlerinin ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmada 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen 2 adet tuğla örneğinin ortalama kayıp tanjant değeri 0.665, maksimum kayıp tanjant değerlerinin ortalaması 0.89 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin ortalaması 0.34 olarak hesaplanmıştır. 14 adet mermer örneğinin ortalama kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.01, maksimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.07 ve minimum kayıp tanjant değerlerinin standart sapma değeri 0.06 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Tuğla örneklerinin kayıp tanjant değerleri

Örnek Numarası	Ortalama Kayıp Tanjantı	Maksimum Kayıp Tanjantı	Minimum Kayıp Tanjantı
T1	0.66	0.94 @2.96 GHz	0.29 @3.30 GHz
T2	0.67	0.84 @ 2.96 GHz	0.38 @3.30 GHz
Ortalama	0.665	0.89	0.34
Standart Sapma	0.01	0.07	0.06

2 adet tuğla türünün kayıp tanjant değerleri 2. Dereceden bir polinom olan $f(x)$ fonksiyonuna bağlanmıştır. Tüm granit örneklerinin ortalama kayıp tanjant değeri her bir frekans değeri için hesaplanmış ve ortalama karekök hatası elde edilmiştir. Kayıp tanjant değerlerinin frekans ile değişimi Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tuğla türü için kayıp tanjant fonksiyonu

Tuğla türü için $f(x)$ fonksiyonu Denklem 5.3’de verilmiştir. Bu fonksiyonda $f(x)$, kayıp tanjantı, x değeri ise GHz cinsinden frekansı göstermektedir. Ortalama karekök hata RMSE 0.0805 olarak hesaplanmıştır.

$$f(x) = ((-1.189) * x^2) + ((6.51) * x) - 8.158 \quad (5.3)$$

Çizelge 5.7’de 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında ölçülen kayrak örneğinin dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri gösterilmiştir. Kayrak örneğinin ortalama dielektrik sabiti 6.29, maksimum dielektrik sabiti 2.64 GHz’de 7.39 ve minimum dielektrik sabiti 3.22 GHz’de 5.19 olarak hesaplanmıştır. Ortalama kayıp tanjant değeri 0.55, Maksimum kayıp tanjant değeri 2.95 GHz’de 0.73 ve minimum kayıp tanjant değeri 3.3 GHz’de 0.44 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7. Kayrak örneğinin dielektrik sabiti ile kayıp tanjant ölçüm sonuçları

Ortalama Dielektrik Sabiti	6.29
Maksimum Dielektrik Sabiti	7.39 @2.64 GHz
Minimum Dielektrik Sabiti	5.19 @3.22 GHz
Ortalama Kayıp Tanjant	0.55
Maksimum Kayıp Tanjant	0.73 @2.95 GHz
Minimum Kayıp Tanjant	0.44 @3.3 GHz

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında inşaat ile yapı sektöründe kullanılan ve madencilik çalışmaları, yer altı radar çalışmaları, arkeolojik çalışmalarda özelliklerinin bilinmesinin fayda sağlayacağı taş örneklerinin ve tuğla tipi malzemelerin elektriksel özellikleri belirlenmiştir. 14 adeti mermer türü, 9 adeti granit türü, 2 adeti tuğla türü ile 1 adeti kayrak türü olmak üzere toplamda 26 farklı malzemenin elektriksel özellikleri S bandında yer alan 2.4 GHz ile 3.3 GHz frekans aralığında belirlenmiştir. WR340 dalga kılavuzu ve vektör network analizör ile laboratuvar ortamında 26 farklı malzemenin saçılma parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen saçılma parametreleri kullanılarak her bir örnek için dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant değerleri hesaplanmıştır.

Bu tez çalışması ile literatüre yaygın olarak kullanılan S bandı içerisinde yer alan 2.4 GHz ile 3.3 GHz aralığında 26 adet örneğin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve kayıp tanjant değerleri kazandırılmıştır. Mermer türü, granit türü ve tuğla türleri kendi içlerinde değerlendirdiklerinde, bu türlerin dielektrik kompleks geçirgenlik ile kayıp tanjant değerlerinin frekans ile davranışları her türün kendi içerisinde benzerlik gösterdiğinden elektriksel özelliklerin türler arasında ayırt edici özellik olduğu ortaya konmuştur.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında ise çeşitli bölgelere ait taş örnekleri ile geniş bir örnek yelpazesi oluşturularak bölgesel olarak malzemelerin gösterdikleri özellikler hakkında davranış biçiminin ortaya konması hedeflenmektedir. Ayrıca hangi malzeme grubunun hangi frekansı geçirmeyeceği bilgisi saçılma parametrelerinden elde edilerek hastaneler ve bebek odaları gibi hassas mekânlar için uygun malzeme seçiminde bu bilgilerin kullanılmasının sağlanması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda mimarlar ile ortak doğrultuda bir çalışma yürütülmesi amaçlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

- Adams, R. J., Perger, W. F., Rose, W.I. and Kostinski, A. 1996. Measurements of the complex dielectric constant of volcanic ash from 4 to 19 GHz. *Journal of Geophysical Research*, 101 (4): 8175-8185.
- Bapna, P. C. and Joshi, S. 2013. Measurement of Dielectric Properties of various Marble Stones of Mewar Region of Rajasthan at X-band Microwave Frequencies. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2 (7): 180-186.
- Bapna, P. C. and Joshi, S. 2014. Measurement of Dielectric Properties of various Decorative Stones at X-band Microwave Frequencies. *National Conference on Recent advances in Wireless Communication and Artificial Intelligence*, pp. 9-12, 14-15 March, Maharana Pratap University of Agriculture & Technology, Udaipur.
- Chaudhari, P. R. and Ahire, D. V. 2013. Study of Dielectric Constant and Dielectric Loss of some Igneous Rocks at Frequencies in X-band under Ambient Atmospheric Conditions. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 3 (1): 849-854.
- Chen, G., Fan, W., Richard, L., Gary, M., Zhao, J. and Zhili, H. 2017. A Numerical System for Broadband Evaluation of Rock Electrical Properties. *SEG International Exposition and 87th Annual Meeting*, pp. 3695-3699, 24-29 September, Houston, Texas.
- Cuiñas, I. and Sánchez, M. 2000. Building Material Characterization from Complex Transmissivity Measurements at 5.8 GHz. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 48 (8): 1269-1271.
- Dhoot, K., Vyas, M., Vyas, A. D., Rana, V. A., Gadani, D. H. and Pandit, T. 2018. Dielectric study of Dry and Wet granite stones at Microwave frequency. *International Journal of Scientific Research and Reviews*, 7 (1): 310-320.
- Dos Anjos, I. F. and Barbin, S. E. 2015. Measurement of the Dielectric Properties of Micaceous Minerals Using Scattering Parameters. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, pp. 2195-2198, 6-9 July, Prague, Czech Republic.
- ElShafie, A. and Heggy, E. 2013. Dielectric and hardness measurements of planetary analog rocks in support of in-situ subsurface sampling. *Planetary and Space Science*, 86: 150-154.
- Hlaváčová, Z. 2007. Electrical Properties of Some Building Materials. *Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*, pp. 134-140, 5-6 June, Nitra.
- Kumar, L. 2012. Investigating Dielectric Properties of Rock Stones at X-Band Frequency. *International Journal of Research in Science And Technology*, 1 (Apr-Jun).
- Olatinsu, O. B., Olorode, D. O. and Oyedele, K. F. 2013. Radio frequency dielectric properties of limestone and sandstone from Ewekoro, Eastern Dahomey Basin. *Advances in Applied Science Research*, 4 (6): 150-158.

- Patil, C. B. and Chaudhari, P. R. 2016. Dielectric Constant and Emissivity of Rock Samples at Microwave Frequencies. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (9): 16267-16271.
- Sambuelli, L., Socco, L. V. and Godio, A. 1998. Laboratory determination of the dielectric permittivity of building stones in stones in the 0.2-6 GHz band. Conference 4th EEGS Meeting, pp. 477-480, 14-17 September, Barcelona.
- Scott, A. H. 1940. Dielectric Constant, Power Factor and Resistivity of Marble. Part of *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 24, 235-240.
- Sengwa, R. J., Sankhla, S., Soni, A. and Ram, B. 2007. Dielectric Characterization of Dry and Water-Saturated Sandstones. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 73 (3): 147-155.
- Sengwa, R. J. and Soni, A. 2005a. Dielectric dispersion and microwave dielectric study of marbles in support of radar investigations. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 43, 777-782.
- Sengwa, R. J. and Soni, A. 2005b. Low frequency dielectric dispersion and microwave permittivities of Indian granites. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 34, 341-348.
- Sengwa, R. J. and Soni, A. 2006. Low-frequency dielectric dispersion and microwave dielectric properties of dry and water-saturated limestones of the Jodhpur region. *Geophysics*, 71, 269-277.
- Sengwa, R. J. and Soni, A. 2008. Dielectric properties of some minerals of western Rajasthan. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 37, 57-63.
- Sengwa, R. J., Soni, A. and Ram, B. 2004. Dielectric behaviour of shale and calcareous sandstone of Jodhpur region. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 33, 329-335.
- Singh, R., Singh, R. P. and Singh, K. P. 1980. Study of microwave response of coal and sandstone samples. *Earth and Planetary Sciences Journal*, 89 (2): 249-259.
- Singh, R. P., Singh, M. P. and Lal, T. 1980. Laboratory measurement of dielectric constant and loss tangent of Indian rock samples. *Annals of Geophysics*, 33 (1): 121-140.
- Suresh, A. and Sathaiah, G. 2014. Dielectric Studies of Some Indian Granite Samples. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3 (4): 11545-11552.
- Tian, Q. J., Gong, P., Xu, B., Wang, X. and Guo, H. 2002. Reflectance, dielectric constant and chemical content of selected sedimentary rocks. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (23): 5123-5128.
- Tiwari, K. P. and Dubey, V. K. 2012. Properties of Some Indian Rocks at X-band Region of Microwave. *Journal of Pure Applied and Industrial Physics*, 2 (3A): 304-309.
- Ulaby, F. T., Bengal, T. H., Dobson, M. C., East, J. R., Garvin, J. B. and Evans, D. L. 1990. Microwave Dielectric Properties of Dry Rocks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28 (3): 325-336.

Vaccaneo, D., Sambuelli, L., Marini, P., Tascone, R. and Orta, R. 2004. Measurement System of Complex Permittivity of Ornamental Rocks in L Frequency Band. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42 (11): 2490-2498.

ÖZGEÇMİŞ

MERVE SÜNEL

msunel.ms@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2018	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2011-2015	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya